

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES
DISPONÍVEIS ÀS PLANTAS EM SUBSTRATOS

Mônica Spier
Engenheira Agrônoma /UFRGS
Mestre em Fitotecnia /UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Ênfase Horticultura

Porto Alegre (RS), Brasil
Junho de 2012

CIP - Catalogação na Publicação

Spier, Mônica

Avaliação de métodos para determinação de nutrientes disponíveis às plantas em substratos / Mônica Spier, 2012.

88 f.

Orientador: Paulo Vitor Dutra de Souza.

Coorientador: Carlos Alberto Bissani.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Substrato para plantas. 2. Métodos de análise química. 3. Produção de mudas. I. Souza, Paulo Vitor Dutra de, orient. II. Bissani, Carlos Alberto, coorient. III. Título.

MÔNICA SPIER
Engenheira Agrônoma - UFRGS
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

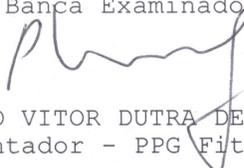
TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

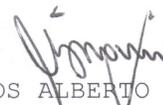
DOCTOR EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

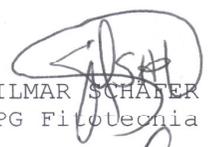
Aprovado em: 29.06.2012
Pela Banca Examinadora



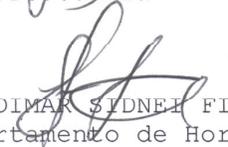
PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA
Orientador - PPG Fitotecnia



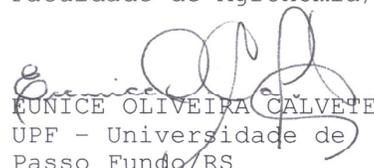
CARLOS ALBERTO BISSANI
Coorientador
PPG Ciência do Solo/UFRGS



GILMAR SCHÄFER
PPG Fitotecnia

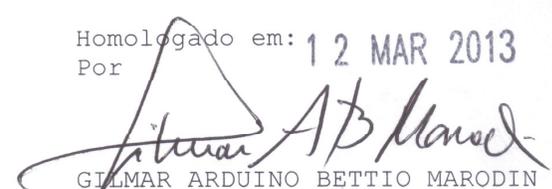


CLAUDIMAR SIDNEI FIOR
Departamento de Horticultura e Silvicultura
Faculdade de Agronomia/UFRGS



EUNICE OLIVEIRA CALVETE
UPF - Universidade de
Passo Fundo/RS

Homologado em: 12 MAR 2013
Por



GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

Ao meu pai (*in memoriam*),
que no início dessa caminhada ainda estava comigo,
e à minha filha,
que chegou um pouco depois.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Paulo Vitor Dutra de Souza e Carlos Alberto Bissani por apostarem que eu seria capaz de realizar este trabalho, também pela paciência e carinho com que deram sua contribuição.

Ao Luciano, por me dar uma família e ser minha referência.

À minha mãe por estar perto.

Aos colegas Daiane Silva Lattuada, Sandra Rieth e Felipe Pereira Dias pela amizade.

Aos colegas Claudimar Sidnei Fior e Mateus Pereira Gonzatto pelas sugestões em relação ao trabalho.

À Jéssica de Souza pela competência, tranquilidade e sabedoria, do alto de seus 21 anos.

Aos ex-bolsistas e agora colegas, Vinícius Boeira, Júlio César Giuliani e Wagner Soares pelo auxílio nas determinações. E à Marina Back, também.

Aos professores Sergio Francisco Schwarz, Gilmar Arduíno Bettio Marodin e Clésio Gianello, por participarem na orientação e por estarem atentos ao andamento do trabalho.

Ao funcionário do Departamento de Solos Adão Luis Ramos dos Santos pelos valiosos ensinamentos. Aos funcionários do Departamento de Horticultura e Silvicultura Cleusa Padilha Comelli, Detamar Antonio da Rocha, Ernani Pezzi e Idenir José De Conto. E à Marisa Bello pelo apoio de bastidores.

À Pricila Matos Gomes Duarte pelo incentivo constante.

À Universidade de Caxias do Sul (UCS) e ao Prof. Gabriel Fernandes Pauletti pela cedência dos laboratórios, sugestões e compreensão.

À Luciana Duarte Rota por permitir o trabalho nas dependências do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UCS, bem como por disponibilizar o tempo de seus funcionários.

A Raquel Andreola Valente, Uendel Paulo Silvestre e, em especial, Luis Felipe Daneluz pelo empenho em tentar resolver as dúvidas na etapa final do trabalho.

Às empresas Carolina Soil e Beifiur, bem como à Alencar Dalle Mole e ao Sr. Olavo Cairon pela cedência dos substratos testados.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE NUTRIENTES DISPONÍVEIS ÀS PLANTAS EM SUBSTRATOS¹

Autor: Mônica Spier

Orientador: Paulo Vitor Dutra de Souza

Co-orientador: Carlos Alberto Bissani

RESUMO

A crescente demanda nacional por substratos para plantas associada à falta de legislação específica para análise de nutrientes disponíveis às plantas nesses materiais e a diversidade de métodos passíveis de utilização com esse fim motivaram esse trabalho que foi realizado entre 2009 e 2012 nas Faculdades de Agronomia da UFRGS e da UCS. Foram avaliados dez materiais distintos (areia lavada, bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz carbonizada, casca de acácia compostada, casca de pinus em duas granulometrias diferentes, fibra de coco, turfa canadense, turfa de Santa Catarina e vermiculita expandida), extraídos por água, em cinco proporções, além de Mehlich-1, Mehlich-3 e $\text{CaCl}_2 + \text{DTPA}$ (CAT). Os resultados obtidos pelas extrações foram correlacionados com teores foliares de fósforo, potássio, ferro, zinco, cobre e manganês de plantas de alface. Os métodos extrato de saturação e Mehlich-1 mostraram-se adequados para a extração dos macronutrientes e o método CAT para os micronutrientes, enquanto que Mehlich-3 foi satisfatório para todos os elementos avaliados, à exceção do fósforo.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (88 p.), Junho, 2012.

AVALIATION OF PLANT AVAILABLE NUTRIENT EXTRACTION METHODS FOR GROWING MEDIA²

Author: Mônica Spier
Adviser: Paulo Vitor Dutra de Souza
Co-adviser: Carlos Alberto Bissani

ABSTRACT

The growing national demand for substrates for plants associated with lack of specific legislation for analysis of available nutrients to plants in these materials and the diversity of methods in use for this purpose motivated this work done between 2009 and 2012 in the colleges of Agronomy of UFRGS and UCS. Ten different materials were included (washed sand, sugar cane bagasse, carbonized rice husks, composted Acacia bark, two kinds of composted Pinus bark, coconut fiber, Canadian peat, Santa Catarina peat and vermiculite) and extracted with water at five proportions, as well as, Mehlich-1, Mehlich-3 and $\text{CaCl}_2 + \text{DTPA}$ (CAT). The results obtained by the extractions were correlated with foliar concentrations of phosphorus, potassium, iron, zinc, copper and manganese in lettuce. The methods saturated medium extract and Mehlich-1 proved to be suitable for the extraction of macronutrients and CAT method for micronutrients, whereas Mehlich-3 was satisfactory for all elements, with exception of phosphorus.

² Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (88 p.), June, 2012.

SUMÁRIO

Página

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
	2.1 Substrato para plantas	6
	2.1.1. Principais características de um substrato para plantas	8
	2.2 Análise química de substratos para plantas	15
	2.2.1 Extratores químicos.....	21
	2.2.1.1 Extratores aquosos	23
	2.2.1.2 Extratores ácidos	27
	2.2.1.3 Extrator quelatante.....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
	3.1 Ensaio 1 – Métodos de extração de nutrientes disponíveis em diferentes substratos.....	31
	3.1.1 Extração aquosa	32
	3.1.1.1 Extrato de saturação.....	32
	3.1.1.2 Diluição 1:1,5 (v/v) – Método holandês	33
	3.1.1.3 Diluição 1:2 (v/v) – Método das empresas fabricantes de substratos	33
	3.1.1.4 Diluição 1: 5 (v/v) – CEN e Ministério da Agricultura do Brasil.....	34
	3.1.1.5 Diluição 1:10 (m/v) - Método utilizado na UFRGS (adaptado de VDLUFA)	34
	3.1.2 Extratores ácidos.....	35
	3.1.2.1 Mehlich-1	35
	3.1.2.2 Mehlich-3	35
	3.1.3 Extrator quelatantes – Ca Cl ₂ + DTPA (CAT- Method).	35
	3.2. Ensaio 2 – Ajustes metodológicos nos processos de extração de nutrientes	37
	3.2.1. Extração aquosa	39
	3.2.1.1. Extrato de saturação	39
	3.2.1.2. Diluição 1:1,5 (v/v)	39
	3.2.1.3. Diluição 1:2 (v/v)	41
	3.2.1.4. Diluição 1: 5 (v/v)	41
	3.2.1.5. Diluição 1:10 (m/v)	41
	3.2.2. Extratores ácidos.....	41
	3.2.2.1 Mehlich-1	41
	3.2.3 CaCl ₂ + DTPA (CAT Method).....	41

3.2.4	Determinações	41
3.3	Ensaio 3 – Correlação entre teores de nutrientes extraídos pelos diferentes métodos e teores foliares em alface	43
3.4	Ensaio 4 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para fósforo	45
3.5	Ensaio 5 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para potássio.....	45
3.6	Ensaio 6 – Amostragem de substratos após seleção do tamanho de partículas por tamisação	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Ensaio 1 e 2 – Métodos de extração de nutrientes disponíveis em diferentes substratos	47
4.2	Ensaio 3 - Correlação entre teores de nutrientes extraídos pelos diferentes métodos e teores foliares em plantas de alface	70
4.3	Ensaio 4 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para fósforo	73
4.4	Ensaio 5 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para potássio.....	75
4.5	Ensaio 6 – Amostragem de substratos após seleção do tamanho de partículas por tamisação	76
5	CONCLUSÕES	80
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo, utilizados pelos laboratórios integrantes dos programas de controle de qualidade da análise química de solo no País (adaptado de Cantarutti <i>et al.</i> , 2007).....	23
2. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para valor de pH, e condutividade elétrica (CE) do Ensaio 1.	52
3. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de potássio, sódio, cálcio e magnésio do Ensaio 1.....	54
4. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de ferro, zinco, cobre e manganês do Ensaio 1.....	56
5. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio do Ensaio 2.....	58
6. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de ferro, zinco, cobre e manganês do Ensaio 2.	59
7. Valores de pH e condutividade elétrica (CE) de sete substratos extraídos por cinco soluções extratoras (Ensaio 1).	61
8. Teores de potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de cinco substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 1).	63
9. . Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) de cinco substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 1).	65
10. Teores de fósforo (P) e potássio (K) de sete substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 2).....	67

	Página
11. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de sete substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 2).....	68
12. Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) de sete substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 2).....	69
13. Coeficientes de correlação de Spearman (ρ) para métodos de extração e concentração de fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface 'Vera'	71
14. Coeficientes de correlação de Spearman (ρ) para métodos de extração e concentração de ferro, zinco, cobre e magnésio nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface 'Vera'	72
15. . Teores de fósforo (P) em $g L^{-1}$ extraído por oito métodos distintos em seis substratos adubados ou não.....	74
16. Teor de potássio (K), em $g L^{-1}$, extraído por oito métodos distintos em seis substratos adubados ou não.	75
17. Coeficientes de correlação de Spearman (σ) entre os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio dos métodos de extração e a concentração do mesmo nutriente nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface 'Vera'	77
18. Coeficientes de correlação de Spearman (ρ) entre os teores de K nos extratos dos métodos de extração e concentração de potássio nas folhas ou quantidade acumulada na parte aérea de plantas de alface 'Vera'.	78

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Substratos utilizados para extração de nutrientes por oito métodos diferentes: a) bagaço de cana-de-açúcar, b) casca de arroz carbonizada, c) fibra de coco, d) casca de pinus compostada, e) turfa canadense.....	32
2. Substratos utilizados para extração por oito métodos diferentes: areia lavada (a), casca de acácia compostada (b), casca de arroz carbonizada (c), fibra de coco (d), casca de pinus grosseira (e), vermiculita expandida (f), turfa peneirada (g).....	38
3. Sequência de etapas para padronização de umidade utilizadas no método de extração aquosa 1:1,5 (v/v). Preenchimento dos cilindros com substrato (a); colocação do peso (b); separação dos cilindros (c); cilindro inferior preenchido com 100 cm ³ de substrato (d); transferência para o Erlenmeyer (e).....	40
4. Espectrofotômetro de chama modelo Micronal B-462 (a) e Espectrofotômetro de absorção atômica modelo Varian SpectrAA 250 (b).....	42
5. Mudas de alface 'Vera' com três folhas verdadeiras (a); pesagem dos vasos com substrato (b); vasos de 400 cm ³ com substratos colocados dentro de caixas de acrílico (c).....	44
6. Amostras de extratos obtidos para bagaço de cana-de-açúcar (a), casca de arroz carbonizada (b), fibra de coco (c), casca de pinus compostada (d) e turfa canadense (e) extraídos com água nas diluições extrato de saturação, 1:1,5; 1:2; 1:5; 1:10; Mehlich-1; Mehlich-3 e CAT (da esquerda para a direita, respectivamente).....	48
7. Probabilidade normal para os valores de pH (a) e CE (b) e teores de potássio (c), e sódio (d) extraídos para cinco substratos.....	49
8. Probabilidade normal para os teores de cálcio (a), magnésio (b), ferro (c), zinco (d) cobre (e) e manganês (f) extraídos por oito métodos para cinco substratos.	50
9. Espectrofotômetro UV-Visível modelo Micronal B-542 (a); amostras dos extratos obtidos para a fibra de coco (b); amostras prontas para a leitura (c).....	62

1 INTRODUÇÃO

A demanda nacional por substratos para plantas, que no ano de 2005 se situava por volta de um milhão de metros cúbicos segundo Kämpf (2005), não para de crescer. Mudanças de espécies frutíferas, olerícolas, ornamentais e florestais são, nos dias de hoje, quase que totalmente, produzidas em recipientes, necessitando de uma grande quantidade de substratos adequados para o cultivo em pequenos volumes. Somam-se ainda, o cultivo em vaso de plantas ornamentais e de condimentos e plantas medicinais, frequentemente comercializados em floriculturas e supermercados.

Também tem crescido de forma expressiva nos últimos anos, o cultivo em substrato (ou semi-hidropônico) de plantas olerícolas, como alternativa de cultivo em ambiente protegido, onde o solo se tornou inadequado por causas fitossanitárias ou salinização do solo. No Rio Grande do Sul essa forma de cultivo, popularmente chamada de cultivo em sacolas, tem crescido muito nos últimos cinco anos, especialmente nas regiões do Vale do Caí e da Encosta Superior do Nordeste, tradicionais produtoras de hortaliças. Como culturas mais frequentes destacam-se morangueiro e rúcula e, eventualmente, pepino, num sistema que utiliza sacolas (algumas vezes chamadas travesseiros), próximas ao chão ou colocadas sobre estrados. Utiliza-se, ainda, cultivo em sacolas semelhantes às aquelas distribuídas em supermercados para cultivo de pepino, tomate e pimentão.

Nesse contexto, o substrato para plantas deixa de ser um mero coadjuvante e assume papel de protagonista, principalmente porque passam a ser necessários materiais adequados a diferentes finalidades. Mas, o que se observa ainda são produtores utilizando o mesmo substrato para diferentes culturas em distintas fases de desenvolvimento e tamanhos de recipiente, por ser o que se encontra disponível no mercado ou por desconhecimento das exigências específicas para cada situação.

Cada vez mais o amadorismo no que se refere à escolha e manejo do substrato de produção de mudas e de cultivo precisa ser deixado de lado, em busca de um uso mais econômico e racional dos materiais selecionados, bem como na busca de produzir, cada vez mais, mudas de qualidade.

Para tanto, torna-se necessário conhecer melhor os materiais disponíveis para formulação de substratos, tanto do ponto de vista físico quanto químico. Este último visa possibilitar a adoção de práticas de correção e adubação mais coerente com o conhecimento técnico disponível. Por fim, é importante conhecer as propriedades de cada material de modo a compor misturas que resultem em características finais adequadas.

Röber (2000) e Booman, (2000) listam em seus trabalhos uma série de requisitos básicos a serem cumpridos por um material que apresente potencial de uso como substrato para plantas:

- alta capacidade de retenção de água e alto espaço de aeração, também sob estado de saturação hídrica;
- estabilidade de estrutura ao longo do tempo;
- permitir armazenamento;
- boa capacidade de reidratação após secagem;

- pouca atividade biológica;
- ausência de pragas e agentes patogênicos;
- ausência de substâncias inibidoras do crescimento ou prejudiciais às plantas;
- boa capacidade de tamponamento contra alterações no valor de pH;
- alta capacidade de adsorção;
- dinâmica dos nutrientes previsível;
- ter sempre o mesmo comportamento a um dado manejo.

A todas essas características pode-se associar, ainda, a necessidade de um fornecimento constante e abundante do material, com características uniformes e sem variações.

Baixo custo também é desejável, especialmente quando se refere a cultivo em substrato em sacolas ou espécies de maior porte, onde os volumes necessários geralmente são grandes e os custos de substrato podem se tornar limitantes. Dentre os componentes que determinam o custo destaca-se o valor do frete pago para o transporte de grandes volumes, especialmente para aqueles materiais de menor densidade, tornando interessante a utilização de materiais disponíveis próximo ao local onde será demandado. Por fim, o custo do substrato também pode limitar o cultivo de espécies de menor retorno econômico, ou com preço de mercado muito oscilante, que muitas vezes podem não cobrir os custos de produção.

O conjunto dessas características geralmente não pode ser encontrado em um material único e, por isso, é comum o uso de misturas em diferentes proporções, aumentando muito a possibilidade de variação nas propriedades do produto final.

A legislação brasileira estabelece métodos para determinação de algumas características físicas e químicas básicas, bem como da determinação de elementos contaminantes em substratos (Brasil, 2007; Brasil, 2009). Mas um longo caminho se apresenta para a pesquisa até que algum consenso se apresente em relação a informações mais elaboradas e, por isso mesmo, que permitam explorar o melhor de cada material ou mistura.

No entanto, a demanda dos produtores por informações que forneçam segurança na utilização de um substrato é urgente. Por outro lado, a correta determinação e interpretação dos níveis dos nutrientes presentes no material dependem as decisões de manejo, especialmente da adubação. Interações químicas complexas podem surgir ao longo do cultivo e surpreender o produtor com perdas inesperadas pelo fato de desconhecer previamente o material com o qual está trabalhando.

Atualmente, por não existir uma metodologia padronizada para análise química de substratos para plantas, têm-se recorrido, na maior parte das vezes, a análises realizadas em laboratórios de análises de solos, através de interpretação inadequada sobre uma metodologia que se demonstra inapropriada, quando comparado o desenvolvimento vegetal com os laudos de análise. Mesmo quando o laboratório adota a extração por água, consagrada em muitos países, o fator de diluição das amostras varia conforme o grupo de trabalho, impossibilitando a comparação entre resultados emitidos por laboratórios distintos.

No sentido de contemplar os aspectos abordados quanto à análise química de substratos para plantas, este trabalho objetiva contribuir para a

melhoria dos critérios para a seleção de métodos mais adequados para a determinação de nutrientes disponíveis, comparando oito métodos de extração já utilizados para análise de substratos por diferentes instituições brasileiras e internacionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Substrato para plantas

Substrato para plantas é, segundo Kämpf (2000), o meio em que se desenvolvem as raízes das plantas cultivadas fora do solo. Considera-se como sua função principal prover suporte às plantas nele cultivadas (Fermino, 1996; Kämpf, 2000; Röber, 2000) podendo ainda regular a disponibilidade de água e nutrientes (Kämpf, 2000).

No mercado nacional encontram-se disponíveis diferentes substratos, obtidos a partir de misturas de diferentes materiais, indistintamente recomendados a um grande número de espécies, cujas formulações e características são pouco conhecidas e, cujos desempenhos, como meio de cultivo, podem ser irregulares (Menezes Júnior & Fernandes, citado por Schäfer, 2004).

Diversos tipos de produtos, de origem orgânica ou mineral, são utilizados como substratos. Dentre esses, os de origem orgânica são os mais utilizados no Brasil, destacando-se a turfa, a serragem, as cascas de árvores picadas e compostadas e as fibras vegetais, como é o caso da fibra de coco (Santos, 2005).

Outras matérias-primas também são consagradas no uso em misturas para compor substratos para plantas, como a casca de arroz carbonizada, o

poliestireno expandido (isopor), a espuma fenólica, a areia, os subprodutos da indústria madeireira como a serragem e a maravalha, a fibra de madeira, o composto de lixo domiciliar urbano, os compostos de restos de poda e o vermicomposto (Kämpf, 2005; Abad *et al.*, 2001).

A utilização de resíduos de agroindústria disponíveis regionalmente como componente para substratos pode propiciar a redução de custos, assim como auxiliar na minimização da poluição decorrente do acúmulo desses materiais no meio ambiente (Fermino, 1996; Abad *et al.*, 2001; Valenzuela, 2005).

Já em 1998, Schmitz ressaltava que no Rio Grande do Sul têm destaque os substratos caseiros preparados a partir de solo de barranco ou “terra preta” misturados com algum tipo de casca ou turfa, fato este que, ainda hoje, pode ser observado em muitos locais. No que se refere à utilização de solo como componente dos substratos é importante destacar que apesar de menos oneroso financeiramente, esta prática poderá acarretar futuros questionamentos por parte do consumidor em relação ao meio ambiente (Calgaro, 2000).

Kratz (2011) destaca que a disponibilidade dos produtos é outro fator a ser levado em consideração, visto que o mesmo deve ser abundante para conseguir atender a demanda de mercado. No entanto, segundo o autor, a maioria dos produtos atualmente encontrados no mercado apresenta grande oferta em locais específicos no país, aumentando, desta forma, o seu custo quando transportados para regiões mais distantes.

Outro aspecto relevante no que se refere à disponibilidade de substratos é que além do aumento da demanda pelos mesmos, existe ainda

uma concorrência no mercado pelos materiais utilizados na formulação deste produto, como por exemplo, a utilização da casca de pinus e do bagaço de cana-de-açúcar para energia, da casca de arroz tanto para energia como para formação da cama de aviário e na cobertura de canteiros de morangos (Spier, 2008; Kratz, 2011).

Considerando-se a oferta e a demanda atual do mercado de substrato, pesquisadores e produtores dos mais diversos países buscam constantemente encontrar materiais com características semelhantes à turfa, considerado um substrato ideal no que se refere à disponibilidade hídrica e disponibilização de nutrientes. As matérias-primas com potencial para substituir parcial ou totalmente a turfa são numerosas; todavia são necessárias pesquisas para caracterizar com precisão os materiais que serão utilizados na composição de misturas (Fondazione, 2002). A caracterização física e química dos substratos é necessária para sua correta formulação e, também, para a recomendação e monitoramento das adubações nos sistemas de cultivo protegido (Abreu *et al.*, 2007b). A variada composição dos substratos utilizados dificulta o manejo nutricional de modo a garantir plantas de qualidade (Abreu *et al.*, 2008a).

2.1.1. Principais características de um substrato para plantas

Segundo Lemaire (1995) o substrato para plantas é formado por partículas sólidas e poros, os quais podem ser preenchidos por ar ou água. A fase sólida garante a manutenção mecânica do sistema radicular e sua estabilidade, a fase líquida garante o suprimento de água e nutrientes e a fase gasosa garante o transporte de oxigênio e gás carbônico entre as

raízes e a atmosfera. O conhecimento destas características físicas, juntamente com as químicas, se faz necessário para a formulação das misturas e para a recomendação e monitoramento das adubações nos sistemas de cultivo protegido (Abreu *et al.*, 2007a).

Do ponto de vista químico os substratos podem ser considerados ativos ou inativos. Os quimicamente ativos são aqueles que permitem as trocas de nutrientes entre o substrato e a solução. Os substratos inativos são aqueles que apresentam trocas nulas ou muito reduzidas entre a fase sólida e líquida. A inatividade química do substrato garante que o equilíbrio iônico da solução nutritiva não será alterado (Martinez, 2002, citado por Ludwig, 2010).

As propriedades químicas dos substratos referem-se, principalmente, ao valor de pH, a capacidade de troca de cátions (CTC) e à salinidade (Kämpf, 2005).

O valor de pH é definido como a atividade do íon hidrogênio, expressa como logaritmo negativo da sua concentração. O pH é de grande importância para o crescimento da planta devido ao seu efeito na disponibilidade de nutrientes, em especial de microelementos (Handreck & Black, 1991; Nelson, 1998; Bailey *et al.*, 2000b)

A faixa de valor de pH considerada ideal para os cultivos varia de acordo com diversos autores. Gruzsynski (2002) resumiu alguns valores encontrados na literatura, destacando como faixa aceita para substratos orgânicos valores de 5,4 a 6,4, para cultivos em geral.

Para a avaliação do valor de pH podem ser utilizados como extratores a água deionizada ou soluções de KCl e CaCl₂ (Kämpf, 2005). Para um

mesmo material analisado, valores de pH em KCl diferem geralmente em uma unidade a menos do que quando em água (Fermino, 2000).

A condutividade elétrica (CE) é um indicativo da concentração de sais ionizados na solução e fornece um parâmetro da estimativa da salinidade do substrato. As plantas variam em sua tolerância a níveis de salinidade e estresse hídrico. A salinidade pode ser derivada da adubação de base ou do conteúdo natural de sais dos componentes utilizados na mistura (Kämpf, 2000).

Schäfer (2004) e Teixeira (2008), em trabalhos com citros, salientam que as características químicas dos substratos são determinantes para o desenvolvimento adequado dos porta-enxertos, sendo especialmente prejudicial a salinidade elevada.

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um substrato pode ser definida como um mecanismo que auxilia na regulação do fornecimento de cargas positivas para a planta e podendo ser entendida como a quantidade de cargas eletrostáticas de superfície negativamente carregadas por unidade de peso ou volume. Essas cargas são balanceadas por cátions que ficam retidos em forma trocável nessas superfícies, em equilíbrio dinâmico com a solução (Handreck & Black, 1991; Fonteno, 1996).

A CTC está relacionada com a capacidade de tamponamento do substrato a variações bruscas de pH e com a disponibilização de nutrientes, sendo importante na redução de perdas de cátions por lixiviação (Fermino, 1996). Segundo Fonteno (1996), ela deve ter valores entre 6 e 15 meq.100 mL⁻¹, para uma ampla reserva de nutrientes, enquanto Handreck & Black (1991) sugerem, com a mesma finalidade, que se encontre entre 5 e 10

meq. 100mL⁻¹.

Como unidade de medida desse parâmetro, é também utilizado centimol de carga (cmol_c) por massa ou volume, de forma que quando expresso por Litro o valor se equivale a meq. 100mL⁻¹. Tendo em vista a grande variação na densidade dos substratos, a CTC deve ser expressa por volume, levando-se em conta o valor da densidade seca da amostra analisada (Kämpf, 2005).

A manutenção dos níveis de nutrientes no substrato é um objetivo comum na produção em recipientes e está diretamente relacionada com a absorção de nutrientes pelas plantas e com seu crescimento. Assim, monitorar as propriedades químicas do substrato passa a ser um aspecto crítico tanto para a produção quanto para a pesquisa (Cabrera, 1988).

Teixeira (2008) ressalta que há carência de informação disponível sobre adubação em sistemas de produção de mudas envasadas, notadamente de Citros, havendo muitas questões e dúvidas a respeito dos métodos de adubação (adubos de liberação lenta, fertirrigação, adubação sólida, adubações foliares), demanda nutricional específica para cada tipo de porta-enxerto empregado, diagnóstico de desordens nutricionais, interpretação de resultados de análise química de substratos e manejo quanto ao método de irrigação, capazes de orientar o melhor manejo nutricional e consequente melhor aproveitamento dos nutrientes aplicados.

A deficiência de informação a respeito de teores esperados em diferentes materiais, bem como de recomendações específicas para diferentes culturas é mencionada por diferentes autores (Abreu *et al.*, 2007b; Beckmann-Cavalcante, 2008; Oldoni, 2008; Ludwig, 2010; Oliveira *et al.*,

2001).

Essa opinião contrária, em parte, uma idéia bastante arraigada de que, tendo em vista que a nutrição das plantas é manejada pelo viveirista, utilizando adubações da base e complementares, a investigação do teor de nutrientes nos materiais puros e nas misturas só é realizada em casos especiais, quando houver interesse ou necessidade de quantificar os elementos presentes (Kämpf, 2005).

Teixeira (2008) destaca que no novo sistema de produção de mudas de porta-enxertos cítricos em ambiente protegido, deve-se prestar a atenção ao padrão de qualidade dos substratos e das várias técnicas empregadas durante o processo de produção, para que as mudas atinjam os padrões de qualidade desejados.

Segundo Oliveira *et al.* (2001), antes da repicagem dos porta-enxertos de citros para o recipiente definitivo, recomenda-se que seja realizada a análise de fertilidade do substrato, seguida de correção química. Esta é essencial para maximizar o desenvolvimento das plantas. Normalmente, é necessário acrescentar nitrogênio, fósforo e cálcio ao substrato. O fósforo deve ser adicionado antes da semeadura, enquanto que os demais nutrientes podem ser aplicados em cobertura, por meio de formulações de liberação lenta ou, semanalmente, via fertirrigação.

Os nutrientes disponíveis no substrato interferem no crescimento das plantas, mas é necessário estabelecer as doses adequadas, pois os desbalanços nutricionais podem acarretar prejuízos às mudas, alterando sua morfologia (Teixeira, 2009). A aplicação de fertilizantes em excesso pode causar a salinização do substrato, sendo este um problema enfrentado com

certa frequência na produção de plantas em recipientes, causando necrose de folhas, desidratação, redução do crescimento e até a morte das plantas. Este efeito pode ser explicado pela redução do potencial osmótico do meio de cultivo, causando danos às raízes e prejudicando a absorção de nutrientes, principalmente daqueles pouco móveis, cujo contato com as raízes ocorre por difusão, com reflexos sobre o desenvolvimento da parte aérea (Bernardi *et al.*, 2000; e Oliveira *et al.*, 2001).

Em muitas ocasiões, ainda, as adubações são baseadas nas dosagens de nutrientes recomendadas para viveiros a campo, pela falta de recomendações de adubação para produção de mudas em ambiente protegido, na literatura. Assim, faz-se necessário estabelecer as concentrações adequadas de cada nutriente para tornar a produção economicamente viável e maximizar o crescimento das mudas (Bernardi *et al.* 2000).

Ludwig *et al.* (2010) destacam que, de modo semelhante ao que acontece na produção de mudas de citros, o manejo dos fatores de produção da gérbera muitas vezes é realizado de maneira empírica pelos produtores. Dentre estes, destaca-se a adubação e nutrição, por empregar grandes quantidades de nutrientes, que por vezes não é demandada pela cultura, ocorrendo assim um aumento da salinidade do substrato e conseqüentemente diminuindo a qualidade de produção.

Caballero *et al.* (2007) levantam a questão de que a disponibilidade de nutrientes não depende exclusivamente da composição elementar desses materiais. Outros fatores, como capacidade de adsorção (geralmente pH-dependente), pH, taxa de mineralização do substrato e a presença de

compostos orgânicos solúveis podem afetar a disponibilidade de nutrientes, o que contribui para a relação incerta entre a composição química do substrato e o estado nutricional da planta.

Esse aspecto é reforçado por Pons (1983), citado por Benaci, (2010), que salienta que a utilização de matéria orgânica como ingrediente de substrato, não só fornece nutrientes, como também tem efeito sobre a atividade microbiana, aeração, estrutura, capacidade de retenção de água e CTC.

Apesar disso, Abreu *et al.* (2007a) destacam que a caracterização dos nutrientes disponíveis para as plantas é um dos parâmetros chave na análise de substratos, sendo igualmente importante para o monitoramento da produção. Por isso uma série de métodos tem sido desenvolvida, a maior parte das vezes de acordo com necessidades ou expectativas locais, especialmente no que se refere ao teste de materiais regionais potencialmente utilizáveis como substrato para plantas.

A escolha do material mais adequado pode ser feita com base nos resultados obtidos a partir de análises realizadas em laboratório. No entanto, mesmo após anos de pesquisa, não existe um consenso no que se refere à metodologia empregada para determinação das propriedades químicas e físicas de substratos para plantas (Abreu *et al.*, 2007a). Centros de pesquisa na Alemanha, Austrália, Bélgica, Espanha, Holanda, EUA e Brasil que há décadas desenvolvem pesquisas com novos materiais, paralelamente ao estudo de métodos de análises, têm apresentado resultados expressivos nessa área (Fermio, 2003; Spier, 2008).

A legislação brasileira para o registro e comercialização de substratos,

exige informar no rótulo ou embalagem dos materiais as seguintes características:

- condutividade elétrica em miliSiemens por centímetro (mScm^{-1});
- densidade em kg m^{-3} (em base seca);
- potencial hidrogeniônico (pH) em água;
- umidade máxima em percentual, em peso/peso; e
- capacidade de retenção de água (CRA) em percentual, em peso/peso.

Apenas recentemente estabeleceram-se normas federais, através da Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que aprovou os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. Pela legislação estão previstas a caracterização física (densidades úmida e seca, capacidade de retenção a água a 10 cm) e química (valor de pH, condutividade elétrica, capacidade de troca de cátions) sendo que a metodologia encontra-se descrita em Brasil (2007).

2.2 Análise química de substratos para plantas

A determinação de teores disponíveis de nutrientes em materiais utilizados como substrato para o cultivo de plantas busca, em síntese, dar indicativos a respeito das quantidades de nutrientes disponíveis presentes no material, aos quais as plantas nele cultivadas podem ter acesso durante seu desenvolvimento. De uma forma simplista, no estudo de solos, fertilidade tem sido conceituada como a capacidade de o solo ceder nutrientes para as plantas. Este conceito tem sido revisto, uma vez que o

solo não tem um “comportamento” passivo (fonte) em relação às plantas (dreno) (Cantarutti *et al.*, 2007). O mesmo parece ocorrer no cultivo em substratos. O teor de nutrientes disponível é aquele cujas alterações proporcionam variações no crescimento da planta. A disponibilidade de um nutriente para a planta depende da forma química em que se encontra, das condições climáticas, da disponibilidade de outros nutrientes e da capacidade da planta na sua absorção que é influenciada, dentre outros fatores, pelo crescimento do sistema radicular e pela idade da planta (Raij & Quaggio, 1983, citado por Cantarutti *et al.*, 2007).

A avaliação da fertilidade no solo envolve processos de amostragem, métodos de análise, técnicas de diagnóstico dos resultados e modelos de interpretação e de recomendação de corretivos e fertilizantes (Cantarutti *et al.*, 2007). Segundo os mesmos autores, o método de análise química inclui, além do extrator, os demais procedimentos que o caracterizam, tais como: a relação entre a massa ou o volume do material e a solução extratora, a forma e o tempo de agitação – tempo de reação ou equilíbrio – filtração ou decantação da suspensão solo/substrato-extrator e o método de dosagem analítica do nutriente ou do elemento químico de interesse.

Para ser usado em laboratório, um método químico deve reunir uma série de características, dentre elas: precisão, exatidão, sensibilidade a variações no teor do nutriente avaliado, reprodutibilidade, rapidez e baixo custo (Mendham *et al.*, 2002).

Precisão e exatidão referem-se à veracidade da medida efetuada. A primeira indica o grau de concordância entre resultados de medição obtidos sob as mesmas condições, enquanto a segunda reflete o grau de

concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro. As duas associadas fornecem um valor medido muito próximo ao valor real (Abreu *et al.*, 2007a).

No entanto, para ser adequado e fornecer um índice de disponibilidade de determinado nutriente em um substrato, o método precisa apresentar, também, correlação significativa entre o teor do nutriente extraído pelo método de análise química – nutriente recuperado – e algum indicador da planta, como a quantidade do nutriente absorvida ou a produção (Cantarutti *et al.*, 2007).

A sensibilidade do método demonstra sua capacidade de recuperar o nutriente diante do aumento de sua disponibilidade no substrato analisado. Para tanto são realizados ensaios com adição de doses crescentes de determinado nutriente em substratos posteriormente submetidos à análise. Já a reprodutibilidade de um método refere-se ao fato de se obterem resultados concordantes mesmo que alguma das condições de medição seja alterada. Dentre essas condições podem estar, por exemplo, alterações no observador, no local ou no momento da determinação. A reprodutibilidade de um método pode ser avaliada pelo coeficiente de variação das observações obtidas. Quanto menor o coeficiente de variação, melhor a reprodutibilidade do método (Abreu *et al.*, 2007a).

Além disso, um bom método deve ser rápido, não podendo demorar vários dias para a obtenção do resultado e apresentar baixo custo, especialmente quando se objetiva utilizá-lo como método rotineiro de análise, disponível a produtores, por exemplo.

Segundo Krug, (2006, citado por Abreu Júnior, 2009), a escolha do

método para dissolução de amostras sólidas, sempre que possível, deve considerar os seguintes aspectos:

- ser capaz de dissolver a amostra sem deixar resíduo;
- ser razoavelmente rápido para ser executado, permitindo o preparo de amostras em número e quantidade suficientes;
- a solução obtida permite uma taxa de amostragem compatível com o método de detecção;
- os reagentes não interferem na determinação dos elementos ou constituintes de interesse ou são facilmente removíveis da solução da amostra;
- os reagentes estão disponíveis em alto grau de pureza para não contaminarem as amostras;
- as perdas dos analitos de interesse por volatilização, por formação de aerossóis, por adsorção e, ou, por absorção pelas paredes dos tubos de reação ou por quaisquer outras razões são desprezíveis;
- os reagentes e as amostras não reagem com os tubos de reação;
- a contaminação devida ao ambiente de preparo e, ou, análise deve ser desprezível;
- o método de decomposição apresenta o mínimo de insalubridade e de periculosidade;
- a solução final contém todos os elementos de interesse.

O conhecimento do teor de nutrientes que se encontram disponíveis às plantas é importante, mas cabe salientar que o teor do nutriente extraído pelo método da análise química – nutriente recuperado – será indicador da disponibilidade somente se apresentar correlação significativa com algum

indicador da planta, como a quantidade do nutriente absorvida ou a produção, por exemplo (Corey, 1987, citado por Cantarutti *et al.*, 2007). A análise de correlação determina se as variações na produção de massa seca ou no conteúdo do nutriente são proporcionais aos teores extraídos pelo método de análise. No entanto, diante do tempo e recurso demandados com experimentos para estudos de correlação, a avaliação preliminar de novos extratores pode fundamentar-se nas determinações químicas e suas correlações com resultados obtidos com extratores de uso já consagrado, não eliminando, no entanto, a necessidade posterior de ensaios envolvendo o cultivo de plantas (Cantarutti *et al.*, 2007).

A sensibilidade do método, que demonstra sua capacidade de recuperar o nutriente diante do aumento de sua disponibilidade, é outra característica importante (Abreu *et al.*, 2008b). O aumento da disponibilidade é conseguido com a adição de doses do nutriente em questão. Assim, utilizam-se, por exemplo, amostras que receberam doses crescentes do nutriente. A regressão estabelecida entre os teores do nutriente extraído pelo método de análise (variável y) e as doses do nutriente aplicada (variável x) possibilita estimar a capacidade de recuperação do método (Cantarutti *et al.*, 2007).

A dificuldade na interpretação dos resultados analíticos, entre os laboratórios e a grande diversidade de procedimentos entre os métodos, levou a criação pelo CEN (Comitê Europeu de Normatização), de um grupo de estudos com a finalidade de uniformizar e propor métodos oficiais para a caracterização química, física e físico-química de substratos. Mas, durante os trabalhos desenvolvidos pelo CEN ficou impossível estabelecer um

método adequado para todos os substratos, pela grande diversidade dos produtos, de modo que os pesquisadores propuseram inicialmente dois métodos – o método holandês, proposto por Sonneveld *et al.* (1974), que utiliza água como extrator, para substratos com baixa CTC (inertes) e outro, utilizando a solução de CaCl_2 e DTPA (Ácido dietilenotriaminopentacético), de acordo com o trabalho de Alt & Peters (1993), para substratos baseados em misturas de diferentes constituintes e para a determinação dos micronutrientes (Baumgarten, 2002).

Com a expansão da indústria de substrato no Brasil, e a grande diversidade de material disponível no mercado, tornou-se necessária a padronização dos métodos de análise para a caracterização química e física dos substratos, aspecto importante para que os produtores possam monitorar suas adubações e irrigações, ou seja, o manejo da cultura (Abreu, *et al.* 2002b). As características químicas mais importantes a serem estudadas nos substratos são o valor de pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), o teor de sais, além de carbono total (C), nitrogênio total (N), relação C/N, macronutrientes, micronutrientes e metais pesados (Baumgarten, 2002)

Não existe um consenso sobre o melhor método de análise e quais as características químicas a serem utilizadas para avaliação da qualidade dos substratos (Abreu *et al.*, 2007a). Apesar da normativa governamental, segue sem definição a questão da melhor metodologia para determinação dos teores de macro e micronutrientes presentes em substratos. Estudos têm sido conduzidos, principalmente no sentido de avaliar teores de micronutrientes potencialmente tóxicos quando em excesso (Abreu *et al.*,

2002a, Santos, 2005, Júnior, 2006) sem, no entanto, aprofundar a metodologia de análise para os macronutrientes, notadamente fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

As dúvidas e discussões não são privilégio dos pesquisadores brasileiros. Enquanto os parâmetros mais importantes a serem determinados – densidade de volume, porosidade, pH, teor de sais, nutrientes solúveis – estão relativamente claros (Baumgarten, 2002; Abreu *et al.*, 2007a), os métodos utilizados para a sua determinação diferem entre países, tornando a interpretação dos dados de análise frequentemente muito difícil para produtores e técnicos. Além disso, atualmente a análise de substratos não é utilizada somente para o conhecimento prévio do produtor a respeito do material selecionado como substrato, mas também para monitorar o processo de produção fazendo com que a interpretação dos dados torne-se ainda mais importante (Baumgarten, 2002).

2.2.1 Extratores químicos

Os métodos de análise química de materiais utilizados para o cultivo vegetal fundamentam-se na utilização de extratores químicos. Extratores são soluções ou substâncias que removem, por complexação, dessorção, solubilização, troca iônica ou hidrólise, formas químicas dos nutrientes consideradas disponíveis para a planta, ou de elementos químicos promotores de salinização ou de toxidez para as plantas (Cantarutti *et al.*, 2007). A fração disponível pode estar associada ou correlacionada com índices, geralmente obtidos por métodos de extração química (Abreu *et al.*, 2001) Em solos, considera-se que uma fração das quantidades extraídas

encontra-se na solução (fração ativa ou fator intensidade). A maior fração, no entanto, encontra-se integrada a fase sólida, em equilíbrio com a fração ativa responsável pela reposição na solução do solo (fração lábil ou fator quantidade).

Os extratores químicos utilizados para a análise de solos no Brasil podem ser, em linhas gerais, categorizados em dois grupos: um fundamentado no extrator ácido – Mehlich-1 – e da solução salina de KCl; e outro, no uso das resinas de troca iônica e do extrator quelatante DTPA (Tabela.1).

Por muitos anos, os substratos usados em recipientes foram analisados de maneira similar às amostras de solo (Baumgarten, 2002; Santos, 2005). A princípio, métodos tradicionais de análise de solos foram adaptados, tais como a extração de P e K por acetato-lactato ou formiato de cálcio, extração de Mg por CaCl_2 ou extração de elementos traço por EDTA. Enquanto a base desses meios de cultivo era o solo, o procedimento proporcionava resultados aceitáveis, mas com as mudanças na composição dos substratos, incluindo turfa e produtos inertes, os métodos de análise de solo, tornaram-se inadequados (Santos, 2005). Apesar de esses métodos terem sido utilizados por bastante tempo as correlações entre extratores e absorção da planta muitas vezes se mostraram insuficientes (Alt & Peters, 1993). Além disso, vários extratores diferentes tinham de ser usados para elementos diferentes tornando as análises demoradas e caras.

TABELA 1. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo, utilizados pelos laboratórios integrantes dos programas de controle de qualidade da análise química de solo no País (adaptado de Cantarutti *et al.*, 2007). Porto Alegre, RS. 2012.

Características	PEP-IAC ¹	PROFERT ²	ROLAS ³	CELA ⁴	PAQLF ⁵
pH	CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹ (1:2,5)	H ₂ O (1:2,5)	H ₂ O (1:1)	H ₂ O (1:2,5)	H ₂ O (1:2,5)
Al ³⁺	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹
Ca ²⁺ e Mg ²⁺	Resina	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹	KCl 1 mol L ⁻¹
H + Al	SMP	Ca(OAc) 0,5 mol L ⁻¹ pH 7,0 ou SMP	SMP	Ca(OAc) 0,5 mol L ⁻¹ pH 7,0	Ca(OAc) 0,5 mol L ⁻¹ pH 7,0 ou SMP
P disponível	Resina	Mehlich-1	Mehlich-1	Mehlich-1	Mehlich-1
K disponível e Na ⁺	Resina	Mehlich-1	Mehlich-1	Mehlich-1	Mehlich-1
S disponível	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg L ⁻¹ em H ₂ O	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg L ⁻¹ em H(OAc)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg L ⁻¹	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg L ⁻¹	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 500 mg L ⁻¹
Fe, Mn, Cu e Zn disponíveis	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-1	Mehlich-1	Mehlich-1
B disponível	Água quente	Água quente	Água quente	Água quente	Água quente
Matéria orgânica	C oxidável por Cr ₂ O ₇ ²⁻ dosagem titulométrica ou colorimétrica	C oxidável por Cr ₂ O ₇ ²⁻ dosagem titulométrica ou colorimétrica	C oxidável por Cr ₂ O ₇ ²⁻ dosagem colorimétrica	Matéria orgânica por incineração	C oxidável por Cr ₂ O ₇ ²⁻ dosagem titulométrica ou colorimétrica

¹Programa de Ensaio de Proficiência do Instituto Agronômico de Campinas, SP. ²Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solos de Minas Gerais. ³Programa da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. ⁴Programa da Comissão Estadual de Laboratórios de Análises Agronômicas do Estado do Paraná. ⁵Programa de Análise de Qualidade dos Laboratórios de Fertilidade da Embrapa.

2.2.1.1 Extratores aquosos

Os extratores aquosos são os mais empregados, diferenciando-se entre si pela proporção entre água e substrato, pela umidade prévia e a tomada da alíquota em peso ou volume. Como exemplos têm-se o extrato de saturação e as suspensões com as proporções entre substrato e água de:

1:1,5, 1:2, 1:5 e 1:10. A extração com água tem a vantagem de permitir a determinação além dos macronutrientes e micronutrientes disponíveis, o pH e a CE no mesmo extrato (Santos, 2005). Ao contrário de algumas soluções salinas, por exemplo, que são também utilizadas para extração de nutrientes. Essas soluções extraem preferencialmente os nutrientes dos pontos de troca iônica (fração trocável), onde o cátion do sal desloca o elemento dos sítios de troca do substrato, levando-o à solução. A utilização da solução de acetato de amônio tamponada a pH 4,65 tem sido empregada para a extração dos elementos disponíveis de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro em amostras de substratos. No entanto, para determinações de pH, CE, N-NO_3^- e N-NH_4^+ este método não pode ser empregado, sendo necessário que o procedimento seja feito com água (Abreu *et al.*, 2002b).

O extrato de saturação é considerado a melhor forma para avaliar a disponibilidade de nutrientes na solução do substrato, pois simula melhor a capacidade de suprimento de nutrientes em condições de cultivo, sendo usado como método de referência em estudos de comparação de métodos (Sonneveld *et al.*, 1974). Gabriels (1995) sugere que dados analíticos de um novo método de extração a ser adotado como oficial deve ser sempre comparado a um método de referência, que preferencialmente deve ser o extrato de saturação. Nos Estados Unidos, o extrato de saturação denominado SME (Saturated Medium Extract) é utilizado rotineiramente em análise de substratos por muitos laboratórios (Warncke, 1986). Existem alguns inconvenientes deste método, como a dificuldade de se definir com precisão o ponto de saturação para alguns materiais e do uso em análise de

rotina onde o número de amostras é grande e o tempo para extração é longo (Ansorena ,2010, citado por Santos, 2005). Os resultados obtidos são menos reprodutíveis, em razão da dificuldade de se identificar o ponto final, ou seja, o ponto de saturação.

De acordo com Abreu *et al.*, (2002b), avaliando diferentes métodos de extração com água para a determinação de pH, CE, macronutrientes e micronutrientes em componentes orgânicos (turfa, fibra de coco, casca de arroz carbonizada e casca de pinus compostada) incubados com fertilizantes NPK, micronutrientes e fertilizantes de liberação lenta, o extrato de saturação foi um dos mais eficientes em avaliar os efeitos dos tipos de adubação, do tempo de incubação na disponibilidade de nutrientes e foi o método que apresentou maior capacidade de extração de nutrientes. Contudo, comparando a repetibilidade dos resultados, observaram que, de modo geral, os maiores coeficientes de variação foram obtidos para o extrato de saturação, sendo esse método bastante trabalhoso e demorado, não sendo adequado para a rotina.

Outro método bastante utilizado é o que emprega a diluição 1:1,5 (v/v) substrato:água. Esse método foi adotado na Holanda, nos últimos 30 anos, para análise de rotina de substratos que possuem turfa como componente principal (Abreu *et al.*, 2007a; 2008a). De acordo Sonneveld *et al.* (1974) o método utiliza baixa diluição e padronização da umidade inicial, obtida antes de se determinar o volume do substrato.

A diluição 1:2 (v/v), sugerida por Sonneveld *et al.* (1994), tem sido utilizada pelas indústrias fabricantes de substrato brasileiros pela sua facilidade de execução (Abreu *et al.*, 2007a), enquanto que a diluição 1:10

(v/v) é empregada rotineiramente pelo Laboratório de Análise de Substratos para Plantas do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia da UFRGS para a determinação do Teor Total de Sais Solúveis nos substratos utilizados em pesquisa.

Em outro trabalho, Abreu *et al.*, (2002a), comparando métodos de extração utilizando soluções aquosas 1:1,5, 1:2, 1:5, 1:10 e o extrato de saturação para discriminar a adubação com micronutrientes aplicada em casca de pinus, verificaram que, de maneira geral, nenhum método foi eficiente em discriminar o cobre, ferro e manganês nos tratamentos. Os micronutrientes não apresentaram bons resultados com os métodos aquosos, sendo somente possível discriminá-los quando há alta concentração dos mesmos, indicando necessidade de mais pesquisas no assunto.

Procedimentos laboratoriais diferenciados (volume de água, agitação, período de extração) afetam os resultados em proporções desiguais, dificultando comparações e gerando interpretações errôneas dos resultados de análise (Abreu *et al.*, 2006). Por outro lado, considerando a grande variabilidade na capacidade de retenção de água dos substratos, acredita-se que diluições acima de 1:6 minimizem o efeito da umidade inicial do substrato (Johnson, 1986 apud Abreu *et al.*, 2006).

Os métodos de extração aquosa têm sido recomendados principalmente para a determinação de pH, CE e concentração de macronutrientes. No entanto, o setor produtivo requer diagnose e recomendações nutricionais precisas e rápidas, levando à necessidade de métodos padronizados e de fácil execução para a análise de substratos,

incluindo micronutrientes. O uso de uma única solução para determinação de todos os nutrientes é altamente desejável para análises laboratoriais rápidas de rotina (Abreu *et al.*, 2006).

2.2.1.2 Extratores ácidos

Em relação ao uso de soluções extratoras ácidas pode-se destacar o extrator Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), rotineiramente utilizado para extração de fósforo e potássio em solos pelos laboratórios da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Este método foi originalmente desenvolvido para determinação de fósforo lábil em solos ácidos, mas a partir de 1974 muitos laboratórios da região sudeste dos Estados Unidos passaram a utilizá-lo para extração de cálcio, magnésio, potássio, manganês, cobre e zinco (Reed & Martens, 1996, citado por Bortolon, 2005).

Manual (2009) e Abreu Júnior (2009) listam a extração com solução Mehlich-1 como extratora de fósforo, potássio, sódio e micronutrientes baseada na solubilização desses elementos pelo efeito de pH, entre 2 e 3, sendo o papel do Cl^- o de restringir o processo de reabsorção dos fosfatos recém extraídos.

O método do extrator duplo ácido, como também é conhecido, apresenta como vantagem fornecer extratos límpidos por sedimentação, dispensando a filtração, sendo adequados à colorimetria (Tedesco *et al.*, 1995). Além disso, esta metodologia é utilizada em praticamente todos os laboratórios de análise de solos do País, sendo de fácil acesso aos produtores. No entanto, segundo Alt (2001), extrações usando soluções

ácidas e tamponadas extraem muito mais fósforo, quando comparadas à quantidade absorvida pelas plantas, particularmente em substratos com valor alto de pH, o que torna este método inadequado para caracterização química de substratos.

A solução de Mehlich-1 foi modificada pelo autor em 1978, devido à superestimação de fósforo em solos calcários, dando origem a solução Mehlich-2, que foi novamente modificada em 1984, dando origem a solução Mehlich-3 (Bortolon, 2005). A extração química utilizando a solução Mehlich-3 (CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ + EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$) permite determinar micronutrientes na mesma solução utilizada para determinação de fósforo e potássio. A inclusão do fluoreto de amônio na solução extratora melhorou a capacidade de estimação do fósforo em solos com pH próximo a neutralidade e em solos alcalinos, devido à menor acidez dessa solução se comparada a Mehlich-1 (Mehlich, 1984). O fósforo no extrato é obtido pela ação do ácido acético e do fluoreto, enquanto K, Ca, Mg e Na são removidos pela ação do nitrato de amônio e ácido nítrico. Cu, Zn, Fe e Mn são extraídos pelo NH_4^+ e o agente quelante EDTA (Ziadi & Sen Tran, 2008)

2.2.1.3 Extrator quelatante

A inclusão de quelatantes em extratores surgiu pela dificuldade em se determinar a disponibilidade de micronutrientes. Os quelatantes são usados com objetivo de extrair maiores quantidades dos teores lábeis dos micronutrientes, porém sem dissolver as formas não lábeis (Abreu *et al.*, 2007b). Desde 1965, numerosos estudos foram conduzidos com soluções

quelatantes para extração de micronutrientes do solo, sendo seu princípio de extração baseado em agentes quelatantes, que combinam com o íon metal livre em solução formando complexos solúveis. Manual (2009) considera que o DTPA está entre os melhores agentes quelantes para complexar simultaneamente o Cu, o Fe, o Mn e o Zn. No entanto, Abreu Júnior (2009) observa que o inconveniente de sua utilização isolada é a não possibilidade de extração simultânea dos macronutrientes.

Os primeiros trabalhos com substratos baseavam-se nos métodos já utilizados para solo (DTPA/TEA/CaCl₂), diferenciando-se apenas pela relação substrato:solução extratora (Santos, 2005). A combinação do DTPA com o cloreto de cálcio (CAT-Method), CAT que contém DTPA 0,002 mol L⁻¹ e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ oferece a vantagem de medir tanto os macronutrientes, exceto o Ca, como os micronutrientes e elementos tóxicos, no mesmo extrato, com um baixo custo de reagentes (Alt & Peters, 1993; Alt, 1997). Estudos com a solução extratora DTPA/CaCl₂ revelaram as vantagens e as desvantagens desse método em comparação a outros métodos de extração (Alt, 2001). A principal desvantagem está relacionada ao fato do método CAT superestimar o teor de manganês e fósforo nos substratos, em relação à extração em água. Já os extratores aquosos têm muitas desvantagens em relação ao CAT, como, por exemplo: subestimar os valores dos cátions (NH₄⁺, Na⁺, K⁺), e do fósforo em substratos com alto pH, e dificuldade na extração de micronutrientes. Todas essas desvantagens não ocorrem com o método de extração DTPA/CaCl₂, sendo, portanto uma interessante alternativa na extração de micronutrientes em substratos em relação aos extratores aquosos e ao CaCl₂ sozinho (Alt, 2001).

Em síntese, os dados apresentados por diferentes pesquisadores refletem uma grande variação em termos de resultados de análise química de substratos para plantas, especialmente para fósforo. Extratores ácidos e quelatantes podem superestimar valores de fósforo disponível, enquanto extração aquosa parece subestimá-los em substratos. Além disso, coeficientes de determinação encontrados para teores de fósforo extraídos e parâmetros vegetais normalmente são mais baixos do que para outros nutrientes (Bortolon, 2005; Abreu *et al.*, 2007b). Para substratos, a deficiência de parâmetros para interpretação de resultados de análise é ainda mais severa do que para solos, onde existem estudos de longa data, devido à multiplicidade de materiais e aos vários métodos utilizados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no período de março de 2008 a julho de 2010 junto aos Laboratórios de Análises de Substrato para Plantas e de Fertilidade do Solo dos Departamentos de Horticultura e Silvicultura e de Solos, respectivamente, ambos situados na Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre e nos Laboratórios de Física do Solo e de Química e Fertilidade do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade de Caxias do Sul no período de agosto de 2010 a abril de 2012.

3.1 Ensaio 1 – Métodos de extração de nutrientes disponíveis em diferentes substratos

Este ensaio constituiu em um experimento com delineamento completamente casualizado em esquema fatorial 5 x 8 (substrato x método) com 40 tratamentos.

As atividades de extração foram realizadas durante o ano de 2009, sendo utilizados os seguintes substratos:

- bagaço de cana-de-açúcar: resultado da moagem de plantas cultivadas em Ivoti-RS, coletado a campo após um período de aproximadamente 24 meses de deposição ao ar livre, seco à sombra sendo utilizada a fração com partículas menores que 4,75 mm previamente peneirada;

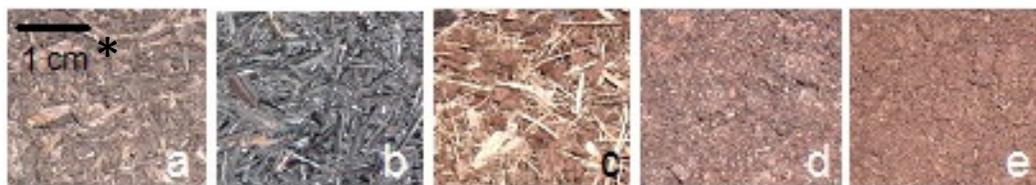
- casca de arroz carbonizada: a matéria-prima foi transportada do município de Guaíba-RS até a Estação Experimental Agronômica da UFRGS, onde foi carbonizada conforme Kämpf (2000).

- fibra de coco: da empresa Amafibra, tipo 80, adquirida no comércio;

- casca de pinus compostada: utilizada como matéria-prima para fabricação do substrato comercial Plantmax®;

- turfa canadense: utilizada como matéria-prima para fabricação do substrato comercial Carolina Soil®.

Todos os materiais foram empregados sem correção de pH, nem adição de adubo, sendo utilizados na forma em que foram adquiridos (Figura 1).



*Foi adotada a mesma escala para todos os materiais.

FIGURA1. Substratos utilizados para extração de nutrientes por oito métodos diferentes a) bagaço de cana-de-açúcar, b) casca de arroz carbonizada, c) fibra de coco, d) casca de pinus compostada, e) turfa canadense. Porto Alegre, RS. 2012.

Os extratores testados foram do tipo aquoso, incluindo cinco proporções entre substrato e água; ácido (Mehlich-1 e Mehlich-3) e quelatante (CAT-Method).

3.1.1 Extração aquosa

3.1.1.1 Extrato de saturação

Cada substrato, sem tratamento prévio, foi colocado em um copo de

béquer, ao qual adicionou-se água deionizada até que a superfície do substrato apresentasse aspecto brilhante, ou quando um sulco feito por uma espátula na superfície do mesmo desaparecesse rapidamente. Após uma hora em repouso, conferiu-se o ponto de saturação, adicionando-se mais água ou substrato conforme a necessidade. A pasta obtida foi filtrada a vácuo em funil de Büchner, aplicando-se sucção até obter aproximadamente 25 mL de extrato (Warncke, 1986).

3.1.1.2 Diluição 1:1,5 (v/v) – Método holandês

A amostra foi tratada previamente de forma que cerca de 200 cm³ de substrato fossem misturados com água deionizada até que, apertando-se levemente nas mãos, a água escorresse por entre os dedos. Após esse ajuste a amostra foi colocada em dois anéis de aço inoxidável de 100 cm³ (correspondendo a 48 mm de diâmetro e 54 mm de altura), que receberam uma pressão de 10 kPa (usando uma barra de ferro, correspondente ao peso de 1,8 kg, cerca de 0,1 cm⁻²). Os anéis foram separados e o conteúdo do anel inferior foi misturado com 150 mL de água deionizada e a suspensão agitada por 30 minutos usando agitador horizontal com 175 rpm e posteriormente filtrada em papel de filtro (Sonneveld *et al.* 1974).

3.1.1.3 Diluição 1:2 (v/v) – Método das empresas fabricantes de substratos

A 100 mL de substrato, sem tratamento prévio, foram adicionados 200 mL de água deionizada. A suspensão foi agitada por 30 minutos a 175 rpm e filtrada em papel filtro de filtragem média (140 segundos) (Sonneveld, 1990,

citado por Abreu *et al.*, 2007a). O volume de substrato utilizado foi separado com base na massa equivalente calculada após a determinação da densidade úmida, conforme descrito em Brasil (2007).

3.1.1.4 Diluição 1: 5 (v/v) – CEN e Ministério da Agricultura do Brasil

Apesar da Comunidade Européia e do Ministério da Agricultura brasileiro indicarem a mesma diluição, existe uma pequena variação nos volumes de substrato e água recomendados. O procedimento adotado neste estudo seguiu o determinado na Instrução Normativa nº 17 de 21 de maio de 2007 (Brasil, 2007).

Após determinar a densidade úmida do material (Brasil, 2007), tomou-se uma massa da amostra equivalente a uma alíquota de 60 mL. O material foi transferido para um frasco de Erlenmeyer de 500 mL, adicionando-se 300 mL de água. A solução foi agitada à rotação de 40 rpm por uma hora e filtrada em papel filtro de filtragem média (140 s).

3.1.1.5 Diluição 1:10 (m/v) - Método utilizado na UFRGS (adaptado de VDLUFA)

Este método preconiza a correção prévia da umidade da amostra para 50% (m/v) por adição de água ou secagem ao ar até que a amostra de substrato pressionada entre os dedos fique aglomerada ao cessar a pressão sem, no entanto escorrer água. Feito isso, adicionou-se 100 mL de água deionizada a 10 g de substrato. Agitou-se por três horas e filtrou-se após uma hora (Fermino, 2003).

3.1.2 Extratores ácidos

3.1.2.1 Mehlich-1

A solução constituída por H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ foi utilizada numa proporção de 3,0 mL de substrato para 30 mL de solução extratora. Agitou-se a mistura por cinco minutos a 110 rpm e filtrou-se a vácuo com papel filtro de filtragem média (140 s). O volume de substrato foi tomado com base na massa equivalente à 3,0 mL calculada segundo a densidade úmida determinada previamente conforme Fermino (2003).

3.1.2.2 Mehlich-3

A solução extratora é composta por CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ + EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$. O pH da solução deve ser de $2,5 \pm 0,1$. A extração foi feita com a solução usando a proporção 1:10 (m/v) substrato/solução, utilizando 2 g da amostra nas condições originais de umidade, e 20 mL da solução extratora. A suspensão foi agitada por cinco minutos em agitador horizontal a 200 rpm e posteriormente filtrada (Mehlich, 1984).

3.1.3 Extrator quelatantes – Ca Cl_2 + DTPA (CAT- Method)

Este método utilizou solução extratora preparada com DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético) na concentração de $0,002 \text{ mol L}^{-1}$ e CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. O pH da solução ficou entre 2,60 e 2,65. A extração foi feita com a solução DTPA/ CaCl_2 usando a proporção 1:5 (v/v) substrato/solução, utilizando 60 cm^3 da amostra nas condições originais de umidade sem tratamento prévio, com 300 mL da solução extratora. A suspensão foi

agitada por uma hora em agitador horizontal a 220 rpm e posteriormente filtrada. (Alt & Peters, 1993). Foram utilizadas amostras com massa equivalente à 60cm^3 calculada após a determinação da densidade úmida dos materiais.

3.1.4 Determinações

As variáveis avaliadas foram concentração de fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês nos extratos. Para os extratos aquosos foram determinados, também, o pH e a condutividade elétrica (CE).

Todas as determinações foram feitas em triplicata e cada um dos extratos obtidos pelos diferentes métodos foi tratado conforme o método de dosagem analítica disponível. O teor de fósforo foi determinado por espectroscopia UV-Visível ($\lambda = 660\text{ nm}$), enquanto potássio foi determinado por fotometria de chama. Cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês foram determinados por espectroscopia de absorção atômica, respectivamente nos comprimentos de onda de 422,7; 285,2; 248,3; 213,9; 324,8 e 279,5 nm.

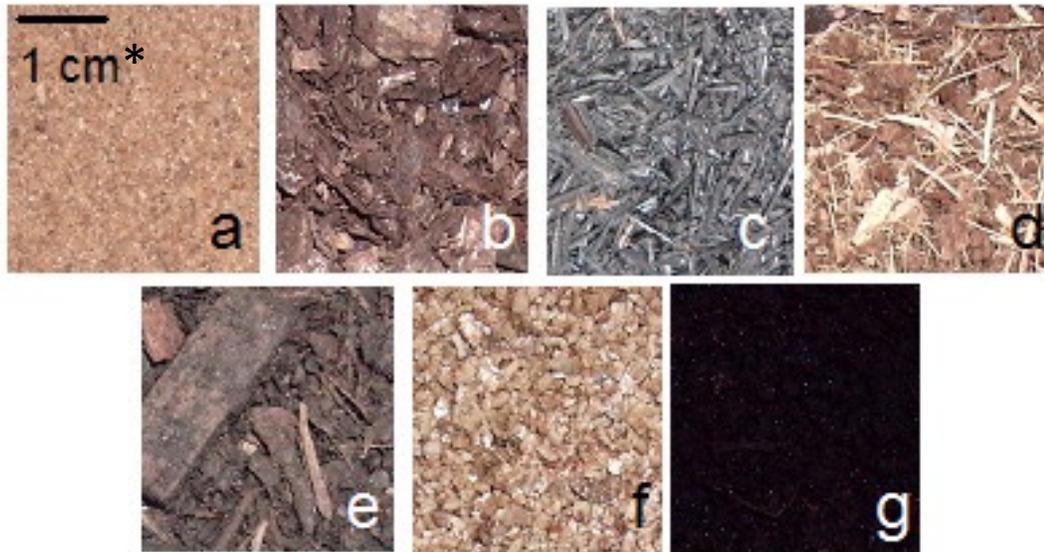
A análise estatística foi realizada com o auxílio dos programas computacionais Co-Stat, Winstat e SPSS, sendo os dados descritos e testados quanto ao seu ajuste à normalidade pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Utilizou-se, na sequência, análise não paramétrica executando-se o Teste de Friedman e posterior comparação entre os tratamentos utilizando o Teste de Wilcoxon com ajuste de Bonferroni .

3.2. Ensaio 2 – Ajustes metodológicos nos processos de extração de nutrientes

Semelhantemente ao ensaio anterior o experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado em esquema fatorial, com sete substratos e oito métodos de extração (fatorial 7 x 8), com 56 tratamentos.

As atividades de extração foram realizadas durante o ano de 2011, sendo testados os seguintes materiais (Figura 2):

- areia média lavada com ácido clorídrico e enxaguada em água destilada;
- casca de acácia compostada;
- casca de arroz carbonizada oriunda de São Sebastião do Caí;
- fibra de coco da empresa Amafibra® tipo 80;
- casca de pinus grosseira;
- vermiculita expandida;
- turfa: utilizada como matéria-prima para fabricação do substrato Turfafértil®.



*Foi adotada a mesma escala para todos os materiais.

FIGURA 2. Substratos utilizados para extração por oito métodos diferentes: areia lavada (a), casca de acácia compostada (b), casca de arroz carbonizada (c), fibra de coco (d), casca de pinus grosseira (e), vermiculita expandida (f), turfa peneirada (g). Porto Alegre, RS. 2012.

Não foi realizado nenhum procedimento para seleção ou redução no tamanho das partículas, mas foi feita a padronização da umidade, após a determinação da matéria seca, por adição de água naqueles materiais com baixa umidade utilizando a equação proposta por Gruszinsky (2002):

$$AA = \frac{uf * msi}{msf} - ui, \text{ onde:}$$

AA = água a ser adicionada em cm^3 por 100 g de substrato;

uf = umidade a ser atingida (%);

msi = matéria seca inicial (%);

msf = matéria seca final (%) (100 – uf);

ui = umidade inicial (%) (100 – msi).

A adição de água foi realizada objetivando atingir 60% de umidade, por ser aquela que confere às cascas de acácia e pinus e à turfa a sensação ao tato descrita por Fermino (2003), em que a amostra comprimida entre os dedos forma torrão sem escorrer água.

Foram testados os mesmos extratores utilizados no Ensaio 1 apenas promovendo as alterações descritas abaixo:

3.2.1. Extração aquosa

3.2.1.1. Extrato de saturação

Procedimento sem alterações em relação ao item 3.1.1.1.

3.2.1.2. Diluição 1:1,5 (v/v)

Nesse ensaio foi utilizado o método utilizado no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). No procedimento de extração, todos os substratos devem ser primeiramente colocados em estado de saturação. Para padronização deste estado de saturação, adotou-se o padrão de adição de 25 mL de água deionizada para cada 50 g de substrato.

Pesou-se 80 g de substrato (no caso da fibra de coco somente 50 g devido a sua baixa densidade). Adicionou-se cuidadosamente a quantidade de água deionizada para atingir o estado de saturação (50 mL para a fibra de coco e 40 mL para os demais substratos), aguardando-se pelo menos 5 minutos para que ocorresse absorção da água pelo substrato.

Preencheu-se delicadamente (sem pressionar) com o material úmido até a borda superior dos cilindros metálicos (Figura 3 a). Colocou-se o peso

sobre o substrato para compactação por cerca de 10 segundos sem pressionar com as mãos (Figura 3 b). Separaram-se os dois anéis com uma espátula (figura 3 c), removendo em seguida o anel superior (Figura 3 d). Ainda com a ajuda de uma espátula transferiu-se cuidadosamente o substrato compactado para um frasco de Erlenmeyer de 1.000 cm³ com abertura do mesmo diâmetro do anel de metal (Figura 3 e). Adicionaram-se 150 cm³ de água deionizada, levando-se, em seguida, os frascos para a agitação em mesa horizontal 175 rpm por 30 minutos. As amostras foram filtradas em filtro de papel de filtração média (Abreu *et al.*, 2005).

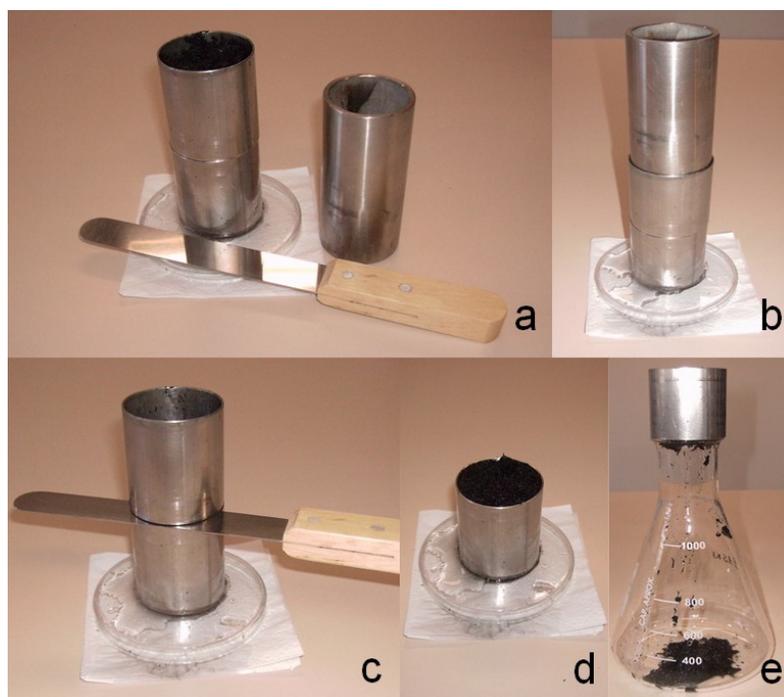


FIGURA 3. Sequência de etapas para padronização de umidade utilizadas no método de extração aquosa 1:1,5 (v/v). Preenchimento dos cilindros com substrato (a); colocação do peso (b); separação dos cilindros (c); cilindro inferior preenchido com 100 cm³ de substrato (d); transferência para o Erlenmeyer (e). Porto Alegre, RS. 2012.

3.2.1.3. Diluição 1:2 (v/v)

Sem alterações em relação ao procedimento descrito no item 3.1.1.3.

3.2.1.4. Diluição 1: 5 (v/v)

Procedimento semelhante ao descrito no item 3.1.1.4, com exceção do tempo de agitação que foi reduzido para 30 minutos e da rotação adotada que foi de 175 rpm.

3.2.1.5. Diluição 1:10 (m/v)

Procedimento semelhante ao item 3.1.1.5, apenas com a redução do tempo de agitação para 30 minutos.

3.2.2. Extratores ácidos**3.2.2.1 Mehlich-1**

Sem alterações em relação ao procedimento adotado no Ensaio 1.

3.2.2.2 Mehlich-3

O tamanho da amostra foi alterado para 5 cm³, sendo mantida a diluição 1:10, ou seja, foram utilizados 50 cm³ de solução extratora. No Ensaio 1 a diluição foi estabelecida em base massa/volume e no presente ensaio em base volume/volume. A agitação foi feita na rotação 175 rpm, inferior ao adotado no ensaio anterior.

3.2.3 CaCl₂ + DTPA (CAT Method)

O tempo de agitação foi reduzido para 30 minutos e a rotação reduzida para 175 rpm.

3.2.4 Determinações

As variáveis avaliadas foram concentração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês nos extratos.

Todas as determinações foram feitas em triplicata e cada um dos extratos obtidos pelos diferentes métodos foi tratado conforme o método de dosagem analítica disponível. O teor de fósforo foi determinado por espectroscopia UV-Visível ($\lambda = 660 \text{ nm}$), enquanto potássio foi determinado por fotometria de chama (Figura 4 a). Cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês foram determinados por espectroscopia de absorção atômica, respectivamente nos comprimentos de onda de 422,7; 285,2; 248,3; 213,9; 324,8 e 279,5 nm (Figura 4 b).

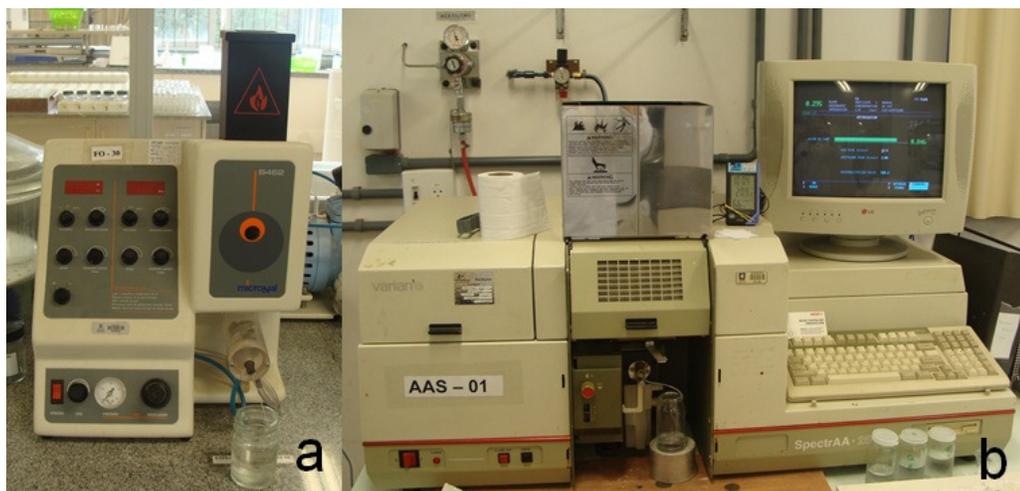


FIGURA 4. Espectrofotômetro de chama modelo Micronal B-462 (a) e Espectrofotômetro de absorção atômica modelo Varian SpectrAA 250 (b). Porto Alegre, RS, 2012.

A análise estatística foi realizada com o auxílio dos programas computacionais Co-Stat, Winstat e SPSS, sendo os dados descritos e testados quanto ao seu ajuste à normalidade pelos testes de Kolmogorov-

Smirnov e Shapiro-Wilk. Utilizou-se, na sequência, análise não paramétrica executando-se o Teste de Friedman e posterior comparação entre os tratamentos utilizando o Teste de Wilcoxon com ajuste de Bonferroni .

3.3 Ensaio 3 – Correlação entre teores de nutrientes extraídos pelos diferentes métodos e teores foliares em alface

Os teores de nutrientes determinados para cada extrator e substrato no Ensaio 2 foram comparados com os teores de nutrientes extraídos por plantas de alface da cultivar Vera, cultivadas em vaso, em casa-de-vegetação coberta por filme de polietileno de 150 micra, pelo período de 15 dias, no mês de março de 2012. No período a temperatura média máxima foi de 35°C e a média das mínimas 15°C.

Foram utilizados vasos de 400 cm³, com uma planta cada, com transplante feito quando as mudas, adquiridas junto a um produtor especializado, apresentavam três folhas verdadeiras (Figura 5 a). Foi preservado o torrão de substrato aderido às raízes por apresentar um volume reduzido em relação ao volume total de substrato utilizado e de forma a facilitar a sobrevivência das mudas transplantadas. Utilizou-se o delineamento completamente casualizado, com três repetições por tratamento.

Os vasos foram preenchidos com a massa de substrato calculada com base no valor médio da massa de três vasos com 400 cm³ preenchidos previamente, para cada substrato testado (Figura 5 b). No momento do transplante, cada vaso recebeu 50 cm³ de água deionizada adicionada próximo às raízes. A partir daí a irrigação passou a ser feita por sub-

irrigação, através de uma lâmina de água de um centímetro de altura junto à base de cada vaso, contida por uma caixa de acrílico (Figura 5 c). A aplicação da irrigação era refeita sempre que o fundo da caixa secava.

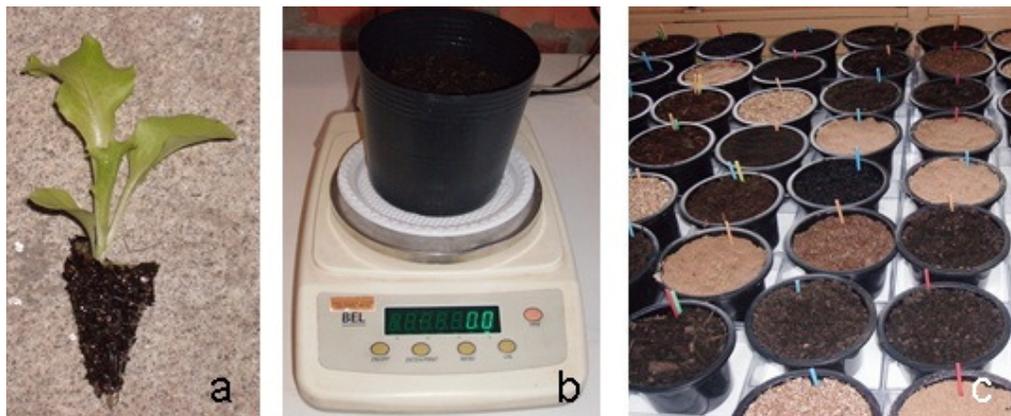


FIGURA 5. Mudas de alface 'Vera' com três folhas verdadeiras (a); pesagem dos vasos com substrato (b); vasos de 400 cm³ com substratos colocados dentro de caixas de acrílico (c). Porto Alegre, RS. 2012.

Passado o período de 15 dias, que se mostrou suficiente para um incremento de volume das plantas da ordem de 200%, as plantas foram retiradas do substrato, separadas em parte aérea e raízes, sendo a parte aérea pesada e seca em estufa a 65°C até peso constante. Em seguida a parte aérea foi moída e os teores de nutrientes determinados seguindo a metodologia para análise de tecido vegetal descrita em Tedesco *et al.* (1995).

Os valores encontrados no Ensaio 2 para nutrientes nos substratos extraídos com água, em cinco proporções substrato: extrator, Mehlich-1, Mehlich-3 e CAT, foram utilizados para estabelecer as correlações com a concentração nas folhas de alface e com o valor acumulado por planta. Procedeu-se ao cálculo multiplicando a concentração pela massa seca

respectiva de cada planta. Foram avaliadas as correlações para os elementos fósforo, potássio, ferro, zinco, cobre e manganês, sendo todas as determinações feitas em triplicata e os dados foram analisados com auxílio do programa estatístico SPSS.

3.4 Ensaio 4 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para fósforo

Cada um dos substratos testados no Ensaio 2 (Figura 2) foi adubado com 100 mg L^{-1} de fósforo na forma de fosfato monoamônico. Após a adição do adubo, os materiais foram homogeneizados e armazenados por quinze dias, em sacos de polietileno e ao abrigo da luz, quando, então, foram preenchidos os vasos e separadas as alíquotas utilizadas para as extrações. Foi cultivada alface 'Vera' por um período de 15 dias, sendo seguidas as mesmas etapas descritas no Ensaio 3.

O procedimento para a obtenção do teor de nutrientes na parte aérea de alface foi idêntico ao descrito no Ensaio 3. Os procedimentos de extração, determinação dos teores de nutrientes e análise estatística foram os mesmos descritos no Ensaio 2.

3.5 Ensaio 5 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para potássio

Foram adotados os mesmos procedimentos descritos para o Ensaio 4 sendo, no entanto, a dose de fósforo substituída por uma dose de potássio igual a 600 mg L^{-1} de substrato, adicionada na forma de cloreto de potássio.

3.6 Ensaio 6 – Amostragem de substratos após seleção do tamanho de partículas por tamisação

Os materiais utilizados no Ensaio 2 (areia, CAC, casca de acácia, casca de pinus, fibra de coco, turfa e vermiculita expandida) foram peneirados em peneira de 2,00 mm e submetidos aos mesmos procedimentos de extração descritos para aquele ensaio, sendo utilizadas três repetições por tratamento. As frações com tamanhos inferiores e superiores a 2,00 mm foram pesadas separadamente para quantificar a proporção do material original disponível para análise após a tamisação.

Para cada material foram realizadas extrações com água, em cinco proporções substrato:água, com Mehlich-1, Mehlich-3 e CAT. Os resultados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa SPSS, sendo feita a correlação dos resultados encontrados para nutrientes no extrato e na parte aérea de alfaces cultivadas em casa-de-vegetação conforme descrito para o Ensaio 3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios 1 e 2 – Métodos de extração de nutrientes disponíveis em diferentes substratos

Apesar das alterações realizadas no processo de extração para alguns métodos na execução do Ensaio 2, em comparação ao Ensaio 1, os resultados seguiram aqueles obtidos no primeiro experimento e serão, portanto, apresentados e discutidos em conjunto para estes dois ensaios.

As exigências em termos de práticas laboratoriais e os extratos obtidos para cada um dos materiais e diferentes extratores no Ensaio 1 foram bastante diversos (Figura 6). A grande variação na coloração das amostras obtidas gerou dúvidas, inclusive, sobre a sua eventual interferência nos métodos de dosagem analítica sugerindo experimentos subsequentes. Somente as amostras obtidas com o extrator Mehlich-1 apresentaram-se incolores para qualquer substrato testado, sendo que, no Ensaio 2 inclusive o extrato obtido por Mehlich-1 apresentou-se levemente amarelado.

Houve, também, grande variação entre o volume de extrato obtido para cada material fazendo com que, por vezes, fosse necessário repetir a operação de extração para acumular volume suficiente para proceder às leituras, caso do extrato de saturação. Dentre os materiais testados, a fibra

de coco apresentou os menores volumes de lixiviado obtido, já a turfa teve o comportamento mais constante e uniforme entre os métodos, possivelmente porque vários dos métodos testados foram criados para avaliar substratos que têm a turfa como seu principal componente.

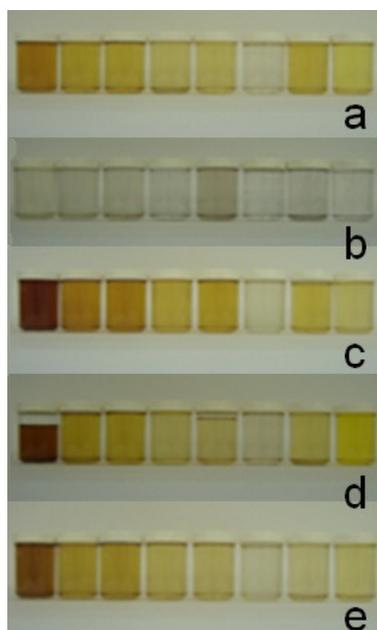
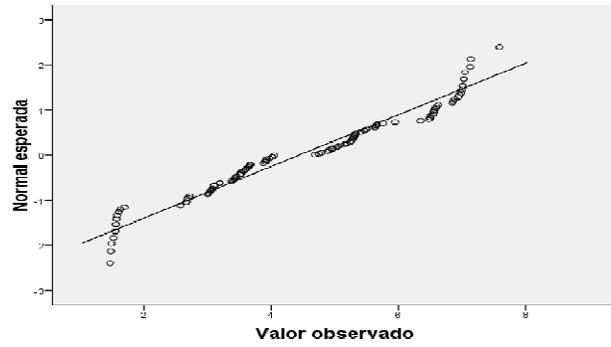
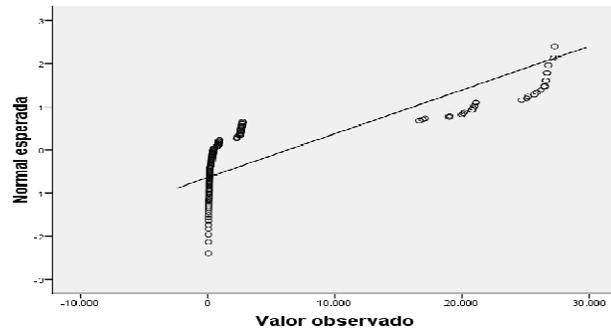


FIGURA 6. Amostras de extratos obtidos para bagaço de cana-de-açúcar (a), casca de arroz carbonizada (b), fibra de coco (c), casca de pinus compostada (d) e turfa canadense (e) extraídos com água nas diluições extrato de saturação, 1:1,5; 1:2; 1:5; 1:10; Mehlich-1; Mehlich-3 e CAT (da esquerda para a direita, respectivamente). Porto Alegre, RS. 2012.

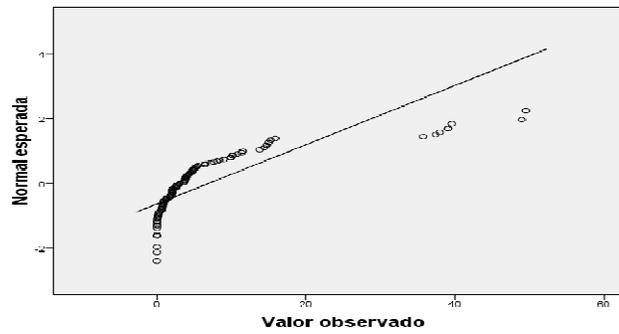
A análise estatística dos valores obtidos para as diferentes variáveis, no Ensaio 1, revelou desvios em relação à normalidade (Figuras 7 e 8), um pressuposto básico para análise de variância paramétrica. Mesmo aplicando-se o recurso da transformação de dados foram encontradas inadequações à análise paramétrica. Apesar da redução do coeficiente de variação para cada variável, anteriormente por volta de 150% (Tabelas 2 a



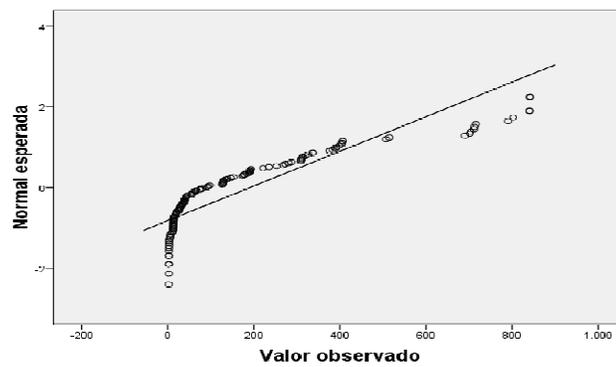
a



b



c



d

FIGURA 7. Probabilidade normal para os valores de pH (a) e condutividade elétrica (b) e teores de potássio (c) e sódio (d) extraídos por oito métodos para cinco substratos. Porto Alegre, RS. 2012.

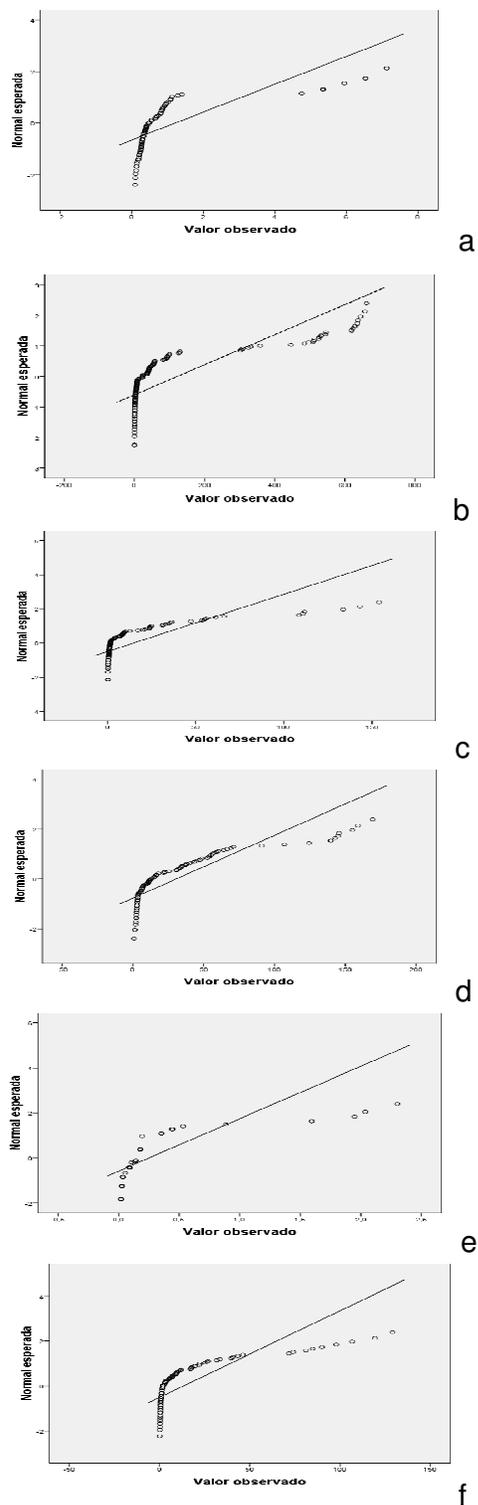


FIGURA 8. Probabilidade normal para os teores de cálcio (a), magnésio (b), ferro (c), zinco (d) cobre (e) e manganês (f) extraídos por oito métodos para cinco substratos. Porto Alegre, RS. 2012.

6), para valores próximos a 10% (dados não apresentados) os valores de assimetria e curtose ainda revelaram desvios em relação à normalidade, determinando a utilização da análise não paramétrica. O mesmo comportamento foi observado para os dados obtidos no segundo ensaio, de forma que o mesmo tratamento estatístico foi dispensado a eles.

A observação dos valores calculados para o coeficiente de variação (CV) dos dados obtidos é importante como ferramenta para a seleção de métodos de análise química porque serve como forma de inferir, tanto a precisão, quanto a reprodutibilidade de um método (Abreu *et al.*, 2007b). Sendo que, os mesmos autores referem-se à reprodutibilidade de um método como o fato de se obterem resultados concordantes mesmo que alguma das condições de medição seja alterada. Entre essas condições podem estar, por exemplo, alterações no observador, no local ou no momento da determinação, fatos inevitáveis no decorrer deste trabalho, uma vez que os procedimentos de extração transcorreram ao longo de alguns meses.

Segundo Amaral *et al.* (1997), o coeficiente de variação, definido como o desvio-padrão em porcentagem da média, é a medida estatística mais utilizada pelos pesquisadores na avaliação da precisão dos experimentos. Ele tem a vantagem de permitir a comparação da precisão entre experimentos, sem a necessidade de igualdade de unidades. Os mesmos autores destacam, ainda, que, na experimentação agrícola, para variáveis com determinações realizadas em laboratório, geralmente são encontrados menores valores de CV, quando comparados a experimentos conduzidos a campo. Isto decorre, talvez, da maior precisão com que este

tipo de análise pode ser conduzido, como o maior controle dos fatores ambientais e o uso de instrumentos precisos.

Os valores de CV calculados para as variáveis, tanto do Ensaio 1 (Tabelas 2 a 4), quanto do Ensaio 2 (Tabelas 5 e 6), apresentaram média de 153%, o que pode ser considerado extremamente alto. A exceção se refere ao valor de pH (Tabela 2), determinado apenas nos extratos aquosos no Ensaio 1, cujo CV foi de 39%. Schäfer (2004) e Ludwig (2010) comentam que esse parâmetro usualmente apresenta baixa variabilidade.

TABELA 2. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para valor de pH, e condutividade elétrica (CE) do Ensaio 1. Porto Alegre, RS. 2012.

Método de extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	CV total
pH (%)						
Bagaço de cana-de-açúcar	1,1	0,8	0,2	2,0	1,0	
Casca de arroz carbonizada	0,8	0,8	0,3	0,4	0,3	
Fibra de coco	0,2	0,5	0,2	0,8	0,3	
Casca de pinus	0,2	0,3	1,0	0,2	1,8	
Turfa	1,2	1,4	0,6	0,3	1,3	
CV método	22,8	22,8	21,8	20,9	21,4	39
CE (%)						
Bagaço de cana-de-açúcar	0,6	30,2	0,4	1,4	5,7	
Casca de arroz carbonizada	4,5	11,9	1,9	2,3	0,8	
Fibra de coco	8,6	11,2	1,4	1,2	2,1	
Casca de pinus	7,9	3,2	2,2	6,3	4,7	
Turfa	2,0	2,3	1,9	1,3	2,0	
CV método	105,2	91,9	81,8	88,9	79,5	156

ES: extrato de saturação; 1;1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v).

Para as demais variáveis mensuradas, possivelmente a causa da variação seja a heterogeneidade dos materiais selecionados para análise.

Foram testados desde materiais minerais como a areia lavada e a vermiculita a resíduos vegetais diversos como o bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz carbonizada e cascas de árvores, além da turfa. Para aqueles substratos produzidos a partir da decomposição de material vegetal é importante perceber que a composição elementar do espécime que deu origem ao composto afeta diretamente a composição do substrato, de modo análogo ao descrito para a matéria orgânica do solo por Dick *et al.* (2009).

Dentre os fatores que podem afetar a constituição do material de origem do substrato estão características específicas do vegetal, como suas necessidades nutricionais ou seu potencial de acumulação de algum elemento, características do solo do local onde foi cultivado, e eventuais alterações com perda de algum nutriente ou acúmulo de outro decorrentes do processo de produção do substrato, como, por exemplo, o processo de carbonização.

No entanto, quando observados os valores de CV calculados entre repetições de um mesmo tratamento, para o valor de pH, encontram-se variações entre 0,2 e 2,0% (Tabela 2), podendo todos serem considerados baixos, quando confrontados com as faixas sugeridas por Amaral *et al.* (1997), sugerindo que todos os métodos testados são adequados para a determinação desse parâmetro, independentemente do material testado.

Para a condutividade elétrica (CE), no entanto, os valores de CV por tratamento (Tabela 2) se mostraram maiores, de forma geral e, em especial para o método 1:1,5. Talvez porque o procedimento de extração preconizado por esse método determine uma maior manipulação das amostras, aumentando a possibilidade de erro por parte do executor da análise.

TABELA 3. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de potássio, sódio, cálcio e magnésio do Ensaio 1. Porto Alegre, RS. 2012.

Método de extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT	CV total
K (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	8,1	15,3	4,7	18,6	5,4	19,3	0,8	1,8	
Casca de arroz carbonizada	4,4	3,4	6,9	1,9	43,3	1,7	0,6	0,8	
Fibra de coco	9,7	11,2	2,8	5,9	2,3	5,0	3,1	3,6	
Casca de pinus	2,0	2,4	5,7	7,4	3,8	1,1	0,7	8,1	
Turfa	30,2	27,1	34,6	10,8	24,7	28,3	16,7	2,5	
CV método	81,2	82,2	83,5	83,1	78,4	80,4	79,1	86,7	157
Na (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	1,3	4,3	10,8	2,2	6,3	46,8	0,0	0,0	
Casca de arroz carbonizada	5,5	7,7	146,4	258,1	7,9	0,0	11,2	2,3	
Fibra de coco	6,6	9,1	10,2	2,1	0,0	19,7	10,0	2,9	
Casca de pinus	5,8	6,9	11,2	0,0	22,9	7,1	6,2	1,9	
Turfa	2,2	3,4	0,0	0,0	3,5	14,4	6,7	0,0	
CV método	30,4	31,0	23,1	30,1	13,6	36,4	13,2	17,2	153
Ca (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	8,2	3,1	1,1	2,5	6,0	1,1	1,4	1	
Casca de arroz carbonizada	7,9	14,3	6,7	41,9	16,7	8,8	1,6		
Fibra de coco	47,0	29,9	24,7	24,7	4,7	0,7	0,5		
Casca de pinus	10,9	6,7	9,5	10,1	23,1	1,4	5,4		
Turfa	5,2	16,1	48,0	14,8	44,1	17,1	4,0		
CV método	101,4	144,	136,1	135,1	141,2	103,4	66,5		166
Mg (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	12,4	0,3	1,3	3,0	2,7	1,1	1,9	1	
Casca de arroz carbonizada	3,1	12,0	7,9	10,9	8,6	3,6	2,4		
Fibra de coco	7,4	14,1	4,9	2,6	3,9	0,8	0,8		
Casca de pinus	10,0	3,9	1,5	4,5	3,7	0,1	3,2		
Turfa	3,9	2,3	2,0	1,1	4,2	20,8	12,8		
CV método	97,1	140,3	137,1	126,0	131,9	76,4	46,7		122

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v).

¹Valores em branco na tabela representam determinações que não foram realizadas para o método e/ou substrato assinalado.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de CV calculados para os teores de K, Na, Ca e Mg extraídos no Ensaio 1. Os menores valores de CV para o potássio foram encontrados no método Mehlich-3, para a maior parte dos substratos (Tabela 3), sugerindo que é um método adequado para a determinação desse nutriente em substratos. A prática laboratorial demonstrou, também, ser este o método de mais fácil e rápida execução, reduzindo possíveis interferências das condições de temperatura do laboratório que oscilou entre 17 e 25 °C no período do experimento.

Ainda com relação ao potássio, a turfa apresentou valores altos de CV para grande parte dos métodos testados, enquanto que a CAC e fibra de coco apresentaram valores baixos. Quando comparamos esses resultados com aqueles apresentados na Tabela 8, que mostra as concentrações de K nos substratos vemos que a turfa apresenta teor baixo desse nutriente, enquanto os dois outros materiais têm valores mais altos, sugerindo que a possibilidade de erro analítico é maior quando o teor do nutriente a ser determinado decresce, dificultando sua detecção.

Resultados semelhantes podem ser observados para o cálcio que, de modo geral, apresentou os menores valores de CV para o substrato bagaço de cana-de-açúcar (Tabela 3) sendo este material o que apresentou maiores concentrações deste nutriente extraído (Tabela 8). No entanto, não é possível concluir com base segura, se existe realmente algum tipo de relação como a referida acima entre precisão de análise e concentração do nutriente disponível.

TABELA 4. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de ferro, zinco, cobre e manganês do Ensaio 1. Porto Alegre, RS. 2012.

Método de extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT	CV total
Fe (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	3,2	5,3	24,0	4,5	34,6	2,6	2,9	9,1	
Casca de arroz carbonizada	24,8	0,0	0,1	43,3	0,0	20,8	6,0	4,9	
Fibra de coco	18,1	41,7	24,7	15,4	15,7	11,5	3,4	8,5	
Casca de pinus	24,8	51,1	64,4	29,4	49,2	10,5	7,1	1,5	
Turfa	9,4	6,3	65,5	4,9	0,0	3,8	1,9	0,8	
CV método	146,7	138,2	86,4	154,8	172,6	112,2	110,1	103,8	207
Zn (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	0,0	6,0	11,2	5,6	0,0	4,5	4,8	0,9	
Casca de arroz carbonizada	23,9	3,8	6,0	7,9	10,8	10,6	6,5	5,7	
Fibra de coco	2,8	12,5	49,3	24,0	16,9	3,8	1,5	1,7	
Casca de pinus	8,6	18,8	6,7	17,0	26,4	2,4	20,1	2,2	
Turfa	19,9	29,1	34,6	43,4	4,6	9,4	5,2	15,6	
CV método	94,6	45,6	53,1	39,1	34,8	68,7	49,9	75,4	130
Cu (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	5,6	12,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	2,5	
Casca de arroz carbonizada	0,1	43,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	
Fibra de coco	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1	
Casca de pinus	0,6	0,4	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	
Turfa	63,0	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	43,3	
CV método	87,4	84,5	77,7	36,2	34,5	105,6	150,2	100,2	173
Mn (%)									
Bagaço de cana-de-açúcar	5,4	2,1	1,2	1,3	13,3	4,2	6,7	6,6	
Casca de arroz carbonizada	24,7	16,7	15,7	22,9	7,5	12,0	13,7	6,4	
Fibra de coco	10,2	0,0	0,0	7,5	25,6	17,3	12,4	20,0	
Casca de pinus	53,6	20,8	0,0	12,5	13,3	2,6	6,8	3,2	
Turfa	4,2	6,2	16,7	6,0	12,4	4,0	28,4	6,2	
CV método	175,9	155,9	150,2	118,2	128,4	114,4	172,9	94,0	194

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v).

Para os demais macronutrientes determinados não é possível detectar nenhum padrão de comportamento, sendo que para a maior parte deles e dos substratos testados apresentam-se resultados que contrariam o que, de início parece ser uma tendência de resposta. A observação dos dados sugere, no entanto, que os maiores valores de CV foram calculados para os métodos 1:2 e 1:5, enquanto os menores resultaram dos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. Aparentemente a variação dos dados também não seguiu nenhuma sequência lógica para os micronutrientes Fe, Zn Cu e Mn (Tabela 4).

À semelhança dos resultados encontrados no Ensaio 1, os coeficientes de variação (CV) calculados para o ensaio 2, por método, situaram-se na ordem de 150%. No entanto, quando se observa a variação dentro dos tratamentos percebe-se uma redução para a maior parte dos métodos e substratos (Tabelas 5 e 6), em comparação com os valores encontrados no ensaio 1, indicando que os procedimentos adotados para tornar o processo de seleção e preparo da amostra até o momento da interação entre substrato e extrator e posterior filtragem, foram eficientes em aumentar a precisão do experimento. Algumas exceções, como o caso do fósforo com a areia extraída por água na proporção 1:10 (72%) ou do cálcio com areia extraída por (74,6) Mehlich-3 (Tabela 5), podem ser devidas a descuidos individuais no momento da manipulação das amostras.

TABELA 5. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio do Ensaio 2. Porto Alegre, RS. 2012.

Método de extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT	CV variável
P (%)									
Areia	2,9	2,2	4,2	4,1	72,0	0,9	6,8	4,1	
CAC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,6	3,0	
Casca de Acácia	1,3	1,1	2,4	0,0	0,0	1,1	9,2	2,6	
Casca de Pinus	0,0	0,0	0,0	0,1	3,2	1,8	0,6	5,6	
Turfa	2,3	4,0	0,0	2,4	19,7	2,4	4,1	32,7	
Vermiculita	4,7	4,7	3,2	24,8	9,5	8,5	0,1	0,3	
CV método	142	184	189	203	186	86,7	85,5	168	223
K (%)									
Areia	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	10,7	2,7	0,1	
CAC	8,9	1,4	0,0	0,0	0,6	0,0	2,4	0,0	
Casca de Acácia	9,4	0,0	0,0	0,0	4,7	1,8	1,6	1,4	
Casca de Pinus	1,2	2,3	1,2	1,6	1,0	1,0	1,1	1,1	
Fibra de coco	1,2	1,1	0,0	1,3	0,7	1,0	0,9	0,6	
Turfa	1,6	2,2	0,5	1,3	0,6	1,6	0,5	0,4	
Vermiculita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	7,9	6,9	
CV método	94,6	94,4	91,7	93,6	118	102,4	99,1	106	133
Ca (%)									
Areia	6,1	0,5	1,1	1,4	4,6	2,1	74,6	¹	
CAC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,2		
Casca de Acácia	0,0	1,2	1,3	1,1	2,7	4,8	0,6		
Casca de Pinus	0,4	0,4	0,4	0,8	0,9	0,1	0,1		
Fibra de coco	0,2	0,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,1		
Turfa	0,1	1,0	0,4	7,0	1,7	1,2	0,5		
Vermiculita	0,0	0,0	0,0	14,3	10,0	7,6	1,5		
CV método	150	148	153	177	132	143	137		228
Mg (%)									
Areia	5,6	2,4	1,1	0,1	0,3	2,3	2,9	¹	
CAC	0,2	0,1	0,0	3,7	3,2	0,9	1,1		
Casca de Acácia	0,8	0,7	1,3	0,4	0,5	0,4	0,5		
Casca de Pinus	0,2	0,2	0,4	1,0	2,4	0,2	0,2		
Fibra de coco	0,2	0,2	0,9	0,1	0,1	0,7	1,6		
Turfa	0,5	1,7	0,4	0,2	0,4	0,4	0,3		
Vermiculita	0,0	0,1	0,0	2,2	4,3	0,2	0,1		
CV método	194	185	189	189	158	97,2	105		115

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. ¹Valores em branco na tabela representam determinações que não foram realizadas para o método e/ou substrato assinalado.

TABELA 6. Coeficientes de variação (CV) por método de extração e substrato para teores de ferro, zinco, cobre e manganês do Ensaio 2. Porto Alegre, RS. 2012.

Método de extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT	CV variável
Fe (%)									
Areia	6,6	1,1	1,5	0,6	1,0	0,2	0,1	0,4	
CAC	6,6	5,2	3,3	6,5	1,0	3,9	1,0	1,9	
Casca de Acácia	0,2	0,1	0,2	3,3	0,9	0,3	0,4	0,5	
Casca de Pinus	1,1	1,0	3,1	3,6	3,2	0,5	0,5	0,1	
Fibra de coco	2,7	0,1	0,4	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1	
Turfa	5,4	1,0	0,6	0,6	1,6	0,1	0,1	0,3	
Vermiculita	1,1	1,1	5,5	2,7	10,0	0,5	0,2	0,2	
CV método	74,0	77,5	80,8	77,7	121	135	92,2	132	238
Zn (%)									
Areia	0,7	14,0	1,2	1,4	10,4	27,4	1,2	0,8	
CAC	14,5	14,0	10,0	8,7	0,9	2,7	1,8	1,2	
Casca de Acácia	0,5	0,4	2,6	5,4	1,8	0,6	2,4	1,0	
Casca de Pinus	7,8	1,1	7,9	12,4	3,0	1,7	0,3	1,1	
Fibra de coco	1,3	1,1	5,0	3,0	3,0	1,7	0,3	0,6	
Turfa	0,7	1,5	6,0	0,4	10,3	0,6	1,1	0,2	
Vermiculita	3,7	12,4	6,0	9,5	10,3	6,1	1,1	1,1	
CV método	92	99,4	112	120	74,1	54,3	51,1	65,2	115
Mn (%)									
Areia	1,8	1,2	0,7	0,2	0,3	0,4	0,1	0,5	
CAC	12,5	8,6	5,4	6,2	3,2	0,3	0,0	0,2	
Casca de Acácia	1,0	1,0	0,4	8,5	2,6	0,1	0,7	0,4	
Casca de Pinus	5,3	6,5	8,3	4,3	5,2	0,1	1,0	0,1	
Fibra de coco	5,7	1,2	0,7	12,4	1,5	0,7	0,0	0,6	
Turfa	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,9	
Vermiculita	2,3	2,5	0,5	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	
CV método	129	130	129	133	104	100	76,2	70,1	103

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. *Valores em branco na tabela representam determinações que não foram realizadas para o método e/ou substrato assinalado.

Várias podem ser as causas, ainda, para a variabilidade encontrada entre repetições do mesmo tratamento, dentre elas as oscilações de temperatura do ambiente onde se procedeu à extração (Bortolon & Gianello, 2010) que, sabidamente, afetam a cinética e o equilíbrio das reações

envolvidas no processo de extração. Podem ter contribuído também pequenas diferenças no tempo de contato entre extrator e substrato uma vez que a reação inicia no momento em que esse contato se estabelece e a adição do extrator para um número grande de amostras demanda alguns minutos, assim como os processos de transferência para a mesa agitadora e, posteriormente para os funis de Büchner, para proceder à filtração. Essas frações de tempo, quando somadas, podem resultar numa diferença a considerar. Alguma variação pode ser decorrente, também, do tempo de armazenamento dos extratos que aguardavam disponibilidade de equipamento para a leitura. Aparentemente o controle destes fatores pode contribuir para o aumento da qualidade dos resultados obtidos.

Apesar de secundários em relação ao objetivo principal deste trabalho, as informações acerca do valor de pH, condutividade elétrica e teores de nutrientes disponíveis nos diferentes substratos testados sugerem que há diferença entre os materiais comumente utilizados na produção em recipientes (Tabelas 7 a 12), sendo possível a adequação da adubação fornecida à cultura segundo seu meio de cultivo.

Com relação ao valor de pH (Tabela 7), houve diferença estatística entre métodos de determinação, sendo que o valor medido no extrato de saturação foi considerado menor. No entanto, do ponto de vista prático a diferença entre métodos não representa grande variação, não sendo necessário sugerir, por exemplo, algum fator de conversão para a interpretação dos resultados obtidos por diferentes formas.

TABELA 7. Valores de pH e condutividade elétrica (CE) de sete substratos extraídos por cinco soluções extratoras (Ensaio 1). Porto Alegre, RS. 2012.

Método de Extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10
pH					
Bagaço de cana-de-açúcar	4,74	5,44	6,14	6,87	6,21
Casca de arroz carbonizada	5,53	5,79	4,95	4,20	3,47
Fibra de coco	5,62	6,32	7,00	6,46	5,87
Casca de pinus	6,58	5,61	4,60	3,61	4,14
Turfa	6,34	6,99	6,43	5,88	5,35
Média	5,1c	5,5b	5,5b	5,7a	5,6ab
CE (mS cm⁻¹)					
Bagaço de cana-de-açúcar	2,75	1,93	1,11	0,30	0,49
Casca de arroz carbonizada	0,51	0,40	0,39	0,37	0,34
Fibra de coco	0,64	0,38	0,12	0,17	0,23
Casca de pinus	0,17	0,16	0,17	0,17	0,41
Turfa	0,38	0,13	0,18	0,23	0,28
Média	0,92a	0,33b	0,32b	0,15c	0,19c

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v). Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5%

Os teores encontrados nas análises realizadas nesse trabalho são coerentes com aqueles encontrados por Abreu et al. (2007 a) em trabalho realizado com substratos para plantas e determinando teores totais de P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn e Cr, para casca de arroz carbonizada, casca de pinus, fibra de coco e turfa, destacando-se os altos valores encontrados para o fósforo na casca de arroz carbonizada. Essa informação é coerente com os dados apresentados por Comissão...(2004), que lista o arroz como uma das espécies com maiores valores esperados de fósforo em análise foliar.

A determinação do teor de fosforo é feita por espectrometria de absorção molecular (colorimetria) (Figura 9 a). A determinação colorimétrica do P extraído é feita com a adição de molibdato de amônio, que reage com o fosfato na solução, formando um complexo fosfomolibdico. Solução de 1,2,4

amino-naftolsulfônica ou de ácido ascórbico são utilizadas como solução redutora, conferindo coloração azul ao extrato. A cor da solução aumenta com a concentração de P extraído (Tedesco et al., 1995). A forma de P determinada por essa técnica é o ortofosfato.

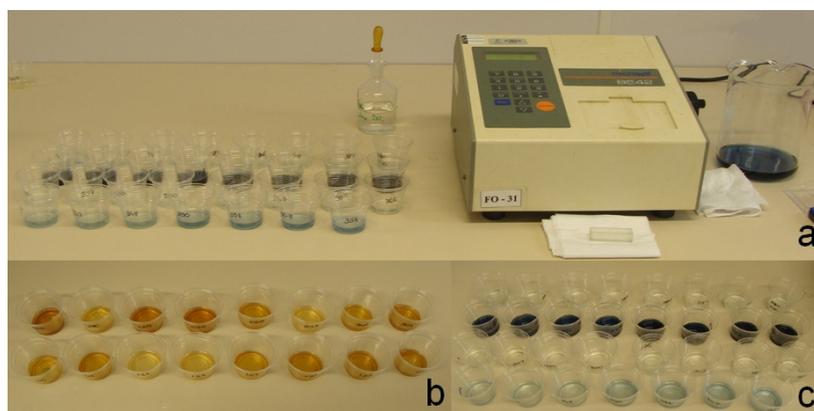


FIGURA 9. Espectrofotômetro UV-Visível modelo Micronal B-542 (a); amostras dos extratos obtidos para a fibra de coco (b); amostras prontas para a leitura (c). Porto Alegre, RS. 2012.

As amostras mais escuras (Figura 9 c) referem-se exatamente aos extratos de casca de arroz carbonizada, enquanto que as amostras apresentadas na Figura 9 b mostram os extratos obtidos a partir da fibra de coco e que não tiveram o teor de fósforo determinado pela possível interferência da coloração de fundo na leitura do equipamento.

Merece destaque, ainda, o alto teor de potássio determinado na fibra de coco nos dois ensaios (Tabelas 8 e 10). Abreu *et al.* (2006) obtiveram resultados semelhantes e creditam o fato a características específicas da planta que origina o resíduo e ao tipo de adubação recebida durante o cultivo do coqueiro.

Características específicas também podem ser responsáveis pelos

altos valores de cálcio encontrados nas cascas de acácia e de pinus, sendo que a segunda apresentou também valores altos de magnésio.

TABELA 8. Teores de potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de cinco substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 1). Porto Alegre, RS. 2012.

Método de Extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT
K (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	3,9	2,3	3,1	3,7	8,5	5,9	39,2	4,8
Casca de arroz carbonizada	4,0	1,3	1,8	1,9	10,2	10,1	49,3	11,5
Fibra de coco	6,9	3,5	4,6	5,4	14,8	42,5	37,0	14,4
Casca de pinus	0,85	0,63	0,72	0,92	2,0	44,9	4,2	2,1
Turfa	0,05	0,06	0,05	0,04	0,12	26,4	0,30	0,06
Média	3,2c	1,5d	2,1d	2,4cd	7,1b	6,8ab	26,0a	6,6b
Na (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	0,41	0,22	0,29	0,29	0,86	0,70	7,1	0,57
Casca de arroz carbonizada	0,15	0,11	0,16	0,21	1,0	0,49	6,1	1,5
Fibra de coco	0,39	0,23	0,30	0,31	1,1	6,9	5,9	0,92
Casca de pinus	0,43	0,29	0,32	0,37	1,0	5,7	5,5	0,8
Turfa	0,38	0,28	0,35	0,49	0,88	5,9	5,1	0,81
Média	0,35d	0,23e	0,28d	0,33d	0,99b	0,79bc	5,9a	0,78c
Ca (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	54,0	37,7	24,1	23,0	55,5	305,4	99,3	¹
Casca de arroz carbonizada	0,55	0,46	0,88	2,5	3,4	48,7	128,7	
Fibra de coco	7,1	3,9	0,13	0,67	3,5	109,4	93,8	
Casca de pinus	38,3	7,1	7,8	5,6	11,1	116,5	338,0	
Turfa	7,4	1,1	1,5	0,62	1,7	170,7	85,8	
Média	21,5b	10,1cd	6,9d	6,5d	15,1bc	192,9a	149,1a	
Mg (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	213,2	190,9	134,1	175,5	392,7	707,2	332,9	¹
Casca de arroz carbonizada	2,0	2,0	2,2	5,5	15,4	93,7	273,2	
Fibra de coco	13,2	11,9	2,6	13,1	32,7	311,5	310,8	
Casca de pinus	136,5	42,2	28,6	38,9	77,5	285,5	811,5	
Turfa	62,7	13,7	19,1	25,5	39,5	471,6	475,8	
Média	85,5bc	52,1cd	37,3d	51,7c	111,5b	414,7a	440,8a	

ES: extrato de saturação; 1;1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. ¹Valores em branco na tabela representam determinações que não foram realizadas. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade.

Em relação ao magnésio, merece destaque os altos teores deste nutriente encontrados na turfa, nas cascas de acácia e de pinus e, especialmente, no bagaço de cana-de-açúcar (Tabelas 8 e 11).

Os resultados obtidos no presente trabalho, para teores de micronutrientes são semelhantes aos encontrados por Abreu *et al.* (2006), destacando que a fibra de coco apresentou altos teores de Fe e Zn e a casca de arroz carbonizada apresentou altos teores de manganês e zinco, quando comparados aos demais outros materiais testados.

Oldoni (2008), trabalhando com substratos orgânicos, cita os seguintes valores tomados como referência para o cultivo de gérbera, obtidos em pasta saturada: 2,5 mmol (0,575g) L⁻¹ de Na; 2,2 mmol (0,08 g) L⁻¹ de K, 1,4 mmol (0,028g) L⁻¹ de Ca e 0,7 mmol (0,017 g) L⁻¹ de Mg. Segundo essa interpretação, somente a areia e a vermiculita teriam valores insuficientes de potássio, enquanto que CAC teria valores baixos de cálcio e magnésio, no ensaio 1.

Para os micronutrientes, merecem destaque os teores muito baixos de cobre nos substratos orgânicos, que não foram detectados pelo procedimento de determinação, à exceção da fibra de coco que, ainda assim, apresentou valores que podem ser interpretados como baixos em comparação com valores esperados para solos. Santos (2005) destaca a importância de conhecer o teor de cobre nos resíduos utilizados como substrato para plantas devido à frequência de utilização de materiais contaminados com metais pesados, o que não foi o caso dos substratos testados neste trabalho. Os teores de ferro zinco e manganês foram baixos comparativamente a solos, e semelhantes a resultados encontrados por Abreu *et al.* (2006) para substratos orgânicos.

TABELA 9. Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) de cinco substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 1). Porto Alegre, RS. 2012.

Método de Extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT
Fe (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	1,7	0,75	1,1	1,1	1,3	31,8	24,1	52,6
Casca de arroz carbonizada	0,06	0,04	0,07	0,13	0,26	1,9	9,0	1,5
Fibra de coco	0,88	0,14	0,68	0,61	0,96	18,6	20,2	8,8
Casca de pinus	9,8	3,0	2,3	4,8	11,1	13,2	143,6	110,3
Turfa	0,73	0,63	0,61	0,31	0,26	57,7	35,5	23,8
Média	2,6b	0,91b	0,97b	1,4b	2,8b	20,8a	46,4a	39,4a
Zn (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	11,1	7,4	9,6	11,9	30,8	161,1	55,9	144,4
Casca de arroz carbonizada	1,2	2,9	3,7	6,2	13,6	61,9	134,6	36,3
Fibra de coco	2,6	3,2	3,8	9,4	15,8	84,28	47,8	22,2
Casca de pinus	2,3	3,6	3,4	5,5	19,7	103,8	73,9	33,8
Turfa	2,6	2,8	3,6	8,7	16,2	53,4	42,3	78,4
Média	3,9d	3,9d	4,8d	8,4c	18,2b	70,2a	70,9a	63,0a
Cu (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	0,18	0,12	0,14	0,18	0,35	1,6	0,18	2,0
Casca de arroz carbonizada	0,02	0,04	0,04	0,09	0,18	0,41	0,18	0,09
Fibra de coco	0,09	0,03	0,04	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Casca de pinus	0,02	0,03	0,04	0,09	0,18	0,18	1,1	0,44
Turfa	0,06	0,03	0,04	0,09	0,18	0,89	0,18	0,12
Média	0,07b	0,05b	0,06b	0,12a	0,21a	0,54a	0,23a	0,57a
Mn (mg L⁻¹)								
Bagaço de cana-de-açúcar	11,1	7,2	9,0	9,6	20,7	93,8	3,4	75,6
Casca de arroz carbonizada	0,09	0,36	0,53	1,46	3,05	35,0	115,4	43,4
Fibra de coco	0,23	0,42	0,61	1,2	2,6	42,1	1,9	1,0
Casca de pinus	0,69	0,44	0,64	1,2	1,7	76,3	20,3	26,2
Turfa	0,54	0,56	0,77	1,2	1,8	7,7	9,0	4,9
Média	2,5bc	1,8c	2,3c	2,9b	5,9a	30,6a	30,0ab	30,2ab

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade.

Os valores determinados para a condutividade elétrica (CE) apresentaram diferença significativa entre os métodos de extração, sendo que o extrato de saturação resultou no maior valor. As diluições 1:1,5 e 1:2 não diferiram significativamente, resultado condizente com a pequena diferença no fator de diluição dos dois métodos. No entanto, os resultados

encontrados para as diluições 1:5 e 1:10 também não diferiram estatisticamente. Possivelmente uma das causas para essa semelhança seja o fato de uma maior diluição permitir a dissolução de uma maior quantidade de sais, mantendo a concentração de íons semelhante à menor diluição.

A comparação entre os métodos de extração na determinação do potássio disponível para as plantas demonstra que, tanto no Ensaio 1 (Tabela 8), quanto no Ensaio 2 (Tabela 10) valores significativamente maiores foram extraídos pelos métodos ácidos, quelatantes e água na proporção 1:10, em comparação com os demais métodos.

Para o cálcio e o magnésio este resultado se mantém, a exceção do método CAT que não foi testado para esses elementos. Percebe-se, então, o maior potencial extrator dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e CAT, em comparação aos extratores aquosos, especialmente para os metais de transição interna. Isso pode ser explicado, em parte, pelo meio ácido em que se dá a extração, mantendo esses cátions na forma disponível, e pela presença de agente quelatantes nos dois últimos métodos.

TABELA 10. Teores de fósforo (P) e potássio (K) de sete substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 2). Porto Alegre, RS. 2012.

Método de Extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT
P (g L⁻¹)								
Areia	0,052	0,026	0,024	0,038	0,58	0,22	0,28	0,075
CAC	0,48	1,04	1,4	3,49	6,9	1,1	0,89	1,3
Casca de acácia	0,15	0,14	0,16	0,26	0,59	1,2	1,4	0,25
Casca de pinus	0,009	0,009	0,010	0,013	0,036	0,46	0,56	0,099
Turfa	0,026	0,025	0,027	0,041	0,076	0,15	0,25	0,041
Vermiculita	0,012	0,012	0,018	0,026	0,064	0,071	0,014	0,004
Média	0,12cd	0,21d	0,27de	0,64bc	1,4a	0,29abe	0,53abd	0,58abe
K (g L⁻¹)								
Areia	0,020	0,014	0,010	0,005	0,010	0,053	0,21	0,037
CAC	0,56	0,63	0,84	1,8	3,3	2,6	2,4	2,0
Casca de acácia	0,58	0,63	0,76	1,1	2,4	3,2	3,5	2,1
Casca de pinus	0,25	0,32	0,35	0,47	0,99	0,86	0,94	0,56
Fibra de coco	1,1	1,3	1,5	2,2	7,8	5,8	6,1	4,4
Turfa	0,25	0,28	0,38	0,57	0,91	0,96	1,1	0,71
Vermiculita	0,001	0,002	0,022	0,001	0,010	0,083	0,14	0,025
Média	0,40e	0,42e	0,55d	0,90c	2,2a	1,4a	1,9a	2,1b

ES: extrato de saturação; 1;1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade.

Na comparação entre os métodos de extração para fósforo (Tabela 10) os resultados apontam diferenças significativas, destacando os maiores teores extraídos pelo extrato aquoso 1:10, Mehlich-1, Mehlich-3 e CAT. Bissani & Bohnen (2004), salientam que para os extratores de dissolução ácida são usados ácidos fortes (clorídrico, nítrico, sulfúrico) ou fracos (acético, cítrico, láctico), que promovem a dissolução parcial de coloides inorgânicos, possibilitando a extração de diferentes formas de fósforo no solo. Possivelmente para os materiais orgânicos, a extração se dê também por dissolução, mas especificamente por troca iônica, em que íon fosfato dos sítios de adsorção dos coloides é substituído por ânions de solução extratora, o mesmo acontecendo com os cátions, deslocados por cátions

adicionados ao extrator.

TABELA 11. Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de sete substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 2). Porto Alegre, RS. 2012.

Método de Extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3
Ca (g L⁻¹)							
Areia	0,093	0,21	0,27	0,40	0,57	0,38	0,11
CAC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,79	0,49
Casca de acácia	0,067	0,047	0,045	0,053	0,15	3,7	2,6
Casca de pinus	4,2	3,0	2,8	1,6	3,5	40,2	27,9
Fibra de coco	0,58	0,41	0,42	0,42	2,4	2,5	3,1
Turfa	5,9	4,4	5,3	7,0	7,8	42,7	5,3
Vermiculita	0,0	0,0	0,002	0,007	0,020	0,47	0,002
Média	1,5c	1,2c	1,3c	1,4c	2,1b	12,9a	8,3a
Mg (g L⁻¹)							
Areia	0,047	1,4	1,7	3,2	3,8	5,9	4,1
CAC	0,062	0,018	0,030	0,095	0,13	5,4	5,3
Casca de acácia	0,25	0,83	1,1	0,97	2,4	26,2	24,8
Casca de pinus	0,65	2,1	2,9	3,2	7,6	38,5	36,5
Fibra de coco	0,43	1,4	1,3	1,8	7,7	19,7	22,5
Turfa	6,5	21,7	29,2	37,3	48,5	121,7	90,6
Vermiculita	0,19	21,7	0,6	0,6	1,6	96,9	144,9
Média	1,1e	4,0d	5,3d	6,8c	10,2b	44,8a	46,9a

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade.

Um terceiro mecanismo de extração, segundo Bissani & Bohnen (2004), é por complexação, em que agentes como EDTA e DTPA complexam íons metálicos, deslocando-os dos sítios de ligação. Essa afirmação pode ser comprovada observando-se os resultados encontrados para os micronutrientes (Tabelas 9 e 12), em que percebe-se resultados significativamente maiores para os teores de Fe, Zn, Cu e Mn extraídos pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e CAT.

TABELA 12. Teores de ferro (Fe), zinco (Zn), e manganês (Mn) de sete substratos extraídos por oito soluções extratoras (Ensaio 2). Porto Alegre, RS. 2012.

Método de Extração	ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT
Fe (mg L⁻¹)								
Areia	1,2	1,4	1,7	1,6	1,4	195,2	446,1	86,5
CAC	0,078	0,097	0,093	0,26	0,61	2,6	4,2	1,9
Casca de acácia	1,7	2,2	3,5	4,6	4,1	31,7	175,9	51,4
Casca de pinus	0,39	2,2	0,76	0,98	1,9	27,0	149,8	43,9
Fibra de coco	2,2	2,7	2,7	3,0	15,6	7,7	33,2	22,6
Turfa	0,40	0,53	0,70	1,2	2,7	59,0	426,0	299,8
Vermiculita	0,062	0,042	0,051	0,14	0,24	0,95	1,1	0,71
Média	0,99e	1,3d	1,4d	1,8c	4,1c	74,2a	47,6b	186,3a
Zn (mg L⁻¹)								
Areia	1,0	0,77	0,97	1,2	1,5	3,3	3,2	2,1
CAC	0,052	0,034	0,040	0,088	0,22	1,47	1,12	0,84
Casca de acácia	0,23	0,14	0,12	0,16	0,31	3,7	3,2	2,2
Casca de pinus	0,22	0,14	0,11	0,18	0,33	2,4	2,1	1,4
Fibra de coco	0,31	0,20	0,20	0,25	1,1	3,1	3,0	4,2
Turfa	0,69	0,61	0,58	1,9	1,1	6,3	5,4	4,8
Vermiculita	0,062	0,042	0,051	0,14	0,24	0,95	1,1	0,71
Média	0,37d	0,28e	0,29e	0,57cd	0,69c	2,3b	3,0a	2,7ab
Mn (mg L⁻¹)								
Areia	55,7	33,5	43,2	54,5	41,5	93,8	3,4	91,6
CAC						16,3	18,2	18,8
Casca de acácia	1,0	0,62	0,72	0,22	2,09	448,4	120,5	76,0
Casca de pinus						28,2	70,3	44,3
Fibra de coco	0,44	0,24	0,20	0,023	1,3	4,1	3,6	4,3
Turfa	15,4	9,1	12,2	14,8	21,0	82,5	67,2	56,3
Vermiculita						5,8	13,8	17,2
Média	18,2a	10,9c	14,1bc	17,4bc	16,5ab	46,1	52,5	44,1

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); M1: extração com Mehlich-1; M3: extração com Mehlich-3; CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. ¹Valores em branco na tabela representam determinações que não foram realizadas para o método e/ou substrato assinalado. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Wilcoxon a 5% de probabilidade.

Em relação às diferentes diluições na extração aquosa, seria de se esperar um aumento de concentração dos nutrientes naquelas soluções menos diluídas, sendo esta, inclusive uma das questões apontadas por Abreu *et al.* (2007a), onde os autores apontam como vantagem do extrato de saturação a possibilidade de determinação de micronutrientes em baixa concentração no substrato. No entanto, o que se percebe para K, Na, Mg

(ensaio1), Fe (ensaio 1) e Mn é que os menores teores são extraídos pelos métodos 1:1,5 e 1:2. Possivelmente o efeito da concentração registrado para o extrato de saturação seja verdadeiro, sendo compensado, no entanto, por um aumento da dissolução ocasionado pela maior quantidade de água disponível, que explicaria os valores encontrados para a diluição 1:10 nos casos citados.

4.2 Ensaio 3 - Correlação entre teores de nutrientes extraídos pelos diferentes métodos e teores foliares em plantas de alface

Os métodos que apresentaram melhores correlações para os macronutrientes foliares potássio, cálcio e magnésio foram o extrato de saturação, Mehlich-1 e Mehlich-3, destacando que não foram determinados cálcio e magnésio pelo método CAT. Correlações significativas foram encontradas para teor de potássio e concentração foliar de nutrientes, enquanto cálcio e magnésio correlacionaram-se melhor com a quantidade acumulada pelas plantas. Para o fósforo, apenas o teor no extrato obtido por Mehlich-1 correlacionou-se significativamente com a concentração foliar.

Estudos de correlação entre nutrientes assimilados pelas plantas e os mesmos nutrientes extraídos por métodos de análise química de solos ou substratos são importantes, porque em síntese, o objetivo de um bom método de avaliação da fertilidade é simular o comportamento de uma planta frente àquela situação específica, uma vez estas não exibem um comportamento passivo em relação ao meio em que vivem, dispondo de recursos para facilitar seu acesso aos elementos de que necessitam. Apesar

disso, ainda são incipientes os estudos desse tipo para substratos, limitando a capacidade de discussão e sugerindo que outros estudos sejam necessários, incluindo também, outras espécies de plantas. Muitos autores como Abreu *et al.* (2007a) utilizam-se da correlação de métodos “novos” com um método tomado como padrão, frequentemente o extrato de saturação. Esse tipo de experimento é de menor custo e maior facilidade de execução e fornece resultados com boa aplicabilidade, mas não isenta a comunidade científica de buscar respostas cada vez mais precisas acerca do tema.

TABELA 13. Coeficientes de correlação de Spearman (ρ) para métodos de extração e concentração de fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface ‘Vera’. Porto Alegre, RS. 2012.

Método	P		K		Ca		Mg	
	Conc. (mg g ⁻¹)	Acum. (g)	Conc. (mg g ⁻¹)	Acum. (g)	Conc. (mg g ⁻¹)	Acum. (g)	Conc. (mg g ⁻¹)	Acum. (g)
ES	0,081	0,346	0,873**	0,408	0,493**	0,805**	0,279	0,806**
1:1,5	0,057	0,311	0,876**	0,418	0,489*	0,797**	0,105	0,609**
1:2	0,030	0,096	0,737**	0,278	0,457*	0,794**	0,143	0,600**
1:5	0,036	0,103	0,739**	0,281	0,450*	0,790**	0,130	0,539*
1:10	0,054	0,435	0,831**	0,387	0,446*	0,782**	0,025	0,572**
M1	0,494*	0,229	0,740**	0,424	0,743**	0,906**	0,803**	0,873**
M3	0,325	0,173	0,774**	0,352	0,435*	0,835**	0,801**	0,801**
CAT	0,306	0,175	0,774**	0,352	-	-	-	-

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 14. Coeficientes de correlação de Spearman (ρ) para métodos de extração e concentração de ferro, zinco, cobre e magnésio nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface 'Vera'. Porto Alegre, RS. 2012.

Método	Fe		Zn		Cu		Mn	
	Conc. (mg kg ⁻¹)	Acum. (g)	Conc. (mg kg ⁻¹)	Acum. (g)	Conc. (mg kg ⁻¹)	Acum. (g)	Conc. (mg kg ⁻¹)	Acum. (g)
ES	0,021	0,305	0,818**	0,397	0,705*	0,955**	0,990**	0,109
1:1,5	0,022	0,298	0,821**	0,403	0,800**	0,935**	0,989**	0,105
1:2	0,183	0,174	0,800**	0,388	0,715*	0,952**	0,989**	0,118
1:5	0,246	0,076	0,811**	0,579**	0,598	0,937**	0,989**	0,113
1:10	0,196	0,168	0,856**	0,450*	-	-	0,974**	0,331
M1	0,372	0,099	0,640**	0,535*	0,270	0,271	0,847**	0,351
M3	0,752**	0,390	0,704**	0,549**	0,836**	0,342	0,632**	0,351
CAT	0,723**	0,653**	0,532*	0,533*	0,596**	0,136	0,770**	0,383

ES: extrato de saturação; 1;1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); CAT: extração com CaCl₂ + DTPA. – não lido por ter concentração muito baixa. * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Ainda assim, Bortolon (2005) enfatiza que os coeficientes de correlação não devem ser tomados como critério único para escolha de um método de análise, porque variações no número e características das amostras de solo, ou no caso, substratos podem levar a grandes alterações nos valores dos coeficientes de correlação. Muitas vezes a eliminação de amostras discrepantes melhora os resultados, mas torna os resultados tendenciosos.

Coeficientes de correlação por volta de 0,7 são considerados satisfatórios. Bortolon (2005) cita que alguns autores aceitam valores baixos, por volta de 0,3, deixando dúvidas a respeito da segurança em se recomendar qualquer procedimento agrônômico com base numa informação obtida por um método desses.

Excetuando-se o fósforo, os demais macronutrientes apresentaram correlações aceitáveis em pelo menos um dos métodos, sendo que o extrato de saturação, Mehlich-1 e Mehlich-3 tiveram os melhores resultados. No que se refere aos micronutrientes, Mehlich-3 e CAT apresentam condições de ser utilizados como métodos de extração para micronutrientes para plantas, sendo que o último já encontra respaldo na literatura (Santos, 2005; Abreu *et al.*, 2007b).

4.3 Ensaio 4 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para fósforo

A inadequação dos dados obtidos aos pressupostos básicos da análise paramétrica impossibilitou a comparação entre médias nesse ensaio. No entanto pode-se perceber diferenças entre os valores de concentração de fósforo extraído no substrato adubado e na testemunha para alguns materiais (Tabela 10). Assim como no Ensaio 2, não foi procedida a leitura nos extratos obtidos a partir da fibra de coco, devido à intensa coloração que os mesmos apresentaram.

A casca de arroz carbonizada apresentou os maiores teores de fósforo para todos os métodos de extração aquosa não havendo diferença entre o substrato adubado e o testemunha. Já para os métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e CAT houve diferença entre os valores extraídos no substrato testemunha e no adubado, sugerindo que esses métodos sejam mais hábeis em determinar diferenças nos teores de fósforo do substrato.

A vermiculita apresentou as maiores diferenças entre o teor no substrato testemunha e o substrato adubado com fósforo, sugerindo que,

nesse material, o fósforo se encontra fracamente ligado, sendo facilmente deslocado e prontamente disponível às plantas.

TABELA 15. Teores de fósforo (P) em g L^{-1} extraído por oito métodos distintos em seis substratos adubados ou não. Porto Alegre, RS. 2012.

Substrato		ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT
Areia	Adubada	0,053	0,023	0,025	0,030	0,10	1,0	3,7	1,2
	Testemunha	0,052	0,026	0,024	0,038	0,58	0,22	0,28	0,075
CAC	Adubada	0,48	1,0	1,4	3,5	6,9	4,5	3,91	3,3
	Testemunha	0,48	1,0	1,4	3,5	6,9	1,1	0,89	1,3
Acácia	Adubada	0,37	0,35	0,53	0,59	1,4	3,7	2,8	1,0
	Testemunha	0,15	0,14	0,17	0,26	0,59	1,2	1,4	0,25
, Pinus	Adubada	0,023	0,022	0,033	0,028	0,086	4,9	3,7	1,3
	Testemunha	0,009	0,009	0,010	0,013	0,35	0,46	0,56	0,099
Turfa	Adubada	0,32	0,31	0,91	0,77	0,77	1,4	2,7	0,81
	Testemunha	0,026	0,025	0,027	0,041	0,076	0,15	0,26	0,041
Vermiculita	Adubada	0,48	1,0	1,4	2,1	4,2	6,3	3,0	0,99
	Testemunha	0,012	0,012	0,018	0,026	0,064	0,070	0,014	0,004

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); CAT: extração com CaCl_2 + DTPA.

De forma geral, não é possível perceber nenhuma regularidade na relação entre a concentração de nutrientes no extrato e o modo de diluição, da mesma forma que percebido no Ensaio 2. No entanto é perceptível para a maior parte dos materiais e extratores que os métodos foram capazes de detectar as diferenças entre as amostras adubadas ou não.

4.4 Ensaio 5 – Capacidade de recuperação dos métodos de extração para potássio

Novamente não foi possível a comparação estatística entre os dados,

mas percebe-se que, à exceção dos valores encontrados para a casca de acácia extraída pelo método CAT (Tabela 12), existem diferenças, em valores absolutos, entre os teores de potássio nos substratos adubado comparativamente à testemunha, sendo essa diferença mais expressiva para aqueles substratos mais pobres nesse nutriente, como no caso da areia e da vermiculita. Em contrapartida, as menores diferenças proporcionais podem ser observadas na fibra de coco, substrato originalmente rico em potássio, sugerindo interação entre métodos e materiais e ampliando a necessidade de buscar métodos mais adequados a cada situação.

TABELA 16. Teor de potássio (K), em g L⁻¹, extraído por oito métodos distintos em seis substratos adubados ou não. Porto Alegre, RS. 2012.

Substrato		ES	1:1,5	1:2	1:5	1:10	M1	M3	CAT
Areia	Adubada	0,54	1,3	1,8	2,7	2,8	2,7	3,5	1,9
	Testemunha	0,020	0,014	0,010	0,005	0,010	0,053	0,21	0,037
CAC	Adubada	1,1	1,2	1,6	2,6	7,4	4,5	4,5	3,3
	Testemunha	0,55	0,65	0,84	1,8	3,3	2,6	2,4	2,0
Casca de Acácia	Adubada	1,2	1,4	1,8	3,1	6,1	5,1	6,3	2,2
	Testemunha	0,58	0,63	0,76	1,1	2,5	3,2	3,5	2,8
Casca de Pinus	Adubada	0,57	0,65	0,86	1,2	2,4	3,6	4,5	2,5
	Testemunha	0,26	0,32	0,35	0,47	0,99	0,86	0,94	0,56
Fibra de Coco	Adubada	1,7	2,0	2,2	3,5	11,7	7,2	7,6	5,3
	Testemunha	1,151	1,305	1,500	2,267	7,867	5,867	6,2	4,4
Turfa	Adubada	0,81	0,91	1,7	3,4	5,3	3,5	4,000	2,883
	Testemunha	0,25	0,28	0,38	0,57	0,92	0,96	1,1	0,71
Vermiculita	Adubada	0,77	0,88	1,0	1,5	3,5	2,9	4,0	2,1
	Testemunha	0,001	0,002	0,002	0,000	0,010	0,083	0,147	0,025

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); CAT: extração com CaCl₂ + DTPA.

4.5 Ensaio 6 – Amostragem de substratos após seleção do tamanho de partículas por tamisação

Para os substratos areia lavada, turfa e vermiculita não houve fração retida na peneira (2 mm), enquanto que para a casca de arroz carbonizada praticamente não houve fração que passasse pela peneira, fazendo com que somente fossem avaliadas a casca de acácia, casca de pinus e fibra de coco.

A fração da casca de acácia negra decomposta que passou pela peneira equivaleu a 22,1 % do material original. Para casca de pinus e fibra de coco, essa fração menor que 2 mm foi, respectivamente 19,2 % e 26,7 %.

Considerando que os dados obtidos não se adequaram à distribuição normal, optou-se por utilizar o coeficiente de correlação de Spearman (Tabela 14) em detrimento do de Pearson, na mesma forma que realizado no Ensaio 3, correlacionando teores de nutriente no extrato com concentração foliar ou quantidade acumulada por planta de alface 'Vera'.

Quando comparados aos resultados obtidos no Ensaio 3 (Tabela 8) percebe-se uma melhora nos coeficientes de correlação para o fósforo. Nesse caso, resta dúvida sobre a aplicabilidade do resultado, uma vez que se refere somente a dois substratos (não foi determinado o teor de fósforo nos extratos de fibra de coco), reforçando a idéia exposta por Bortolon (2005), de que um pequeno número de amostras eleva o coeficiente de correlação.

TABELA 17. Coeficientes de correlação de Spearman (σ) entre os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio dos métodos de extração e a concentração do mesmo nutriente nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface 'Vera'. Porto Alegre, RS. 2012.

	Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	Conc.	Acum.	Conc.	Acum.	Conc.	Acum.	Conc.	Acum.
ES	0,865**	0,482	0,426	0,426	0,426	0,494	0,485	0,418
1:1,5	0,898**	0,482	0,426	0,426	0,441	0,475	0,485	0,418
1:2	0,865**	0,482	0,017	0,017	0,367	0,533	0,460	0,444
1:5	0,915**	0,482	0,468	0,468	0,441	0,475	0,467	0,433
1:10	0,983**	0,482	0,427	0,427	0,393	0,510	0,500	0,350
M1	0,450	0,949	0,451	0,451	0,383	0,517	0,433	0,467
M3	0,450	0,949	0,462	0,462	0,383	0,517	0,433	0,467
CAT	0,450	0,949	0,445	0,445	-	-	-	-

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); CAT: extração com CaCl_2 + DTPA. * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados sugerem que houve uma descaracterização do material pelo processo de tamisação, deixando de haver representatividade do material no qual as plantas foram cultivadas em vaso, o que explicaria a baixa correlação encontrada.

Os resultados para micronutrientes (Tabela 15) foram semelhantes aos encontrados para os macronutrientes, apenas destacando a alteração do comportamento do método 1:10, aventando a possibilidade de que para métodos em que a amostra é coletada com base em massa, e não em volume, o procedimento de separação prévia por tamanho de partículas possa ser indicado de forma a aperfeiçoar os resultados. Em todos os demais métodos, o procedimento indicado era a coleta da amostra com base em volume, o que, devido a grande variação de densidade dos materiais utilizados como substratos para plantas, é feito a partir da massa equivalente

ao volume desejado, com base na sua densidade úmida determinada segundo Brasil (2007). Como mencionado anteriormente, houve alteração nas características das amostras peneiradas em comparação ao material original, sendo uma delas a densidade úmida, o que pode ter afetado os resultados.

TABELA 18. Coeficientes de correlação de Spearman (σ) entre os teores de ferro, zinco, cobre e manganês nos extratos dos métodos de extração e a concentração do mesmo nutriente nas folhas (Conc.) ou quantidade acumulada (Acum.) na parte aérea de plantas de alface 'Vera'. Porto Alegre, RS. 2012.

	Ferro		Zinco		Cobre		Manganês	
	Conc.	Acum.	Conc.	Acum.	Conc.	Acum.	Conc.	Acum.
ES	0,167	0,700*	0,852	0,405	0,804**	0,837**	0,475	0,475
1:1,5	0,092	0,577	0,706*	0,185	0,804**	0,837**	0,475	0,475
1:2	0,402	0,833**	0,502	0,452	0,794*	0,822**	0,390	0,390
1:5	0,399	0,452	0,876**	0,464	0,728*	0,777*	0,458	0,458
1:10	0,477	0,900**	0,812**	0,410	0,814**	0,842**	0,848**	0,848**
M1	0,845**	0,433	0,454	0,496	0,330	0,020	0,517	0,517
M3	0,845**	0,433	0,454	0,496	0,060	0,424	0,517	0,517
CAT	0,845	0,433	0,303	0,563	0,709*	0,932**	0,517	0,517

ES: extrato de saturação; 1:1,5: extração aquosa na diluição 1:1,5 (v/v); 1:2: extração aquosa na diluição 1:2 (v/v); 1:5: extração aquosa na diluição 1:5 (v/v); 1:10: extração aquosa na diluição 1:10 (m/v); CAT: extração com CaCl_2 + DTPA. CV%: coeficiente de variação. * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

Com base nos resultados encontrados no conjunto de ensaios realizados percebe-se que persiste a necessidade de estudos no sentido de aprimorar a análise química de substratos, especialmente para buscar argumentos sólidos no sentido de expandir a legislação sobre substratos por hora vigente. Mas esses mesmos resultados sinalizam de forma positiva, indicando que no futuro será possível um manejo mais racional da adubação de plantas cultivadas em substrato, baseado naquilo que cada material

apresenta em termos de nutrientes disponíveis, permitindo prever deficiências e eventuais riscos de toxidez por algum elemento.

5 CONCLUSÕES

- 1 Os métodos Extrato de Saturação e Mehlich-1 são adequados para determinação de potássio, cálcio e magnésio disponíveis em substratos para plantas.
- 2 O método CAT é adequado para determinação de ferro, zinco, cobre e manganês disponíveis em substratos para plantas.
- 3 O método Mehlich-3 é adequado para determinação de potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês disponíveis em substratos para plantas.
- 4 Dentre os métodos avaliados, nenhum apresentou resultados satisfatórios para a determinação do teor de fósforo disponível em substratos para plantas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande variabilidade encontrada entre procedimentos e materiais dificultou a agilidade na prática de laboratório, fazendo com que o tempo de contato entre substrato e extrator variasse consideravelmente da primeira à última amostra manipulada. Mas, ao mesmo tempo, para um laboratório que realiza análises de rotina essa variação também ocorre, sendo tanto maior, quanto maior for o número de amostras processadas por batelada, com a diferença de que todas estão sendo submetidas ao mesmo tratamento.

A necessidade de proceder à dosagem analítica os teores de nutrientes nos extratos em equipamentos compartilhados, com outros pós-graduandos no Ensaio-1 e com práticas de rotina de um laboratório de análise de solos que presta serviços à comunidade do Ensaio 2, determinou que as amostras ficassem armazenadas por um período de tempo maior do que o desejável, especialmente no caso dos extratos aquosos, podendo ser responsável, em parte, pelas diferenças entre amostras de um mesmo tratamento. Considerando-se um método rotineiro esse aspecto desaparece porque a disponibilidade dos equipamentos é direta e a programação das extrações se faz com base na demanda local do laboratório.

O ajuste dos dois aspectos abordados acima associados ao uso de um laboratório climatizado pode, provavelmente, produzir resultados de

melhor qualidade nos procedimentos de extração e dosagem de nutrientes. Por outro lado, fazem-se necessários estudos com uma quantidade maior de espécies vegetais buscando correlacionar os métodos com uma gama maior de espécies cultivadas em diferentes tipos de recipientes de modo a expandir a aplicabilidade dos resultados obtidos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, M.; NOGUERA, P.; BURÉS, S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study on Spain. **Bioresource Technology**, Fayetteville, v.77, 2001. p. 197-200.

ABREU JUNIOR, C. H. et. al. Métodos analíticos utilizados em química do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.) **Química e mineralogia do solo**: parte II: aplicações. Viçosa: SBCS, 2009. p.529-685.

ABREU, C. A. et al. Uso de extrações aquosas na extração de micronutrientes em casca de pinus compostada e adubada. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., Campinas, 2002. **Anais...** Campinas: IAC, 2002. p.89.

ABREU, C. A. et al. Micronutrient determination in water extracts of peat incubated with mineral fertilizers. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 779, 2008a. p. 375-384.

ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BPRKERT, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: MICRONUTRIENTES e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: POTAFOS, São Paulo: FAPESP, Brasília: CNPq, 2001. p-125-141.

ABREU, C. A. et al. Quest of water extract analysis of micronutrients in soilless organic substrates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philladelphia, v. 37, p.2327-2338, 2006.

ABREU, M. F. et al. Extratores aquosos para a caracterização química de substratos para plantas. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 25, n. 2, p. 184-187, 2007a.

ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; BATAGLIA, O. C. Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., Campinas, 2002. **Anais...** Campinas: IAC, 2002. p. 17-28.

ABREU, M. F. et al. Extração de substratos para a obtenção da

concentração de micronutrientes disponíveis para a rúcula. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 25, n.3, 2007b. p.411-417.

ABREU, M. F. et al. **Protocolo analítico para caracterização química de substrato para plantas**. Campinas: IAC, 2005.

ABREU, M. F. et al. Micronutrient determination in several water extraction methods of coir substrate incubated with mineral fertilizers. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 779, 2008b. p. 385-393.

ALT, D. Advantages and disadvantages of CAT-method for the chemical analysis of horticultural substrates as compared to several other extraction solutions. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.548. 2001. p.655-661.

ALT, D.; PETERS, I. Analysis of macro- and trace elements in horticultural substrates by means of the CaCl_2 /DTPA method. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 342. 1993. p. 287-292.

ALT, D. The CAT-method for the chemical analysis of horticultural substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 450. 1997. p. 87-96.

AMARAL, A. M.; MUNIZ, J. A.; SOUZA, M. Avaliação do coeficiente de variação como medida de precisão na experimentação com citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p.1221-1225, 1997.

BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3., Campinas, 2002. **Anais...** Campinas: IAC. , 2002. p. 7-15.

BAILEY, D. A.; FONTENO, W. C.; NELSON, P. V. **Substrates pH and water quality**. Raleigh: North Carolina State University, 2000b. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ph.pdf> >. Acesso em: 20 ago 2007.

BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. Propriedades químicas de diferentes turfas em função da origem e métodos analíticos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 6., Fortaleza, 2008, Livro de resumos...Fortaleza-CE: Embrapa/CNPAT, 2008. v.1, p 53-57.

BENACI, V. **Avaliação de métodos de análise para carbono orgânico em amostras de interesse agrônomo**. 2010. 67f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2010.

BERNARDI, A.C.C.; CARMELLO, Q. A. C.; CARVALHO, S. A. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 57, n. 4, p. 733-738, out./dez. 2000.

BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. Micronutrientes. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fertilidade**

dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 221-238.

BOOMANN, J. L. Evolução dos substratos usados em horticultura ornamental na Califórnia. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. A. (Ed.) **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes.** Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 43-65.

BORTOLON, L. **Métodos de avaliação da disponibilidade de nutrientes para as plantas em solos do Rio Grande do Sul.** 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BORTOLON, L ; GIANELLO, C. Fósforo extraído pela solução Mehlich-1 determinado por colorimetria e ICP em solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p. 263-268. 2010.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007.** Aprova os métodos analíticos oficiais para análise de substratos e condicionadores de solos, na forma do anexo a presente Instrução Normativa. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do>> Acesso em: 25 jan 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 28, de 25 de setembro de 2009.** Estabelece os métodos analíticos oficiais para determinação dos agentes patogênicos a plantas em substratos. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do>> Acesso em: 01 mai 2012.

CABALLERO, R. et al. Iron chlorosis in Gerber as related to properties of various types of compost used as growing media. **Communications in soil science and plants analysis**, Philladelphia, v. 38., p. 2357-2369, 2007.

CABRERA, R. I. Monitoring chemical properties of container growing media with small soil solution samplers. **Scientia Horticulturae**, n. 75, 1998. p. 113-119.

CALGARO, S. A demanda de substrato no setor florestal. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. A. (Ed.) **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes.** Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 157-158.

CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: FERTILIDADE do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p. 769-850.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 10 ed. Porto Alegre:SBCS- Núcleo Rregional Sul: UFRGS, 2004. 400p.

DICK, D. P. et al. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.;

ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: parte 2-aplicações**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-67.

FERMINO, M. H. **Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas**. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FERMINO, M. H. Caracterização física e química de materiais alternativos para composição de substratos para plantas: resíduos industriais e agrícolas. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. A. (Ed.) **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 241-248.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 2003. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003

FONDAZIONE MINOPRIO. Confronto tra metodi di analisi dei substrati a base di compost. **Quaderni della ricerca**, [S.l.] n. 21, Luglio, 2002.

FONTENO, W. C. Growing media: types and physical/chemical properties. In: REED, D. W. (Ed.) **A growers guide to water, media and nutrition for greenhouse crops**. Batavia: Ball, 1996. p. 93-122.

GABRIELS, R. Standardization of growing media analysis and evaluation: CEN/ISSO/ISHS. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 401, 1995. p. 555-557.

GRUSZYNSKI, C. **Resíduo agro-industrial “casca de tungue” como componente de substrato para plantas**. 2002. 100f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

HANDRECK, K; BLACK, N. **Growing media for ornamental plants and turf**. Kensington: New South Wales University Press, 1991.

JUNIOR, A. L. P. **Determinação da disponibilidade de cobre em substratos**. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2006.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. (Coord.) **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

KÄMPF, A. N., MAGALHÃES, R., MALTZ, R. Comparação de métodos na caracterização básica de substrato para plantas e condicionadores de solo. In: FÓRUM LATINO-AMERICANO DE PLANTAS ORNAMENTAIS, 2., Nova Petrópolis, 2005. **Livro de resumos...** Nova Petrópolis, 2005. p. 96-97.

KRATZ, D. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage e *Mimosa scabrella* Benth**. 2011. 121f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

LEMAIRE, F. Physical, chemical and biological properties of growing medium. **Acta Horticulture**, Wageningen, v. 396, p.273-284, 1995.

LUDWIG, F. **Características dos substratos no desenvolvimento, nutrição e produção de gérbera (*Gerbera jamesonii*) em vaso**. 2010. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LUDWIG, F. et al.. Crescimento e produção de Gérbera fertirrigada com solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 28: p. 424-429. 2010.

MANUAL de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 15, 1984. p. 1409-1416.

MENDHAM, J. et al. **Análise química quantitativa**. 6. Ed. Rio de Janeiro, LTC, 462p. 2002.

NELSON, P. V. **Greenhouse operation and management**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

OLDONI, C. M. **Nutrientes absorvidos e lixiviados em cultivo de Gérbera em vaso, com duas soluções de fertirrigação**. 2008. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008.

OLIVEIRA, R. P. et al. **Mudas de citros**. Pelotas: Embrapa de Clima Temperado, 2001. 32p (Sistemas de produção 1). Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/mudas/cap02.htm>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

RÖBER, R. Substratos hortícolas: possibilidades e limites de sua composição e uso; exemplos da pesquisa, da indústria e do consumo. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Ed.). **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. p. 123-138.

SANTOS, P. H. **Avaliação de métodos de extração de micronutrientes em substratos para as plantas**. 2005. 67f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2005.

SCHÄFER, G. **Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul**. 2004.129f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SCHMITZ, J. A. K. **Cultivo de *Poncirus trifoliata* L. Raf. em recipientes:** influência de substratos e de fungos micorrízicos arbusculares. 1998 144f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

SONNEVELD, C.; ELDEREN, C.W. VAN. Chemical analysis of peaty growing media by means of water extraction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.25, 1994. p.3199-3208.

SONNEVELD, C.; ENDE, J. VAN DEN; DIJK, P.A. VAN. Analysis of growing media by means of a 1:1,5 volume extract. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.53, 1974. p. 183-202.

SPIER, M. **Ajuste de metodologias para análise física de substratos e teste do resíduo de cana-de-açúcar para o cultivo de plantas.** 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, P. T. L. **Tecnologias para produção de porta-enxertos cítricos em ambiente protegido.** 2008.131 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VALENZUELA, O. Materiales alternativos usados en la formulación de sustratos. In: FÓRUM LATINO-AMERICANO DE PLANTAS ORNAMENTAIS, 2., Nova Petrópolis, 2005. **Livro de resumos...** Nova Petrópolis, 2005. p.42-47.

WARNCKE, D. D. Analyzing a greenhouse growth media by the saturation extraction method. **HortScience**, Alexandria, v. 21, n. 2, 1986. p. 223-225.

ZIADI, N.; SEN TRAN, T. Mehlich-3 Extractable Elements. In: CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G. (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis.** 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. p. 107-114.