



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO AGROECOSSISTEMA  
ESTUFA PLÁSTICA NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

MARCELINO HOPPE

Tese apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob orientação do Prof. Sergio Roberto Martins, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

PELOTAS  
Rio Grande do Sul – Brasil  
Abril de 2002

MARCELINO HOPPE

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO AGROECOSSISTEMA  
ESTUFA PLÁSTICA NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

Tese apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob orientação do Prof. Sergio Roberto Martins, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

APROVADA: 19 de abril de 2002

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloisa Santos Fernandes

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tânia B. G. A. Morselli

---

Dr. José Antônio Costabeber

---

Prof. Dr. Luis Antônio Veríssimo Correia

---

Prof. Dr. Sergio Roberto Martins  
(Orientador)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

H798e Hoppe, Marcelino

Eficiência energética do  
agroecossistema estufa  
plástica numa perspectiva  
agroecológica / Marcelino  
Hoppe. – Pelotas, 2002.

106 f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós - Graduação em  
Agronomia, UFPEL, 2002.

1. Agroecologia. 2. Cultivo em estufa. 3. Melão – Cultivo em  
estufa. I. Título.

**Bibliotecária Responsável**

Jorcenita Alves Vieira  
CRB 10/1319

---

C 2002

Todos os direitos autorais reservados a Marcelino Hoppe. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua 7 de Setembro, 940, Centro, Santa Cruz do Sul, RS 96810-120

Fone (0XX) 3715-3415 Endereço Eletrônico: hoppe@polaris.unisc.br

...encharcado de horizontes...  
...a estrada a gente faz...

Canções gaúchas

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Sergio Roberto Martins e esposa Maria Luisa, pelos ensinamentos, orientação, amizade e exemplo.

Aos professores Dr<sup>a</sup>. Marta Elena Gonzalez Mendez, Dr<sup>a</sup>. Heloisa Santos Fernandes e Dr. Eloy Pauletto pelos ensinamentos, companheirismo, confiança e pelos bons momentos, dentro e fora da sala de aula.

Ao “meu novo amigo de infância” e colega Gustavo Schiedeck pela parceria formada, pela convivência e bons momentos passados juntos. E pelas gargalhadas que ajudaram a suportar os árduos trabalhos de campo. Um dia voltaremos a nos encontrar e... ainda riremos disso.

À Ana Celí e família pela amizade.

Aos amigos da Embrapa, Dr. Sílvio Steinmetz, Paulo Miori e Denise pelo apoio e colaboração nos momentos necessários.

À Universidade de Santa Cruz do Sul, na pessoa do Prof. Wilson K. da Cruz, pelo auxílio dispensa de horas atividade que viabilizou a realização desse projeto.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de realizar o curso.

Aos professores e servidores do Departamento de Fitotecnia, por toda a atenção dispensada durante minha passagem pela casa.

Aos colegas da pós-graduação, cuja amizade foi tão importante quanto o próprio curso.

Aos amigos “Caio” André Costa (Midas<sup>-1</sup>), Ricardo e Gaiardo pela ajuda nos trabalhos de campo e pela amizade.

A todos os professores que, desde o primeiro ao último ano dessa longa caminhada, contribuíram para minha formação.

Aos meus pais, Edmundo e Lúcia, pelos ensinamentos e exemplo de vida.  
Aos meus irmãos, familiares e amigos pelos bons momentos vividos juntos.

A minha família, Rosemara, Daniel e Gustavo pelo amor demonstrado.  
Divido com vocês o resultado.

À Deus, pela beleza da vida.

## ÍNDICE

	Página
Lista de tabelas.....	viii
Lista de figuras.....	x
Sumário.....	xii
Summary.....	xiv
1. Introdução geral.....	1
2. Avaliação da eficiência energética do cultivo de melão em estufa plástica numa perspectiva agroecológica.....	5
Resumo.....	6
Abstract.....	8
Introdução.....	10
Material e métodos.....	16
Resultados e discussão.....	22
Conclusões.....	34
Referências bibliográficas.....	36
3. Eficiência energética – índices de biomassa e fluxos de radiação - do cultivo de melão em estufa plástica numa perspectiva agroecológica.....	40
Resumo.....	41
Abstract.....	43
Introdução.....	45
Material e métodos.....	50
Resultados e discussão.....	55
Conclusões.....	66
Referências bibliográficas.....	68

4. Dinâmica da fertilidade do solo após sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	70
Resumo.....	71
Abstract.....	73
Introdução.....	75
Material e métodos.....	82
Resultados e discussão.....	85
Conclusões.....	102
Referências bibliográficas.....	103
5. Referências bibliográficas gerais.....	106

## LISTA DE TABELAS

	Página
Avaliação da eficiência energética do cultivo de melão em estufa plástica numa perspectiva agroecológica	
TABELA 1 – Valor energético de insumos (entradas) e produtos (saídas) em kcal.kg <sup>-1</sup> , envolvidos na produção de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	19
TABELA 2 – Inputs de mão-de-obra para várias atividades na produção de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	23
TABELA 3 – Materiais para construção de estufa plástica tipo Túnel Alto.....	25
TABELA 4 – Gasto energético (kcal.m <sup>-2</sup> ) na produção de mudas de melão no Sistema Float em estufa plástica.....	26
TABELA 5 – Gasto energético (kcal.m <sup>-2</sup> ) na produção de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto, sem mão-de-obra de adubação e colheita.....	27
TABELA 6 – Doses de adubos mineral e orgânico (kg.m <sup>-2</sup> ) e gasto energético no produto, frete e aplicação (kcal.m <sup>-2</sup> ) na produção de melão em estufa plástica.....	28
TABELA 7 – Produção de biomassa útil (Fruto, kg.m <sup>-2</sup> ; kcal.m <sup>-2</sup> ), biomassa residual (Palha, kg.m <sup>-2</sup> ; kcal.m <sup>-2</sup> ) e biomassa total (Bio Total, kcal.m <sup>-2</sup> ) na cultura de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	30
TABELA 8 – Balanço energético: produção de biomassa útil (Fruto), biomassa total (Bio Total); insumos na adubação, colheita e total (Insumos Total), em kcal.m <sup>-2</sup> e eficiência energética (E. energética) na produção de frutos (EE <sub>Fruto</sub> ) e biomassa total (EE <sub>Bio</sub> ) na cultura de melão em estufa plástica Tipo Túnel Alto.....	30

Eficiência energética – índices de biomassa e fluxos de radiação - do cultivo de melão em estufa plástica numa perspectiva agroecológica	
TABELA 1 – $RG_e$ , $RG_i$ e $RFA_i$ , total ( $\Sigma$ , $MJ.m^{-2}$ ) e média ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ) ocorridas em diferentes períodos do cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	56
TABELA 2 – Produção de matéria seca ( $gMS.m^{-2}$ ) e eficiência aparente de cultivo ( $gMS.MJ^{-1}$ ) para $RFA_i$ e $RG_i$ em diferentes períodos do cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	59
TABELA 3 – Produção de biomassa útil (Fruto, fresco, $kg.m^{-2}$ ; $MJ.m^{-2}$ ), biomassa residual (Palha, matéria seca, $kg.m^{-2}$ ; $MJ.m^{-2}$ ) e biomassa total (Bio Total, matéria seca, $kg.m^{-2}$ ; $MJ.m^{-2}$ ) e insumos totais utilizados (Insumos, $MJ.m^{-2}$ ) na cultura de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.....	62
Dinâmica da fertilidade do solo após sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto	
TABELA 1 – Data de coleta de amostra de solo e cultura utilizada em sucessão em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	84
TABELA 2 – Teores médios de matéria orgânica (% - m/v) no solo após adubação mineral e orgânica em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	86
TABELA 3 – Teores médios de fósforo ( $mg.L^{-1}$ ) no solo após adubação mineral e orgânica, em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	89
TABELA 4 - Teores médios de potássio ( $mg.L^{-1}$ ) no solo após adubação mineral e orgânica, em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	91
TABELA 5 – Produtividade de melão ( $kg.m^{-2}$ ) e dados médios de matéria orgânica (M.O. - %), fósforo (P - $mg.L^{-1}$ ) e potássio (K - $mg.L^{-1}$ ) na 9ª época da sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	95

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Eficiência energética – índices de biomassa e fluxos de radiação - do cultivo de melão em estufa plástica numa perspectiva agroecológica	
FIGURA 1 – Médias quinquidiais, em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , da $\text{RG}_e$ , $\text{RG}_i$ e $\text{RFA}_i$ ocorridas durante cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto (24 de fev – 20 abr de 2000). UFPel, Capão do Leão, RS.....	56
FIGURA 2 – Médias quinquidiais das temperaturas máximas e mínimas no interior do dossel ( $\text{Dossel}_{\text{Máx}}$ e $\text{Dossel}_{\text{min}}$ ) e do solo ( $\text{Solo}_{\text{Máx}}$ e $\text{Solo}_{\text{min}}$ ) ocorridas durante cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	57
FIGURA 3 – a) Índice de Área Foliar – IAF, b) Produção Total de Matéria Seca – MS Total, em melão cultivado em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	59
FIGURA 4 – Eficiência aparente de cultivo de melão em função da energia incidente de $\text{RFA}_i$ ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ de $\text{RFA}_i$ ), de $\text{RG}_i$ ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ de $\text{RG}_i$ ), de $\text{RG}_e$ ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ de $\text{RG}_e$ ) e de $\text{RFA}_i$ ( $\text{gMS.mol}^{-1}$ de $\text{RFA}_i$ ), em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	60
FIGURA 5 – a) Eficiência energética da $\text{RFA}_i$ ( $\text{EEBio RFA}_i$ ), da $\text{RG}_i$ ( $\text{EEBio RG}_i$ ) e da $\text{RG}_e$ ( $\text{EEBio RG}_e$ ), b) Eficiência energética completa da $\text{RFA}_i$ + energia complementar ( $\text{EECBio RFA}_i$ ), da $\text{RG}_i$ + energia complementar ( $\text{EECBio RG}_i$ ), e da $\text{RG}_e$ + energia complementar ( $\text{EECBio RG}_e$ ), na produção de biomassa total de melão cultivado em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	65

FIGURA 6 – a) Eficiência energética da $RFA_i$ ( $EEFruto RFA_i$ ), da $RG_i$ ( $EEFruto RG_i$ ) e da $RG_e$ ( $EEFruto RG_e$ ), b) Eficiência energética completa da $RFA_i$ + energia complementar ( $EECFruto RFA_i$ ), da $RG_i$ + energia complementar ( $EECFruto RG_i$ ), e da $RG_e$ + energia complementar ( $EECFruto RG_e$ ), na produção de frutos de melão cultivado em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	65
---	----

Dinâmica da fertilidade do solo após sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto

FIGURA 1 – Teores médios de potássio ( $mg.L^{-1}$ ) no solo após adubação mineral e orgânica, em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	90
--	----

FIGURA 2 – Teores médios de Ca, Mg e K ( $cmol_c.L^{-1}$ ) no solo, após adubação mineral e orgânica em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	97
--	----

FIGURA 3 – Relação entre os teores médios de cálcio e potássio (Ca:K), magnésio e potássio (Mg:K) e cálcio e magnésio (Ca:Mg) no solo, após adubação mineral e orgânica, em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.....	98
--	----

## SUMÁRIO

HOPPE, MARCELINO. D.S., Universidade Federal de Pelotas, abril de 2002.  
**Eficiência energética do agroecossistema estufa plástica numa perspectiva agroecológica.** Professor Orientador: Sergio Roberto Martins.  
Co-orientadora: Marta Elena Gonzalez Mendez.

O presente trabalho determinou a eficiência energética do agroecossistema estufa plástica cultivado com meloeiro (*Cucumis melo* L.) e a dinâmica da fertilidade do solo após seqüência de cultivos onde os efeitos das adubações orgânica e mineral foram avaliados. Os gastos energéticos na adubação mineral (268,95 kcal.m<sup>-2</sup>) e orgânica completa (255,12 kcal.m<sup>-2</sup>) foram semelhantes. A produtividade de melão não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, com a adubação orgânica completa produzindo 3,978 kg.m<sup>-2</sup> e adubação mineral: 3,060 kg.m<sup>-2</sup>. A eficiência energética do agroecossistema foi negativa, sendo obtida em média 0,18 kcal de melão ou 0,45 kcal de biomassa total para 1 kcal de energia complementar investida, com melhor eficiência o tratamento adubação orgânica completa: 0,23 para frutos e 0,53 para biomassa total. A substituição do substrato comercial por substrato alternativo (solo, areia e vermicomposto) e do mulching com polietileno por palha, papel ou plástico reciclado, pode aumentar a eficiência, pois estes itens representaram 48% do consumo energético e associados a reciclagem (materiais metálicos da estrutura e plástico de cobertura), podem

reduzir o custo energético dos insumos a menos da metade. A eficiência energética (EE) do meloeiro também foi determinada contrastando a biomassa, com a entrada de energia proveniente de fluxos de radiação: global externa ( $RG_e$ ) e interna ( $RG_i$ ), e fotossinteticamente ativa interna ( $RFA_i$ ), e a eficiência energética completa (EEC), considerando a radiação solar acrescida da energia complementar. O tratamento adubação orgânica completa mostrou os maiores valores para  $EE_{Bio}$  (4,66%),  $EE_{Fruto}$  (2,04%),  $EEC_{Bio}$  (4,28%) e  $EEC_{Fruto}$  (1,87%), considerando a  $RFA_i$ . A dinâmica da fertilidade do solo indicou que os teores de matéria orgânica sempre foram baixos e os teores de P sempre foram altos, com média de  $179,7 \text{ mg.L}^{-1}$ , na 10ª época. Os teores médios de K na 1ª ( $169,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e na 2ª época ( $204,6 \text{ mg.L}^{-1}$ ) eram altos, mas apresentaram reduções, com média de  $26,9 \text{ mg.L}^{-1}$  na 6ª época (Muito Baixo). Os tratamentos orgânicos com cinza de casca de arroz aumentaram os teores de K indicando a viabilidade da técnica. A relação Ca:K apresentou no início valores adequados, mas atingiu 74,55 na 5ª época. As recomendações atuais de adubação conforme a Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995) não são adequadas para o sistema de cultivo em estufa com retirada da palha, indicando ser possível uma redução nas doses de P e necessário um aumento nas doses de K para manter a fertilidade do solo ao longo de uma sucessão de cultivos.

## SUMMARY

HOPPE, MARCELINO. D.S., Universidade Federal de Pelotas, april, 2002. **Energy efficiency of polyethylene greenhouse agroecosystem on agroecological perspective.** Adviser: Sergio Roberto Martins. Comittee: Marta Elena Gonzalez Mendez.

This work determined the energy efficiency of the polyethylene greenhouse agroecosystem cultivated with melon (*Cucumis melo* L.) and the dynamic of the soil fertilization after a sequence of cultivations in which the effects of organic and mineral fertilization were valued. The energetic spents in mineral fertilization (268.95 kcal.m<sup>-2</sup>) and complete organic (255.12 kcal.m<sup>-2</sup>) were similar. The productivity of melon didn't show any important difference among the treatments, with the complete organic fertilization producing 3.978 kg.m<sup>-2</sup> and the mineral fertilization: 3.060 kg.m<sup>-2</sup>. The energy efficiency of the agroecosystem was negative, obtaining an average of 0.18 kcal of melon or 0.45 kcal of total biomass for 1 kcal of complementary energy invested, with more efficiency on the treatment of complete organic fertilization: 0.23 for fruits and 0.53 for total biomass. The substitution of commercial substrate by alternative substrate (soil, sand and solid bovine manure vermicompost) and of the mulching with polyethylene by straw, paper or recycled plastic can increase the efficiency. This items represented 48% of energetic consume and associated to recycling (metallic materials of the

structure and plastic for covering), can reduce the energetic cost of the consumed substances to less than the half. The energy efficiency (EE) of melon can be determinate contrasting the biomass, with the input of energy originated from radiation flows ( $RFA_i$ ), and the complete energy efficiency (EEC), considering the solar radiation increased of the complementary energy. The complete organic fertilization treatment showed the greater values to  $EE_{Bio}$  (4.66%),  $EE_{Fruto}$  (2.04%),  $EEC_{Bio}$  (4.28%) and  $EEC_{Fruto}$  (1.87%), considering the  $RFA_i$ . The dynamic of the soil fertility shows that the tenors of organic matter were always low and the tenors of P were always high, with an average of  $179.7 \text{ mg.L}^{-1}$ , on the 10<sup>th</sup> period. The tenors' average of K on the 1<sup>st</sup> ( $169.2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) and on the 2<sup>nd</sup> period ( $204.6 \text{ mg.L}^{-1}$ ) were high, but showed reductions, with an average of  $26.9 \text{ mg.L}^{-1}$  on the 6<sup>th</sup> period (Very Low). The organic treatments with rice hull ash increased the tenors of K indicating the possibility of the technique. The relation Ca:K presented at the beginning appropriated values, but, got 74.55 on the 5<sup>th</sup> period. The current recommendations of fertilization of Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995) are not appropriated to the cultivation system in a greenhouse with the retreat of straw, indicating possibility of a reduction on the doses of P and necessary an increase on the doses of K to keep the fertility of the soil during many cultivation processes.

# EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO AGROECOSSISTEMA ESTUFA PLÁSTICA NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Planeta Terra, esfera azul que viaja no espaço sideral, denominada por muitos como Planeta Água, em razão de possuir mais de  $\frac{2}{3}$  da sua superfície coberta por água, elemento da vida, passa por uma mudança de paradigma neste início de século. A sociedade (mais de 6 bilhões de pessoas) começa, aos poucos, a se dar conta que os recursos naturais são finitos e precisam ser protegidos. A partir da entrada da Era de Aquário, relacionada com o elemento água, intensificaram-se os movimentos de preservação ambiental nascidos em meados do século passado. Palavras como poluição, resíduos, destruição de ecossistemas, perda da biodiversidade, sustentabilidade, começam a fazer parte das preocupações acadêmicas e do vocabulário de pessoas comuns que sentem a necessidade de mudanças para garantir qualidade de vida para si, seus filhos e netos.

A preocupação com a sustentabilidade não é simplesmente o tema da moda. É antes o fruto das reflexões da relação do homem com o ambiente ao longo da história. Apenas na década de 60 a humanidade começou a se dar conta que o potencial de transformação desenvolvido pelo progresso tecnológico estava gerando problemas numa escala mais ampla que a natureza podia corrigi-los. O modelo de desenvolvimento predominante no planeta traz em si o princípio da exaustão, uma vez que compromete os recursos naturais essenciais ao seu funcionamento. Em outras palavras, o

modelo não é reprodutível *ad infinitum* (Khatounian, 1997). Atualmente, algumas estimativas indicam que 40% da produção líquida primária terrestre da biosfera, em termos de apropriação de recursos naturais e energia, já está comprometida para consumo humano. Tal escala de atividades aponta limites bastante restritos ao crescimento e, ao mesmo tempo, requer exigências bastante severas ao avanço tecnológico que atenuem estas restrições (Motta, 1997 citado por Mesquita *et al.*, 2000).

A crescente demanda por alimentos e a necessidade de produzir alimentos levaram à utilização de agrotóxicos como forma de controle de doenças, pragas e plantas invasoras. Entretanto, os princípios ativos têm como ponto final de depósito o solo ou a água, sendo que a maior parte acaba atingindo o solo. Os dois aspectos mais importantes da poluição ambiental com agrotóxicos são os efeitos diretos sobre as formas de vida e os indiretos pela acumulação na cadeia alimentar sobre os diversos animais. O uso de agrotóxicos é o fator mais importante na redução da biodiversidade, dentre as práticas de produção agrícola. A supressão da atividade e da diversidade de espécies da flora e da fauna tem grande influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, refletindo-se nos aspectos nutricionais, e também no seu equilíbrio biológico, visto que desequilíbrios na cadeia trófica eliminam agentes supressores de pragas e doenças (Mesquita *et al.*, 2000).

Torna-se imperioso o desenvolvimento de sistemas de produção que consumam pouca energia, não comprometam a saúde das pessoas (produtores e consumidores) e não gerem resíduos que afetem o ambiente. Algumas maneiras de reduzir os problemas de contaminação ambiental são: a diminuição ou eliminação do uso de agrotóxicos, a implementação de programas de manejo integrado de pragas e doenças, e o emprego de práticas adequadas de manejo de solo e água (Mesquita *et al.*, 2000). Ao mesmo tempo, tem surgido nos últimos anos uma crescente consciência ecológica sobre a qualidade do solo, que é definida atualmente como a capacidade de produzir alimentos em longo prazo, de forma sustentável, e de contribuir para o bem-estar dos seres vivos, sem deteriorar os recursos naturais básicos ou prejudicar o meio ambiente (Warkentin, 1995 citado por Mesquita *et al.*, 2000).

A procura por “tecnologias limpas” que não comprometam o ambiente começa a se tornar uma realidade. Um exemplo pode ser a indicação de Fernandes e Martins (1999) que a utilização de fertilizantes orgânicos pode reduzir as quantidades de fertilizantes minerais aplicadas na produção de hortaliças, tendo em vista as novas demandas do mercado consumidor por produtos de melhor qualidade visual e isentos de resíduos.

O Rio Grande do Sul não é auto-suficiente em muitos produtos olerícolas consumidos, por apresentar um período de produção limitado por adversidades climáticas e inverno com temperaturas mínimas prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento de muitas espécies. (Buriol, 1976, citado por Heldwein *et al.*, 2001). O uso da técnica de cultivo em ambientes parcialmente modificados, principalmente em estufas plásticas, permite ampliar esse período de produção, abastecendo assim o mercado local no período de entressafra. (Heldwein *et al.*, 2001).

O desafio a ser enfrentado é desenvolver práticas fitotécnicas adequadas e “limpas” para o cultivo que se harmonizem com o ambiente, em uma perspectiva agroecológica ou “Sustentável”. Além disso, essas tecnologias deverão ter comprovada eficiência energética na conversão de biomassa, garantindo a produção a longo prazo de produtos de qualidade, com aumento paulatino do rendimento. As modificações causadas pela cobertura plástica nas condições microclimáticas deverão ser estudadas considerando, principalmente, o equilíbrio das condições biológicas, físicas e químicas do solo, onde o uso da matéria orgânica terá um papel fundamental.

Este trabalho, dividido em três artigos relacionados, teve como objetivo avaliar a eficiência energética do agroecossistema estufa plástica numa perspectiva agroecológica. Entendendo-se a Agroecologia como: “uma metodologia de trabalho que permite a compreensão mais profunda da natureza dos agroecossistemas e dos princípios que os regem” (Altieri, 2000). Segundo o autor, trata-se de uma nova abordagem na qual são contemplados os preceitos agronômicos, ecológicos e sócio-econômicos necessários à compreensão e avaliação do impacto das tecnologias sobre os sistemas

agrícolas e sociais como um todo. Para Gliessman (2000), o enfoque agroecológico corresponde à aplicação dos conceitos e princípios da Ecologia no manejo e desenho de agroecossistemas sustentáveis.

No primeiro artigo foi avaliada a eficiência energética do agroecossistema estufa plástica. Foram contabilizadas as entradas de energia complementar no sistema, representadas pela energia dos insumos como semente, fertilizante, irrigação, material de construção da estufa e mão-de-obra. Contrastadas com as saídas de energia do sistema caracterizadas pela biomassa vegetal, total e útil do cultivo em estudo. Sugestões para melhorar a eficiência pela redução do conteúdo energético dos insumos são apresentadas.

No artigo seguinte foi determinada a eficiência energética específica da cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica numa perspectiva agroecológica, contrastando a saída de energia do sistema – através da biomassa da cultura, com a entrada de energia no sistema proveniente de fluxos de radiação que interagem no ambiente interno da estufa (sistema solo-planta-atmosfera): radiação global externa ( $RG_e$ ) e interna ( $RG_i$ ), e radiação fotossinteticamente ativa interna ( $RFA_i$ ). Foram determinados índices energéticos para biomassa total ( $EE_{Bio}$ ) e fruto ( $EE_{Fruto}$ ), bem como da eficiência energética completa (EEC), considerando a radiação solar acrescida da energia complementar, para a biomassa total ( $EEC_{Bio}$ ) e fruto ( $EEC_{Fruto}$ ).

No terceiro artigo foi avaliada a dinâmica da fertilidade do solo, com vistas ao seu manejo adequado numa perspectiva agroecológica, após sucessão de cultivos, ao longo de 10 épocas, sendo utilizadas as culturas de alface (*Lactuca sativa*), aveia (*Avena sativa*), feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*) e melão (*Cucumis melo*). Várias técnicas de manejo que respeitam o meio ambiente e visam garantir a sustentabilidade do sistema foram aplicadas, como sucessão de cultivos, dos mais sensíveis aos moderadamente tolerantes à salinidade, cultivos de famílias diferentes, adubação verde, solarização, retirada do plástico para lavagem dos sais reduzindo a salinização, associadas com adubação conforme a análise de solo e confrontando adubos minerais com adubos orgânicos (vermicomposto e cinza de casca de arroz).

2. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA  
DO CULTIVO DE MELÃO EM ESTUFA PLÁSTICA  
NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO CULTIVO DE MELÃO EM ESTUFA PLÁSTICA NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

Marcelino Hoppe<sup>1</sup>

### RESUMO

O cultivo convencional em estufa plástica é um agroecossistema cujas limitações (clima e solo) podem ser superadas proporcionando rendimentos maiores que a campo. Porém, sofre críticas e tem sido apresentado como de balanço energético negativo. O presente trabalho, realizado na UFPel em estufa plástica (7,8m x 39,4m) coberta com polietileno (0,15mm), avaliou a eficiência energética do cultivo do meloeiro (*Cucumis melo* L.) numa perspectiva agroecológica, contabilizando as entradas e saídas de energia. Os efeitos das adubações orgânica e mineral foram avaliados com oito tratamentos (parcelas de 6,0m<sup>2</sup>) e três repetições. A mão-de-obra representou 100 h.homem<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, ou 50% da carga mensal de trabalho do agricultor. Os gastos energéticos na adubação mineral (268,95 kcal.m<sup>-2</sup>) e orgânica completa (255,12 kcal.m<sup>-2</sup>) foram semelhantes. O menor custo do adubo orgânico foi onerado pelo maior gasto em frete e aplicação. A produtividade de melão não apresentou diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos. O tratamento adubação orgânica completa produziu 3,978 kg.m<sup>-2</sup> e o tratamento adubação mineral 3,060 kg.m<sup>-2</sup>. A produtividade média (da terra) foi de 3,12 kg.m<sup>-2</sup> e da mão-de-obra foi de 4,52 kg.melão.h<sup>-1</sup>.homem<sup>-1</sup>. A eficiência energética do sistema foi negativa, pois, para cada 1 kcal investida foi obtida em média 0,18 kcal de melão ou 0,45 kcal de biomassa total. A maior eficiência

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., UFPel – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – PPGA, Deptº de Fitotecnia, Caixa postal 354, CEP 96010-900, Pelotas, RS. E-mail: hoppe@deco.unisc.br

foi obtida pelo tratamento adubação orgânica completa: 0,23 para frutos e 0,53 para biomassa total. Os resultados permitem inferir que o aumento da eficiência do agroecossistema estudado passa pela substituição do substrato comercial por substrato alternativo a exemplo do solo, areia e vermicomposto, e do mulching com polietileno por palha, papel ou plástico reciclado, pois estes itens representaram 48% do consumo energético na produção de melão. A reciclagem de materiais pode aumentar a eficiência: materiais metálicos da estrutura (13% do insumo total médio) e plástico de cobertura (10% do insumo total médio) se prestam para esta finalidade. Uma economia de 23% no plástico pode ser obtida com o uso de lâmina inteiriça ao invés de lâminas traspassadas. A substituição do fitilho de polipropileno e adubo mineral por sisal e adubos orgânicos pode ser interessante, pois mesmo não representando grande economia energética são renováveis e de baixo custo ambiental. A produção dos adubos orgânicos na propriedade gera economia no gasto com frete. A eficiência pode ser aumentada sensivelmente, pois os insumos podem ser reduzidos a menos da metade do custo atual.

#### PALAVRAS-CHAVE

*Cucumis melo*, eficiência energética, energia complementar, biomassa, adubação orgânica, vermicomposto, cinza de casca de arroz.

---

ENERGY EFFICIENCY EVALUATION OF MELON CULTIVATION  
IN POLYETHYLENE GREENHOUSE ON AGROECOLOGICAL  
PERSPECTIVE

ABSTRACT

The cultivation in a polyethylene greenhouse is a agroecosystem which restrictions (climate and ground) can be exceeded, providing more profit than in the field. Although, suffers criticism and have been presented as a negative energetic balance. This study was achieved in UFPEI in polyethylene greenhouse (7.8m x 39.4m) valuated the energetic efficiency of the melon cultivation (*Cucumis melo* L.), on agroecological perspective, counting the inputs and outputs of energy. The effects of the mineral and organic fertilization were valuated with eight treatments (in plots of 6.0m<sup>2</sup>) and three repetitions. It took 100 h.man<sup>-1</sup>.month<sup>-1</sup>, or 50% of the farmer's month load labor. The energetic expenses in mineral fertilization (268.95 kcal.m<sup>-2</sup>) and organic (255.12 kcal.m<sup>-2</sup>) were similar. The least cost of the organic fertilizer was overloaded by the greater cost of freight and application. The productivity of melon didn't show any important difference in the level of 5% among the treatments. The complete organic fertilizer treatment produced 3.978 kg.m<sup>-2</sup> and the mineral fertilizer treatment 3.060 kg.m<sup>-2</sup>. The average of productivity (of the land) was 3.12 kg.m<sup>-2</sup> and the labor one was 4.52 kg.melon.h<sup>-1</sup>.man<sup>-1</sup>. The energy efficiency of the system was negative, because, for each 1 kcal invested was gotten an average of 0.18 kcal of melon or 0.45 kcal of total biomass. The greatest efficiency was gotten by the complete organic fertilizer treatment: 0.23 for fruits and 0.53 for total biomass. The results aloud knowing that the increase of the efficiency of the agrosystem studied passes by the substitution of commercial substrate for

alternative substrate (soil, sand and earthworm compost) and the mulching with polythene for straw, paper or recycled plastic, because these items represent 48% of the energetic consumption in melon production. The recycling of materials can increase the efficiency: metallic materials of the structure (13% of the total consumed) and plastic for covering (10% of the total consumed) are known for their usage. An economy of 23% on plastic can be gotten with usage of full sheet in place of trespassed sheet. The substitution of polypropylene band and mineral fertilizer for sisal and organic fertilizer can be interesting, because, even not representing big energetic economy are renewed and with a low environmental cost. The production of organic fertilizers on the farm produces economy in the expenses with freight. The efficiency can be really increased because the consumed materials can have its costs reduced to half.

#### KEY WORDS

*Cucumis melo*, energy efficiency, complementary energy, biomass, organic adubation, solid bovine manure vermicompost, rice hull ash.

## INTRODUÇÃO

O homem em sua longa trajetória, após tornar vertical a sua coluna vertebral, dependia da caça e da coleta de alimentos para a sua sobrevivência. O processo de tentativa, acerto e erro, deu origem à agricultura a apenas 10.000 anos (tempo relativamente curto na evolução da espécie humana). O cultivo de plantas e a domesticação de animais deram ao homem meios de controlar, em parte, a obtenção de energia para sua sobrevivência, através dos alimentos e também de matérias-primas para vestuário e habitação. Estas conquistas geraram um grande progresso, pois o tempo anteriormente gasto na procura de alimentos foi aproveitado em outras atividades. O nomadismo foi substituído pelo sedentarismo, pois o homem precisava colher o que havia plantado. A domesticação de animais, como o boi e o cavalo, a invenção da roda, o fogo, os metais, trouxeram mudanças radicais no modo de vida e uma elevação substancial dos volumes produzidos e como consequência o aumento do número de pessoas que podiam ser sustentadas.

O homem, no início, atendia suas necessidades (alimentação, fogo, vestuário e habitação) exclusivamente através da energia radiante. Mas, durante o processo de evolução, não parou de aumentar suas necessidades apoiado principalmente pela utilização de energia fóssil (petróleo e gás natural).

Muitos povos indígenas apresentam, ainda hoje, um fluxo de energia exclusivamente de fontes naturais, a exemplo do povo Kung, bosquímanos do deserto do Kalahari em Botsuana. Cerca de 60% da população gasta 12 a 19 horas por pessoa por semana na caça e coleta de alimento, representando uma média de  $1,2 \text{ MJ.dia}^{-1}$  (287 kcal) de energia alimentar gasta por pessoa para obter alimentos que provêm  $9,2 \text{ MJ.dia}^{-1}$  (2.197 kcal), exibindo a alta taxa de rendimento de 7,7; indicando sua vida simples e natural (Lee e DeVore citados por Fluck, 1978). Este valor contrasta com o apresentado pelo mesmo autor de  $594 \text{ MJ.dia}^{-1}$  (141.874 kcal) como a energia seqüestrada na mão-de-obra agrícola dos Estados Unidos, aproximadamente 45 vezes o valor calórico do alimento consumido pelo trabalhador, se for considerado o estilo de vida americano (alimentação, habitação, transporte, lazer e benefícios da vida "moderna"). Fluck (1978) sugere que este valor deva ser usado como conteúdo energético da mão-de-obra em trabalhos de análise energética na agricultura, passando o item a ser uma porção significativa da entrada de energia nos sistemas de produção. Entretanto, aceitar este valor seria concordar com um estilo insustentável de vida, pois os Estados Unidos consomem quase 35% do total de energia para apenas 6% da população mundial (Seixas e Marchetti, 1982).

Para Fernandez Gonzales, 1982, citado por Martins (1997), o equivalente energético médio para um homem de 70 Kg, com trabalho agrícola de oito horas diárias, é de  $3.200 \text{ kcal.dia}^{-1}$ . Norman (1978) assumiu como  $0,25 \text{ MJ.h}^{-1}$  a energia gasta no metabolismo basal e  $1,00 \text{ MJ.h}^{-1}$  a energia gasta no trabalho bruto, e um gasto energético de  $0,40 \text{ MJ.h}^{-1}$  quando a pessoa não está dormindo nem trabalhando. Ele calculou que um trabalhador rural com 55 kg, trabalhando 5 horas por dia e dormindo 8 horas, gastaria  $11,4 \text{ MJ.dia}^{-1}$  ( $2.723 \text{ kcal.dia}^{-1}$ ) de energia bruta.

Segundo Fluck (1979), foi Black em 1971 o primeiro pesquisador a aplicar a relação de energia para sistemas industrializados de produção agrícola, chamando de 'Efficiency Ratio' (E). Limitando os inputs energéticos ao combustível consumido pelos tratores, concluiu, baseado em sua análise simplificada, que a agricultura industrializada era menos eficiente no uso de

energia que a agricultura manual ou à tração animal. Steinhart e Steinhart (1974) chamaram o input de subsídio de energia e também usaram a recíproca da relação de energia para mostrar que o input energético para o sistema alimentar tem aumentado enormemente em relação ao output de energia alimentar no século XX. Leach (1976) manteve a tradição de uso da relação de energia para avaliação energética de vários tipos de sistemas agrícolas.

Os sistemas de produção agrícola utilizam numerosos inputs no provimento de produtos para o consumo humano. Entre os mais amplamente reconhecidos estão terra, mão-de-obra, conhecimento, capital, recursos naturais, água, radiação solar, minerais e energia. A produtividade (medida de quanto produto é obtido por unidade de input) da terra é uma medida universalmente importante, tanto que freqüentemente é utilizada sozinha quando 'produtividade da terra' é almejada. Uma segunda medida de alta importância em países industrializados, é a produtividade da mão-de-obra, ou a quantidade de output por unidade de input de mão-de-obra (Fluck, 1979).

Agroecossistemas podem ser considerados como ecossistemas criados pelo homem com o objetivo de obter produtos e benefícios pelo aproveitamento do potencial do contínuo solo-clima-atmosfera. A Estufa Plástica é um tipo de agroecossistema onde o homem tenta controlar os fatores físicos, principalmente com relação ao clima e solo. Como todo sistema, é composto dos seguintes elementos fundamentais: limites, entradas, componentes, interações e saídas (Rockenbach e Anjos, 1988). No caso em apreço, o limite pode ser a superfície externa do plástico em uma visão restrita ou a propriedade agrícola em uma visão ampla. As entradas podem ser representadas pela energia solar, água de irrigação, sementes, fertilizantes, inseticidas e mão-de-obra. Os componentes são representados pelos cultivos em seus diferentes arranjos e sucessões e pelos subsistemas: estrutura e material de construção, irrigação, mecanismos de ventilação, resfriamento, aquecimento, e pelo próprio homem com suas necessidades, cultura e objetivos. As interações ocorrem entre os componentes, com infinitas possibilidades de combinação, podendo ser positivas ou negativas. As saídas

são representadas principalmente pela biomassa dos distintos cultivos, e também pela água e minerais excedentes da irrigação e fertilização.

Para Camacho (1994), a estufa cria um clima artificial elevando as temperaturas no interior, os cultivos alcançam sua constante térmica mais rápido, aumentando a segurança da colheita, proporcionando maior produtividade e qualidade e protegendo as plantas dos fatores climáticos adversos (seca, geadas, ventos, chuvas intensas e granizo). Segundo Robledo e Martin, 1988, citados pela mesma autora, as vantagens do sistema são a obtenção fora de época, precocidade ou atraso da colheita, aumento de rendimentos (3 a 5 vezes maiores que os obtidos à campo), produção de melhor qualidade (limpeza, sanidade, uniformidade), maior eficiência no uso da água (diminui a evapotranspiração) e a possibilidade de realizar mais de um cultivo por ano.

A plasticultura ou cultivo em estufas, pode ser dividida em três categorias: Plasticultura convencional de cunho empresarial ou de "Ambiente Controlado", Plasticultura convencional de pequeno produtor ou de "Ambiente Protegido" e Plasticultura com perspectiva agroecológica ou "Sustentável". A primeira é extremamente intensiva, planejada, tecnicada, alto investimento e altíssimo rendimento. Na segunda categoria os parâmetros agrometeorológicos não são totalmente controláveis, e mesmo utilizando insumos e tecnologias gerados para a plasticultura empresarial, seus rendimentos são menores devido a falta de recursos, manejo inadequado e a improvisação. As duas categorias sofrem críticas, e têm sido apresentadas como sendo de balanço energético negativo, pelo alto consumo de energia para aquecimento e alto índice de mecanização, principalmente nos países desenvolvidos (Martins, 1997).

A terceira categoria, avaliada no presente trabalho quanto a eficiência energética, chamada de agroecológica ou sustentável, geralmente vinculada a agricultura familiar, que utiliza práticas fitotécnicas adequadas e harmônicas com o ambiente, se relaciona com a horticultura orgânica, e tem por meta obter produtos de qualidade, garantindo a produção a longo prazo, com aumento paulatino do rendimento.

Segundo Khatounian (1994), os sistemas horticolas são sistemas extremamente caros em termos de nutrientes e de energia. Embora nas hortas convencionais esses fatores não sejam relevados, nas hortas orgânicas a perspectiva de sustentabilidade obriga a otimização do aproveitamento dos nutrientes e da energia. A melhoria da eficiência, com o mínimo de recursos externos, é um grande desafio ao movimento orgânico.

Pimentel *et al.* (1973) analisaram a relação entre insumos energéticos e produção agrícola no sistema americano em 1970, onde cerca de  $720 \text{ kcal.m}^{-2}$  foram consumidas na produção de milho com a relação 2,8 kcal produzida/ kcal consumida. Durante a estação de crescimento, cerca de  $504.820 \text{ kcal.m}^{-2}$  de energia solar incidiram em uma lavoura de milho; cerca de 1,3% dessa energia foi convertida em biomassa ( $6.570 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) e, aproximadamente 0,4% em grão de milho (considerando rendimento de  $6.276 \text{ kg.ha}^{-1}$ ).

Segundo Baranska e Satory-Wasik (1984), os inputs de mão-de-obra em empresas estatais de produção de pepinos cultivados em estufas na Polônia, utilizaram em média  $1,56 \text{ h.homem.m}^{-2}$  para todas as atividades desde o preparo da estufa para produção até a limpeza. Isso representa um gasto médio de mão-de-obra de  $0,11 \text{ h.homem.kg}^{-1}$ , para uma produção média de  $14,2 \text{ kg.m}^{-2}$  de pepino. A manutenção e a fixação das plantas consumiram 56% da mão-de-obra ( $0,87 \text{ h.homem.m}^{-2}$ ).

Na agricultura moderna interessam sistemas de produção eficientes no uso da energia. Santos *et al.* (2000), avaliando cinco sistemas de rotação de culturas envolvendo triticales, obtiveram melhor resultado com o sistema triticales/soja + ervilhaca/milho, com conversão de 9,30 e balanço energético de  $2.386 \text{ kcal.m}^{-2}$ . Os mesmos autores dizem que existem poucas pesquisas relativas a estudos com conversão energética (relação entre energia produzida e energia consumida) e com balanço de energia (diferença entre a energia produzida e a consumida) em sistemas de rotação de culturas. No Brasil não existem resultados para melão em estufa e principalmente comparando tratamentos de adubação mineral e orgânica.

O meloeiro (*Cucumis melo*, L.), utilizado para a produção de biomassa no interior da estufa plástica e para avaliação da eficiência energética do agrossistema, é uma cultura de alto valor econômico por unidade de área, mas pode apresentar sérios problemas de produção quando suas exigências bioclimáticas não são plenamente atendidas. Em virtude dessas exigências, o cultivo do meloeiro a campo no Rio Grande do Sul fica restrito aos seis meses mais quentes do ano e a colheita em geral ocorre nos meses de dezembro a março. A opção pelo ambiente protegido permite prolongar o cultivo do meloeiro desde a primavera até o outono e mostra-se economicamente viável (Caron e Heldwein, 2000).

A viabilidade da produção de melão cultivado em estufa no Rio Grande do Sul, foi comprovada através dos trabalhos realizados na UFPEl, onde foram observados rendimentos de  $5,1 \text{ kg.m}^{-2}$  e peso médio de fruto de 1,23 kg para a cv. Valenciano Amarelo cultivada no verão (Farias, 1988). As produtividades de  $8,81 \text{ kg.m}^{-2}$  com a cv. Melina, tutorada, ciclo total de 108 dias (21 dias para mudas + 87 dias a contar do transplante) e  $6,30 \text{ kg.m}^{-2}$  para a cv. Valenciano Amarelo, ciclo total de 91 dias (21+70) foram obtidas por Martins *et al.*, (1998). Hamerschmidt (1997) cita como  $3 \text{ kg.m}^{-2}$  o rendimento médio de melão cultivado em estufa no estado do Paraná. Todos estes rendimentos citados são muito superiores aos obtidos em cultivo de melão gaúcho, a campo, em Pelotas (RS), com valor médio de produção de  $0,8 \text{ kg.m}^{-2}$  (EMATER, 1996).

O cultivo de melão tem sido estabelecido através de transplante de mudas, uma prática muito utilizada na maioria das hortaliças, pois permite um maior controle do espaçamento, garante a população desejada e plantas uniformes, e facilita o controle de plantas daninhas na cultura, além de maximizar a utilização de áreas, tornando possível a obtenção de um maior número de colheitas por ano. Menezes Júnior *et al.* (2000), comparando sistemas de produção de mudas de melão, verificaram que o sistema float foi superior ao convencional para todas as variáveis estudadas. No float, todos os tratamentos foram satisfatórios na produção de mudas, destacando-se o substrato composto por 25% de vermicomposto e 75% de solo, em base de volume, em bandejas de 72 células ( $121,2 \text{ cm}^3$  por célula).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de pesquisa foram realizados no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), localizado a 31°52'32" de latitude Sul e 52°21'24" de longitude Oeste e altitude de 13m acima do nível do mar. O clima da região é definido como Cfa, na classificação de Köppen, clima temperado, inverno frio e úmido, verão quente e chuvas bem distribuídas. A temperatura média anual é de 17,5°C, tendo ocorrido temperaturas máximas e mínimas absolutas de 42,6°C e -5,2°C, respectivamente. Geadas ocorrem de abril a novembro (Berlato, 1983).

Utilizou-se uma estufa plástica definida como "Túnel Alto" com 7,8m de largura, 3,9m de altura e 39,4m de comprimento, apresentando área total de 307,32m<sup>2</sup> e volume de 941,30m<sup>3</sup>, com estrutura composta de arcos de ferro galvanizado, coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), espessura de 0,15mm, aditivado com resina antiultravioleta. A ventilação foi efetuada pelas extremidades, através de portões com abertura total. O eixo longitudinal da estufa estava localizado no sentido norte-sul.

A espécie cultivada foi o meloeiro (*Cucumis melo* L), híbrido Trusty SLS, tipo Cantaloupe. A semeadura foi realizada em 27 de janeiro de 2000 em sistema de bandejas flutuantes para a produção de mudas, sendo utilizada uma pequena estufa plástica auxiliar com 7,0m de largura, 4,0m de altura e

12,0m de comprimento, localizada 20m ao sul da estufa principal, coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), espessura de 0,15mm. A estrutura não apresentava nenhum sistema automático de controle ambiental, sendo a ventilação passiva realizada através de portões localizados nas extremidades e pelas janelas laterais móveis. As sementes foram assentadas em bandejas de poliestireno de 72 células preenchidas com substrato comercial. A emergência média (50%) ocorreu em 1 de fevereiro, e o transplante foi realizado em 24 de fevereiro (repetições 1 e 2) e 28 de fevereiro (repetição 3). O espaçamento utilizado foi de 0,5m entre fileiras e 0,5m entre plantas (4,0 plantas.m<sup>2</sup>). As plantas foram conduzidas tutoradas por meio de um fitilho de polipropileno preso ao solo e na extremidade superior preso a um fio de arame estendido ao longo da linha de cultivo. O controle de pragas, doenças e ervas daninhas foi efetuado através de técnicas de manejo integrado.

O delineamento experimental foi de Blocos Casualizados com três repetições, com 24 parcelas de 6,0m de comprimento por 1,0m de largura (6,0m<sup>2</sup>) e 24 plantas por parcela. Os efeitos das adubações orgânica e mineral foram avaliados em oito tratamentos: a) Testemunha sem adubação – **Test**; b) adubação mineral completa com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), denominado **Mineral**; c) adubação com vermicomposto para suprir 50% do N e cinza de casca de arroz para suprir 50% do K –  $\frac{1}{2}\mathbf{V} + \frac{1}{2}\mathbf{C}$ ; d) adubação com vermicomposto para suprir 50% do N e cinza de casca de arroz para suprir o K –  $\frac{1}{2}\mathbf{V} + \mathbf{1C}$ ; e) adubação com vermicomposto para suprir o N e cinza de casca de arroz para suprir 50% do K –  $\mathbf{1V} + \frac{1}{2}\mathbf{C}$ ; f) adubação com vermicomposto para suprir o N e cinza de casca de arroz para suprir o K –  $\mathbf{1V} + \mathbf{1C}$ ; g) adubação com vermicomposto para suprir o N –  $\mathbf{1V(N)}$ ; h) adubação com cinza de casca de arroz para suprir o K –  $\mathbf{1C(K)}$ .

A fonte de adubação orgânica foi vermicomposto de esterco bovino de minhoca vermelha-da-califórnia (*Eisenia foetida*) complementado por cinza de casca de arroz em alguns tratamentos. A adubação mineral constou de Uréia (44% N), Superfosfato triplo (42% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e Cloreto de potássio (58% K<sub>2</sub>O). As

quantidades aplicadas em cada parcela foram determinadas através de análise de solo seguindo recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995). O vermicomposto e a cinza da casca de arroz foram analisados para determinação das quantidades utilizadas em cada parcela.

O limite do agroecossistema foi definido como a estufa plástica de produção (7,8 x 39,4m) no centro de uma área gramada, incluindo um abrigo para guardar ferramentas e uma pequena estufa auxiliar (7,0 x 12,0m) utilizada na produção de mudas, localizados 20m ao sul, e um depósito de água (1000L) de fibrocimento instalado sobre estacas de eucalipto, distante 10m do portão norte da estufa plástica. Todas as entradas e saídas de produtos, insumos e energia desse sistema durante o ciclo de produção do melão foram avaliadas. As energias complementares avaliadas quanto ao seu conteúdo por quilo de produto (semente, fertilizante, inseticida, plástico, etc.), considerando a energia gasta no processo de fabricação (arco de ferro, plástico, concreto, etc.), e quanto a energia gasta na execução da tarefa (mão-de-obra) foram utilizadas para calcular a eficiência energética na produção de biomassa de melão.

A metodologia para conhecer a entrada de energia no sistema incluiu a determinação do consumo energético ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ) na fabricação dos distintos insumos, considerando a energia contida nos mesmos e a energia gasta em sua fabricação, mediante dados fornecidos por Berry e Fels, 1973; Pimentel *et al.*, 1973; Steinhart e Steinhart, 1974; Leach, 1976; Öhman, 1977; Phillips *et al.*, 1980; Anderson *et al.*, 1988; Naredo, 199-; Zevenhoven *et al.*, 1996; Courtemanche e Levendis, 1998; Morselli, 1998, entre outros, conforme Tabela 1; a determinação dos coeficientes técnicos ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) e mão-de-obra gasta na produção ( $\text{min.m}^{-2}$  ou  $\text{h.m}^{-2}$ ); e a determinação dos coeficientes energéticos tirados das informações anteriores ( $\text{kcal.m}^{-2}$ ). Com os coeficientes energéticos foi calculado o pressuposto energético semelhante ao pressuposto econômico. O "Custo total" desse pressuposto energético foi a entrada de energia no sistema. A determinação da saída de energia ( $\text{kcal.m}^{-2}$ ) do sistema foi realizada considerando o valor de  $349 \text{ kcal.kg}^{-1}$  de frutos frescos de melão (Mahan e Escott-Stump, 1998) para biomassa útil, e  $4.550 \text{ kcal.kg}^{-1}$  de matéria seca para biomassa residual ou palha (Sander, 1997, palha média), conforme Tabela 1.

TABELA 1 – Valor energético de insumos (entradas) e produtos (saídas) em kcal.kg<sup>-1</sup>, envolvidos na produção de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto

Valor energético de insumos ou produtos envolvidos no cultivo de melão em estufa			
Insumo ou Produto	kcal.kg <sup>-1</sup>	Observação	Fonte
Tubo de aço, aço	13.296	extração e fabricação	Berry e Fels, 1973
Peças de aço	20.500	manufaturadas	Wittmus <i>et al.</i> , 1975, citados por Phillips <i>et al.</i> , 1980
Alumínio	66.139	Rebites	Steinhart e Steinhart, 1974
Concreto			
Traço 1:9,30:12,15:0,50. Densidade 2.295 kg.m <sup>3</sup>	390,7	calculado pelo autor, dados de Leach, 1976; Petrucci, 1987.	
Polietileno Baixa Densidade (PEBD)	13.782	valor calorífico e fabricação	Steinhart e Steinhart, 1974
Poliestireno (PS)	13.286	calculado pelo autor como valor calorífico de 10.629 kcal.kg <sup>-1</sup> (Courtemanche e Levendis, 1998) + 25% para fabricação	
Polipropileno (PP)	13.882	calculado pelo autor como valor calorífico de 11.106 kcal.kg <sup>-1</sup> (Zevenhoven, 1996) + 25% para fabricação	
Substrato comercial	4.716	calculado pelo autor como a média do valor calorífico dos componentes seguintes:	
Turfa	5.322		Öhman, 1997
Cascas	4.550		Sander, 1997, palha média
Vermiculita e perlita	4.495	calculado pelo autor, considerando custo de fabricação igual ao cimento, com dados de Leach, 1976	
Semente comum	5.535		Anderson <i>et al.</i> , 1988
Semente híbrida	11.070	o dobro do conteúdo energético para compensar custo de desenvolvimento (Pimentel <i>et al.</i> , 1973)	
Adubação mineral			
N	19.108		Leach, 1976
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.344		Leach, 1976
K <sub>2</sub> O	2.150		Leach, 1976
Vermicomposto	148,7	calculado pelo autor para matéria-prima e mão-de-obra com dados de Morselli (1998); Naredo (199-)	
Frete	10,68	calculado pelo autor, considerando distância de 10km, com dados de Leach, 1976	
Bambu	4.550	estacas	Sander, 1997, palha média
Mangureira gotejamento	21.974	calculado pelo autor, valor calorífico PEBD de 10.987 kcal.kg <sup>-1</sup> (Zevenhoven, 1996) + 100% para fabricação	
Água	2,17		Leach, 1976
Pó-de-fumo	4.550	inseticida	Sander, 1997, palha média
Sabão	17.890	adesivo; calculado pelo autor com dados de Leach, 1976	
Mão-de-obra	400	kcal.h <sup>-1</sup> .homem <sup>-1</sup> gasto energético	Fernandez Gonzales, 1982, citado por Martins, 1997
Frutos frescos	349	90% de água	Mahan e Escott-Stump, 1998
Palha média típica	4.550	Matéria seca	Sander, 1997

Os materiais utilizados na construção da estufa como tubos metálicos, ferro de construção, arame, parafusos, concreto de fixação, plástico de cobertura e fixadores diversos foram contabilizados (m, m<sup>2</sup>, kg) e posteriormente calculado o custo energético por metro quadrado de estufa por safra (kcal.m<sup>-2</sup>.safra<sup>-1</sup>) em função da energia gasta na extração e fabricação do insumo. O valor foi ponderado em função da vida útil do material, sendo considerados 15 anos ou 90 safras de melão (considerando 59 dias + 1 para limpeza) para tubos metálicos, ferro de construção, arame, parafusos, concreto, fixador frontal do plástico e braçadeiras de fixação do plástico do portão, e 540 dias ou 9 safras de melão para plástico de cobertura e rebites de alumínio. A mão-de-obra necessária para colocação do plástico de cobertura, preparo do solo, adubação, produção das mudas, transplante, colocação do mulching, tutoramento, desbaste, tratamentos fitossanitários, colheita e limpeza da estufa foi contabilizada em horas.homem<sup>-1</sup>, e transformada em quantidade de energia considerando 400 kcal.h<sup>-1</sup> o gasto energético do trabalhador (Fernandez Gonzales, 1981,1982, citado por Martins, 1997).

A eficiência agroenergética da estufa plástica foi avaliada através da relação entrada/saída de energia. Os inputs energéticos complementares do sistema (kcal.m<sup>-2</sup>) como mão-de-obra, semente, fertilizante, irrigação, material de construção, etc. são contrastados com os outputs de energia do sistema (kcal.m<sup>-2</sup>) caracterizados pela biomassa vegetal. Neste trabalho não foi considerada a produção de raízes como biomassa.

Os índices de eficiência energética (da energia complementar) na produção de biomassa total (EE<sub>Bio</sub>) e na produção de fruto (EE<sub>Fruto</sub>) foram calculados com as seguintes relações:

$$EE_{Bio} = B_T \cdot A^{-1}$$

Onde:

EE<sub>Bio</sub>: índice de eficiência energética da biomassa total;

B<sub>T</sub>: energia contida na biomassa total (kcal.m<sup>-2</sup>);

A: energia complementar (kcal.m<sup>-2</sup>).

$$EE_{\text{Fruto}} = B_{\text{útil}} \cdot A^{-1}$$

Onde:

$EE_{\text{Fruto}}$ : índice de eficiência energética na produção de fruto;

$B_{\text{útil}}$ : energia contida na biomassa útil – fruto fresco ( $\text{kcal.m}^{-2}$ );

A: energia complementar ( $\text{kcal.m}^{-2}$ ).

A produção de biomassa ( $\text{gMS.m}^{-2}$ ) foi acompanhada em diversos momentos. A matéria seca resultante da poda de frutificação e arejamento realizada aos 42 dias após o transplante - 42 DAT (06/abr) foi computada na produção de biomassa total. A biomassa útil (frutos frescos) foi avaliada através de balança mecânica com capacidade de 10 kg e precisão de 10 g, sendo pesados todos frutos da parcela ( $6 \text{ m}^2$ ), e o resultado apresentado em  $\text{kg.m}^{-2}$ . A biomassa residual (palha) foi seca em estufa com ventilação forçada a  $70^\circ\text{C}$  para obtenção do peso seco ( $\text{kg.m}^{-2}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo de instalação, determinado através de cronometragem, considerou o trabalho de 4 pessoas no período de 5 dias durante 8 horas.dia<sup>-1</sup>, com um total de 9.600 min.homem<sup>-1</sup>, ou 31,24 min.m<sup>-2</sup> (208 kcal.m<sup>-2</sup>) para as atividades de locação, fundação, erguimento e fixação da estrutura metálica. Entretanto, considerando que a estrutura metálica tem uma vida útil de 15 anos e que a safra de melão durou 60 dias, esse valor foi dividido por 90 safras, resultando em 21 s.m<sup>-2</sup>.safra<sup>-1</sup> ou 2,31 kcal.m<sup>-2</sup>.safra<sup>-1</sup>.

A retirada e a substituição do plástico na cobertura da estufa consumiu 3.690 min.homem<sup>-1</sup>, ou 1,33 min.m<sup>-2</sup>.safra<sup>-1</sup> considerando a duração do polietileno (PEBD) em 540 dias e a duração da safra de melão (Tabela 2). Embora representando 3,22% do tempo total, esta atividade afeta o trabalho do agricultor, retirando-o de outras atividades, pois na colocação do plástico são necessárias 05 pessoas trabalhando em conjunto.

TABELA 2 – Inputs de mão-de-obra para várias atividades na produção de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto

Mão-de-obra utilizada na produção de melão em estufa plástica.				
Atividade	Total	Tempo utilizado (minutos)		%
		min.m <sup>-2</sup>	min.m <sup>-2</sup> .safra <sup>-1</sup>	
Subtotal Montagem da estufa <sup>1,3</sup>	9.600	31,24	0,35	0,85
Retirada do plástico velho da cobertura <sup>1,4</sup>	360	1,17	0,13	0,31
Abertura valetas fixação plástico (80m) <sup>1,4</sup>	720	2,34	0,26	0,63
Colocação do plástico na estufa <sup>1,4</sup>	2.610	8,49	0,94	2,27
Subtotal substituição do plástico	3.690	12,00	1,33	3,22
Preparo float <sup>2</sup>	46	-	0,32	0,77
Semeadura <sup>2</sup>	138	-	0,96	2,32
Abrir / fechar estufa pequena (37 dias) <sup>1</sup>	106	-	0,34	0,82
Subtotal produção de mudas <sup>5</sup>	290	-	1,62	3,92
Preparo manual do solo <sup>2</sup>	690	-	4,79	11,58
Transplante das mudas <sup>2</sup>	390	-	2,71	6,55
Colocação do mulching <sup>2</sup>	960	-	6,67	16,13
Preparo das estacas do tutoramento <sup>2</sup>	640	-	4,44	10,74
Fixação da planta (colocação estacas) <sup>2</sup>	367	-	2,55	6,17
Tutoramento <sup>2</sup>	705	-	4,90	11,85
Desbaste <sup>2</sup>	920	-	6,39	15,45
Tratos fitossanitários <sup>2</sup>	135	-	0,94	2,27
Colheita <sup>2,6</sup>	54	-	0,38	0,92
Limpeza da estufa <sup>2</sup>	360	-	2,50	6,04
Abrir / fechar estufa grande (59 dias) <sup>1</sup>	354	-	1,15	2,78
Irrigação (16 vezes) <sup>1</sup>	80	-	0,26	0,63
Subtotal cultivo	5.651	-	37,68	91,10
Subtotal aplicação de fertilizantes <sup>2,7</sup>	54	-	0,38	0,92
<b>Tempo total utilizado</b>	<b>19.231</b>	<b>-</b>	<b>41,36</b>	<b>100,00</b>

<sup>1</sup>/ Atividade considerada para área total da estufa (307,32m<sup>2</sup>).

<sup>2</sup>/ Atividade considerada para área plantada (144m<sup>2</sup>).

<sup>3</sup>/ Duração da estrutura metálica: 15 anos ou 90 safras de melão.

<sup>4</sup>/ Duração do plástico 540 dias; safra do melão 60 dias.

<sup>5</sup>/ Cálculo ponderado para 576 mudas (4 mudas.m<sup>-2</sup>). Tempo por muda: 0,405 min.

<sup>6</sup>/ Tempo médio para colheita.

<sup>7</sup>/ Tempo médio para aplicação de fertilizante mineral e orgânico (vermicomposto + cinza).

A mão-de-obra para abrir/fechar a estufa pequena (utilizada na produção das mudas), abrir/fechar a estufa grande, e proceder a irrigação, foi contabilizada quanto a distância percorrida (ir e “voltar para casa/trabalho” distante 20m da estufa), o número de vezes que a atividade foi executada e considerou 3 km.h<sup>-1</sup> a velocidade de deslocamento. As atividades envolvidas com o cultivo de melão representaram 1,62 min.m<sup>-2</sup> para produção de mudas; 37,86 min.m<sup>-2</sup> para cultivo e 0,38 min.m<sup>-2</sup> o tempo médio de aplicação de fertilizante, totalizando 39,68 min.m<sup>-2</sup> de trabalho de uma pessoa (Tabela 2).

Deve ser salientado que a colocação do mulching (16,13% do tempo total), atividade mais onerosa energeticamente, deve ser executada por duas pessoas, preferencialmente. Em um processo contínuo de produção, todo trabalho na estufa seria executado em 60 dias, uma vez que as mudas da safra seguinte seriam produzidas concomitantemente com a safra corrente, o que representaria  $100 \text{ h.homme}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ , para uma estufa com  $300\text{m}^2$  de área efetivamente plantada, ou aproximadamente 50% da carga mensal de trabalho do agricultor.

Os materiais utilizados na construção da estufa plástica e o gasto energético para a produção destes insumos incluindo estrutura, fundação e cobertura que totaliza  $1.416,69 \text{ kcal.m}^{-2}.\text{safra}^{-1}$ , estão relacionados nas Tabelas 3 e 5, respectivamente. Os insumos utilizados na produção de melão, como mudas, mulching, tutoramento, tratamento fitossanitário, e irrigação (água e mangueiras), consumiram  $4.089,13 \text{ kcal.m}^{-2}.\text{safra}^{-1}$  (Tabela 5), merecendo destaque o elevado consumo energético para produção de mudas ( $361,88 \text{ kcal}$  por unidade, Tabela 4) e aplicação do mulching ( $1.485,36 \text{ kcal.m}^{-2}.\text{safra}^{-1}$ ).

O gasto energético em mão-de-obra na montagem, substituição do plástico e cultivo, excluindo o tempo utilizado na produção das mudas (Tabela 4) e a mão-de-obra para aplicação de fertilizantes e colheita, específicas para cada tratamento, totalizou  $259,87 \text{ kcal.m}^{-2}.\text{safra}^{-1}$ , considerando  $400 \text{ kcal.h}^{-1}$  o valor energético do trabalho humano (Fernandez Gonzáles, 1982, citado por Martins, 1997). O gasto energético comum para todos tratamentos na produção de melão em estufa tipo Túnel Alto foi de  $5.765,70 \text{ kcal.m}^{-2}.\text{safra}^{-1}$  (Tabela 5).

As quantidades de adubos (mineral, vermicomposto e cinza de casca de arroz) utilizados em cada tratamento são apresentadas na Tabela 6. O valor energético do adubo mineral foi calculado considerando a recomendação de adubação da ROLAS de  $100-80-230 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (Comissão, 1994) e  $19.108 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ,  $3.344 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , e  $2.150 \text{ kcal.kg}^{-1}$  para cada elemento, respectivamente (Leach, 1976), resultando em  $267,28 \text{ kcal.m}^{-2}$ , sendo utilizada a soma de  $0,081 \text{ kg.m}^{-2}$  de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

TABELA 3 – Materiais para construção de estufa plástica tipo Túnel Alto

<b>Material para construção da estufa</b>					
<b>Qtde</b>	<b>Descrição</b>	<b>Especificação</b>		<b>Total</b>	
	<b>Tubos metálicos (comprimento, diâmetro)</b>	m	"	m	
2	Coluna do oitão	3,90	3	7,80	
4	Coluna de fixação do portão	2,50	3	3,60	
	Tubo metálico 3"			17,80	
6	Suporte para fixação da coluna	0,60	2 1/2	3,60	
	Tubo metálico 2 1/2"			3,60	
4	Portão	12,80	1 1/4	51,20	
6	Poste da estrutura de apoio das plantas	2,00	1 1/4	12,00	
44	Luva de fixação do arco	0,24	1 1/4	10,56	
54	Cruzeta de fixação do arco	0,34	1 1/4	18,36	
6	Trizeta de fixação do arco	0,29	1 1/4	1,74	
	Tubo metálico 1 1/4"			93,86	
44	Semi-arco	6,00	1	264,00	
44	Suporte do semi-arco	0,60	1	26,40	
4	Travessa da estrutura de apoio das plantas	6,00	1	24,00	
6	Suporte do poste da estrutura de apoio das plantas	0,60	1	3,60	
57	Longarina de fixação do semi-arco	2,00	1	114,00	
	Tubo metálico 1"			432,00	
	<b>Ferro de construção (comprimento, diâmetro)</b>	m	"	m	
4	Reforço do portão	11,40	1/2	45,60	
120	Ferro para treliça frontal	0,40	1/2	48,00	
	Ferro construção 1/2"			93,60	
	<b>Arame (comprimento, diâmetro)</b>	m	mm	m	
36	Arame sustentação do plástico de cobertura	41,00	2,810	1476,00	
8	Arame sustentação plantas	41,00	2,10	328,00	
	Arame galvanizado, bitola 14 (2,10mm)			1804,00	
	<b>Parafusos (comprimento, diâmetro)</b>	mm	mm	unidade	
12	Parafuso do suporte da coluna	100	8		
88	Parafuso da luva de suporte do semi-arco	50	8		
108	Parafuso da cruzeta do semi-arco	50	8		
12	Parafuso da trizeta do semi-arco	50	8		
12	Parafuso do suporte do poste estrutura de apoio plantas	50	8		
108	Parafuso da cruzeta da longarina	50	6		
6	Parafuso da trizeta da longarina	50	6		
	Parafuso 100X8mm			12	
	Parafuso 50X8mm			220	
	Parafuso 50X6mm			114	
	<b>Concreto (comprimento, largura, profundidade)</b>	m	m	m <sup>3</sup>	
44	Sapata para fixação suporte do semi-arco	0,30	0,30	0,40	1,584
6	Sapata para fixação suporte da coluna	0,30	0,30	0,40	0,216
6	Sapata para fixação suporte poste	0,30	0,30	0,40	0,216
	Concreto para 56 sapatas de 0,036m <sup>3</sup>				2,016
	<b>Plástico (comprimento, largura)</b>	m	m	m <sup>2</sup>	
6	Pano plástico PEBD, 150μ para cobertura	16,00	8,00	768,00	
4	Pano plástico PEBD, 150μ para portão	4,00	4,00	64,00	
	Plástico PEBD, 150μ			832,00	
	<b>Fixadores diversos (comprimento, diâmetro)</b>	m	"	unidade	
50	Fixador do plástico no semi-arco frontal	0,10	1 1/4	50	
100	Rebite jaqueta alumino polido – (mm, mm, unidade)	4,8	20,0	100	
50	Braçadeira de fixação do plástico no portão	0,05	1 1/2	50	

TABELA 4 – Gasto energético (kcal.m<sup>-2</sup>) na produção de mudas de melão no Sistema Float em estufa plástica

Gasto energético para produção de mudas <sup>1</sup> de melão no Sistema Float.					
Descrição	g	g.muda útil <sup>1</sup>	g.muda <sup>-1</sup> .safra <sup>-1</sup>	kcal.g <sup>-1</sup>	kcal.muda <sup>-1</sup> .safra <sup>-1</sup>
<b>Estufa<sup>2</sup></b>					
Estrutura					
Tubos metálicos <sup>3,4</sup>	14.733	25,578	0,171	13,296	2,27
Arames sust <sup>3,4</sup>	390	0,677	0,005	13,296	0,06
Cobertura					
Plástico PEBD <sup>5,6</sup>	1.080	1,875	0,125	13,782	1,72
<b>Sistema Float</b>					
Lona preta PEBD <sup>6,7</sup>	1.220	2,118	0,424	13,782	5,84
Bandejas, PS <sup>8,9</sup>	2.300	3,993	0,200	13,286	2,65
Substrato <sup>10</sup>	42.300	73,438	73,438	4,716	346,33
Sementes <sup>11</sup>	16	0,028	0,028	11,070	0,31
<b>Mão-de-obra (min)<sup>12</sup></b>			0,405	6,667	2,70
<b>Total energético para produção de 1 muda de melão</b>					<b>361,88</b>

<sup>1</sup>/ Mudas: utilização da estufa por 32 dias + 4 para replante.

<sup>2</sup>/ Estufa, área utilizada: 10 bandejas (0,70x0,35m) + 25% para circulação = 3,0m<sup>2</sup>.

<sup>3</sup>/ Estufa, estrutura. Tubos de aço e arame: quantidade para 3,0m<sup>2</sup>. Durabilidade 15 anos ou 150 safras de mudas.

<sup>4</sup>/ Aço: 13.296 kcal.kg<sup>-1</sup>, extração e fabricação (Berry e Fels, 1973).

<sup>5</sup>/ Estufa, cobertura. Plástico, tipo PEBD para 3,0m<sup>2</sup>. Durabilidade 540 dias ou 15 safras.

<sup>6</sup>/ PEBD: 13.782 kcal.kg<sup>-1</sup> (Steinhart e Steinhart, 1974) para valor calorífico + fabricação.

<sup>7</sup>/ Lona: 6,6m<sup>2</sup> x 200μ = 1,32dm<sup>3</sup> x 924 g.dm<sup>-3</sup>. Durabilidade 5 safras.

<sup>8</sup>/ Poliestireno, PS: 10 bandejas com 230g. Durabilidade 20 safras.

<sup>9</sup>/ PS: 13.286 kcal.kg<sup>-1</sup>. Calculado como valor calorífico de 10.629 kcal.kg<sup>-1</sup> (Courtemanche e Levendis, 1998) + 25% para fabricação.

<sup>10</sup>/ Substrato comercial: 4.716 kcal.kg<sup>-1</sup>. Média do valor calorífico dos componentes. Turfa: 5.322 kcal.kg<sup>-1</sup> (Öhman, 1997); cascas: 4.550 kcal.kg<sup>-1</sup> (Sander, 1997, palha média); vermiculita e perlita: 4.495 kcal.kg<sup>-1</sup>, considerando custo de fabricação igual ao cimento (calculado com dados de Leach, 1976).

<sup>11</sup>/ Sementes: 11.070 kcal.kg<sup>-1</sup>. O dobro do conteúdo energético de 5.535 kcal.kg<sup>-1</sup> (Anderson *et al.*, 1988) para compensar custo de desenvolvimento (Pimentel *et al.*, 1973).

<sup>12</sup>/ Mão-de-obra muda: 1,62 min.m<sup>-2</sup>.safra<sup>-1</sup> = 0,405 min.muda<sup>-1</sup> (Tabela 2). Gasto energético considerando 400 kcal.h<sup>-1</sup>.homem<sup>-1</sup> (Fernandez Gonzales, 1982, citado por Martins, 1997).

A adubação com vermicomposto utilizou 1,124 kg.m<sup>-2</sup> (base seca) para atender a recomendação de nitrogênio e 0,562 kg.m<sup>-2</sup> para meia dose, considerando que a análise do produto apresentou 1,78% de N, e a Comissão de Fertilidade do Solo (1995) indica como 0,5 o índice de liberação do nutriente no 1º cultivo. O valor energético do vermicomposto foi calculado através da energia contida no esterco bovino com 80 kcal.kg<sup>-1</sup> (Naredo, 199-), eficiência de conversão da minhoca de 55% e mão-de-obra, onde um funcionário produz 30 t.mês<sup>-1</sup> (Morselli, 1998), representando o total de 148,7 kcal.kg<sup>-1</sup>.

TABELA 5 – Gasto energético (kcal.m<sup>-2</sup>) na produção de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto, sem mão-de-obra de adubação e colheita

Gasto energético para produção <sup>1</sup> de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto.						
Descrição	kg	kg.m <sup>-2</sup>	kg.m <sup>-2</sup> .sf <sup>-1</sup>	kcal.kg <sup>-1</sup>	kcal.m <sup>-2</sup> .sf <sup>-1</sup>	
<b>Estufa<sup>2</sup></b>						
<b>Estrutura<sup>3</sup></b>						
Tubos metálicos <sup>3,4</sup>	1.509,4	4,911	0,05457	13.296		725,59
Arames sust <sup>3,4</sup>	39,9	0,130	0,00144	13.296		19,16
Arame sust cultura <sup>4,5</sup>	8,9	0,055	0,00062	13.296		8,18
Parafuso sextavado <sup>6,7</sup>	7,8	0,025	0,00028	20.500		5,80
Fundação <sup>8</sup> , Concreto <sup>9</sup>	4.626,7	15,055	0,16728	390,70		65,36
<b>Cobertura<sup>10</sup></b>						
Plástico PEBD <sup>11</sup>	115,3	0,375	0,04169	13.779		574,47
Fixador frontal plástico <sup>7,12</sup>	6,6	0,021	0,00024	20.500		4,87
Rebite de alumínio <sup>13,14</sup>	0,3	0,001	0,00011	66.139		7,05
Braçadeira fix. plást. portão <sup>7,15</sup>	8,4	0,027	0,00030	20.500		6,21
<b>Cultura de melão</b>						
Muda (unidade) <sup>16</sup>	576,0	4,000	4,00000	361,88		1.447,52
Mulching. Plástico PEBD <sup>11;17</sup>	15,5	0,108	0,10780	13.779		1.485,36
<b>Tutoramento<sup>18</sup></b>						
Estaca bambú <sup>19;20</sup>	8,6	0,060	0,02986	4.550		135,87
Fitilho Ráfia PP <sup>21;22</sup>	4,8	0,033	0,03333	13.882		462,73
<b>Tratamento Fitossanitário<sup>23</sup></b>						
Inseticida Pó-de-fumo <sup>24</sup>	2,8	0,019	0,01944	4.550		88,47
Adesivo, sabão <sup>25</sup>	1,3	0,009	0,00924	17.890		165,23
Irrigação (L) <sup>26</sup>	17.040,0	118,333	118,333	2,17		256,78
Mangueira gotejamento <sup>27,28</sup>	2,8	0,019	0,00215	21.974		47,17
<b>Mão-de-obra<sup>29</sup></b>						<b>259,87</b>
<b>Total energético para produção de melão</b>						<b>5.765,70</b>

<sup>1/</sup> Produção: utilização da estufa por 59 dias + 1 para limpeza.

<sup>2/</sup> Estufa, área utilizada: 144m<sup>2</sup>, área total 307,32m<sup>2</sup>.

<sup>3/</sup> Estrutura. Tubos de aço e arame: quantidade para 307,32m<sup>2</sup>. Durabilidade 15 anos (90 safras).

<sup>4/</sup> Tubo aço: 13.296 kcal.kg<sup>-1</sup> extração e fabricação (Berry e Fels, 1973).

<sup>5/</sup> Arame sustentação da cultura: quantidade para 8 linhas de 40m = 160m<sup>2</sup>. Durabilidade 90 safras.

<sup>6/</sup> Parafuso sextavado: 346 unidades ou 7,8 kg. Durabilidade 90 safras.

<sup>7/</sup> Peças de aço: 20.500 kcal.kg<sup>-1</sup> (Wittmus *et al.*, 1975, citados por Phillips *et al.*, 1980).

<sup>8/</sup> Fundação: 56 sapatas de concreto de 0,30x0,30,0,40m = 2,016m<sup>3</sup>.

<sup>9/</sup> Concreto: 390,7 kcal.kg<sup>-1</sup>. Traço 1:9,30:12,15:0,50. Densidade 2.295 kg.m<sup>-3</sup>. Calculado com dados de Leach, 1976; Petrucci, 1987.

<sup>10/</sup> Cobertura. Plástico, tipo PEBD 150µ para 307,32m<sup>2</sup>. Densidade 924g.dm<sup>-3</sup>. Durabilidade 540 dias (9 safras).

<sup>11/</sup> PEBD: 13.779 kcal.kg<sup>-1</sup> (Steinhart e Steinhart, 1974) para valor calorífico + fabricação.

<sup>12/</sup> Fixador: tubo aço 1 1/4 classe leve, 2,63 kg.m<sup>-1</sup>, corte longitudinal e transversal (20 pç.m<sup>-1</sup>). Durabilidade 90 safras.

<sup>13/</sup> Rebite de alumínio, 4,8X20,0mm. Durabilidade do PEBD = 9 safras.

<sup>14/</sup> Alumínio: 66.139 kcal.kg<sup>-1</sup> (Steinhart e Steinhart, 1974).

<sup>15/</sup> Braçadeira: tubo aço 1 1/2 classe leve, 3,35 kg.m<sup>-1</sup>, corte transversal e uma parede longitudinal (20 pç.m<sup>-1</sup>).

<sup>16/</sup> Muda: 361,88 kcal por unidade (não por kg) conforme calculado na Tabela 4.

<sup>17/</sup> Mulching. Plástico, tipo PEBD 50µ para 144m<sup>2</sup>. Densidade 924g.dm<sup>-3</sup>. Durabilidade 1 safra.

<sup>18/</sup> Tutoramento: condução vertical das plantas de melão até altura de 2,0m.

<sup>19/</sup> Bambu: 576 estacas de 0,25m para fixar plástico de sustentação da planta ao solo. Durabilidade 2 safras.

<sup>20/</sup> Bambú: 4.550 kcal.kg<sup>-1</sup> (Sander, 1997, palha média).

<sup>21/</sup> Ráfia: 576 fitilhos, tipo PP, com 3,0m para tutoramento das plantas. Densidade 910g.dm<sup>-3</sup>. Durabilidade 1 safra.

<sup>22/</sup> PP: 13.882 kcal.kg<sup>-1</sup>. Calculado como valor calorífico de 11.106 kcal.kg<sup>-1</sup> (Zevenhoven, 1996) + 25% para fabricação.

<sup>23/</sup> Tratamento para controle de pulgões. Quantidades para 2,25 aplicações.

<sup>24/</sup> Pó-de-fumo: resíduo do processamento de tabaco. 4.550 kcal.kg<sup>-1</sup> (Sander, 1997, palha média).

<sup>25/</sup> Sabão em barra, comum: 17.890 kcal.kg<sup>-1</sup>, calculado segundo Leach (1976).

<sup>26/</sup> Água: consumo medido em hidrômetro. 2,17 kcal.L<sup>-1</sup> (Leach, 1976).

<sup>27/</sup> Mangueira para gotejamento sob baixa pressão. PEBD com circuito impresso para compensar pressão.

<sup>28/</sup> Mangueira: 21.974 kcal.kg<sup>-1</sup>. O dobro do conteúdo energético do PEBD: 10.987 kcal.kg<sup>-1</sup> (Zevenhoven, 1996) para compensar custo de desenvolvimento (Pimentel *et al.*, 1973). Durabilidade 9 safras.

<sup>29/</sup> Mão-de-obra: 38,98 min.m<sup>-2</sup>.safra<sup>-1</sup> para montagem, substituição do plástico e cultivo (sem colheita e adubação), ver Tabela 2. Gasto energético considerando 400 kcal.h<sup>-1</sup>.homem<sup>-1</sup> (Fernandez Gonzales, 1982, citado por Martins, 1997).

TABELA 6 – Doses de adubos mineral e orgânico ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) e gasto energético no produto, frete e aplicação ( $\text{kcal.m}^{-2}$ ) na produção de melão em estufa plástica

Tratamento	Gasto energético na adubação mineral e orgânica ( $\text{kcal.m}^{-2}$ )							
	Vermicomposto <sup>1</sup>				Cinza <sup>2</sup>			Total
	Qtde	Produto	Frete <sup>3</sup>	Aplicação <sup>4</sup>	Qtde	Frete <sup>3</sup>	Aplicação <sup>4</sup>	
$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	
Test	0				0			0
Mineral <sup>5</sup>	0,081	267,28	0,87	0,80	0			268,95
$1/2V+1/2C$	0,562	83,57	9,00	0,94	2,050	32,82	1,83	128,16
$1/2V+1C$	0,562	83,57	9,00	0,94	4,800	76,86	3,48	173,85
$1V+1/2C$	1,124	167,14	18,00	1,27	1,350	21,62	1,41	209,44
$1V+1C$	1,124	167,14	18,00	1,27	4,100	65,65	3,06	255,12
$1V(N)$	1,124	167,14	18,00	1,27	0,000	0,00	0,00	186,41
$1C(K)$	0	0	0,00	0	5,500	88,07	3,90	91,97

<sup>1</sup>/Vermicomposto:  $148,7 \text{ kcal.kg}^{-1}$  para matéria-prima (esterco bovino) e mão-de-obra de fabricação. Calculado com dados de Morsellii (1998); Naredo (199-).

<sup>1,2</sup>/Vermicomposto e cinza com 66,7% MS. Quantidade aplicada ajustada.

<sup>3</sup>/Frete: avaliado em  $10,68 \text{ kcal.kg}^{-1}$  para 10km (calculado com dados de Leach, 1976).

<sup>4</sup>/Aplicação: cálculo estimado do tempo de aplicação considerando  $400 \text{ kcal.h}^{-1}.\text{homem}^{-1}$ . (Fernandez Gonzales, 1982, citado por Martins, 1997).

<sup>5</sup>/Adubação mineral:  $267,28 \text{ kcal.kg}^{-1}$  para  $100-80-230 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (Leach, 1976). Quantidade aplicada  $0,081 \text{ kg.m}^{-2}$  na soma de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

A cinza de casca de arroz apresentou 0,42% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 0,14% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , conforme análise realizada. A dose de cinza de casca de arroz variou em cada tratamento, pois complementou a recomendação de  $230 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (dose completa) ou  $115 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (meia dose), não satisfeita com a aplicação de vermicomposto, chegando a  $5,5 \text{ kg.m}^{-2}$  (base seca) no tratamento  $1C(K)$  para atender a recomendação de potássio.

O custo energético do frete dos produtos foi calculado com dados de Leach (1976), considerando um caminhão com 7t de capacidade de carga, deslocando-se com meia carga e distância de 10km no percurso. O valor ficou em  $10,68 \text{ kcal.kg}^{-1}$ . A aplicação dos produtos ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) foi calculada como sendo realizada em duas etapas: transporte da matéria-prima da frente da estufa até o início do local de aplicação em sacos de 20 kg, a uma velocidade média de  $2 \text{ km.h}^{-1}$ , e aplicação do produto em faixas de 0,5m (distância entre as linhas de meloeiro) a uma velocidade de  $1 \text{ km.h}^{-1}$ . O tempo gasto na operação ( $\text{s.m}^{-2}$ ) foi

multiplicado por  $6,67 \text{ kcal.s}^{-1}$  (calculado de Fernandez Gonzales, 1982, citado por Martins, 1997), resultando no gasto energético para aplicação do adubo ( $\text{kcal.m}^{-2}$ ), conforme pode ser observado na Tabela 6.

Os gastos energéticos totais nos tratamentos com adubação mineral ( $268,95 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) e adubação orgânica completa ( $255,12 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) são muito semelhantes. O menor custo energético do adubo orgânico é onerado pelo maior gasto em frete e aplicação. Entretanto, convém salientar que o vermicomposto e a cinza de casca de arroz são resíduos de outras atividades, portanto reciclados e renováveis, e o adubo mineral depende de extração, ou seja, de fontes não renováveis em curto prazo.

A produtividade, “da terra” segundo Fluck (1979), foi avaliada através da quantidade de melão colhido por metro quadrado de área plantada. A análise da variância e não apresentou diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos. O tratamento 1V+1C, adubação orgânica completa, produziu  $3,978 \text{ kg.m}^{-2}$ , e a adubação mineral produziu  $3,060 \text{ kg.m}^{-2}$  (Tabela 7). A produtividade média (da terra) foi de  $3,117 \text{ kg.m}^{-2}$ , e a produtividade média da mão-de-obra pode ser calculada como  $4,52 \text{ kg de melão.h}^{-1}.\text{homem}^{-1}$ .

O maior valor energético para biomassa total foi obtido pelo tratamento 1V+1C com  $3.171,92 \text{ kcal.m}^{-2}$ , seguido por Mineral ( $2.951,64 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) e  $1/2\text{V}+1\text{C}$  ( $2.937,25 \text{ kcal.m}^{-2}$ ), confirmando o importante efeito do potássio na produção, especialmente em estufas plásticas, onde a retirada da planta inteira carrega grande quantidade do nutriente (Tabela 7). A segunda colocação do tratamento Mineral no ranking de produção de biomassa total foi condicionada pela mais alta produção de palha ( $1.883,70 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) causada pelo bom desenvolvimento vegetativo inicial. Entretanto, tal fato não se confirmou na produção de frutos, pois o tratamento Mineral apresentou ataque de pulgões que, pela condição da estufa (proximidade dos tratamentos), acabou se espalhando para outras parcelas exigindo controle fitossanitário.

TABELA 7 – Produção de biomassa útil (Fruto,  $\text{kg.m}^{-2}$ ;  $\text{kcal.m}^{-2}$ ), biomassa residual (Palha,  $\text{kg.m}^{-2}$ ;  $\text{kcal.m}^{-2}$ ) e biomassa total (Bio Total,  $\text{kcal.m}^{-2}$ ) na cultura de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto

Tratamento	Produção de Biomassa na cultura do melão				
	Fruto <sup>1</sup>		Palha <sup>2</sup>		Bio Total
	$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$	$\text{kcal.m}^{-2}$
Test	2,309	805,84	0,288	1.310,40	2.116,24
Mineral	3,060	1.067,94	0,414	1.883,70	2.951,64
$\frac{1}{2}\text{V}+\frac{1}{2}\text{C}$	2,909	1.015,24	0,283	1.287,65	2.302,89
$\frac{1}{2}\text{V}+1\text{C}$	3,449	1.203,70	0,381	1.733,55	2.937,25
$1\text{V}+\frac{1}{2}\text{C}$	3,296	1.150,30	0,335	1.524,25	2.674,55
$1\text{V}+1\text{C}$	3,978	1.388,32	0,392	1.783,60	3.171,92
$1\text{V}(\text{N})$	2,715	947,54	0,328	1.492,40	2.439,94
$1\text{C}(\text{K})$	3,217	1.122,73	0,340	1.547,00	2.669,73
Média	3,117	1.087,70	0,345	1.570,32	2.658,02

<sup>1</sup>/Frutos frescos:  $349 \text{ kcal.kg}^{-1}$  (Mahan e Escott-Stump, 1998).

<sup>2</sup>/Palha média típica:  $4550 \text{ kcal.kg}^{-1}$  (Sander, 1997).

TABELA 8 – Balanço energético: produção de biomassa útil (Fruto), biomassa total (Bio Total); insumos na adubação, colheita e total (Insumos Total), em  $\text{kcal.m}^{-2}$  e eficiência energética (E. energética) na produção de frutos ( $\text{EE}_{\text{Fruto}}$ ) e biomassa total ( $\text{EE}_{\text{Bio}}$ ) na cultura de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto

Tratamento	Balanço Energético na cultura do melão						
	Biomassa ( $\text{kcal.m}^{-2}$ )		Insumos ( $\text{kcal.m}^{-2}$ )			E. energética	
	Fruto <sup>1</sup>	Bio Total <sup>1,2</sup>	Adubação <sup>3</sup>	Colheita <sup>4</sup>	Insumos Total <sup>5</sup>	$\text{EE}_{\text{Fruto}}$	$\text{EE}_{\text{Bio}}$
Test	805,84	2.116,24	0	1,85	5.767,55	0,14	0,37
Mineral	1.067,94	2.951,64	268,95	2,45	6.037,10	0,18	0,49
$\frac{1}{2}\text{V}+\frac{1}{2}\text{C}$	1.015,24	2.302,89	128,16	2,33	5.896,19	0,17	0,39
$\frac{1}{2}\text{V}+1\text{C}$	1.203,70	2.937,25	173,85	2,76	5.942,31	0,20	0,49
$1\text{V}+\frac{1}{2}\text{C}$	1.150,30	2.674,55	209,44	2,64	5.977,78	0,19	0,45
$1\text{V}+1\text{C}$	1.388,32	3.171,92	255,12	3,18	6.024,00	0,23	0,53
$1\text{V}(\text{N})$	947,54	2.439,94	186,41	2,17	5.954,28	0,16	0,41
$1\text{C}(\text{K})$	1.122,73	2.669,73	91,97	2,57	5.860,24	0,19	0,46
Média	1.087,70	2.658,02	165,50	2,49	5.932,43	0,18	0,45

<sup>1</sup>/Frutos frescos:  $349 \text{ kcal.kg}^{-1}$  (Mahan e Escott-Stump, 1998). Ver Tabela 7.

<sup>2</sup>/Palha média típica:  $4550 \text{ kcal.kg}^{-1}$  (Sander, 1997). Ver Tabela 7.

<sup>3</sup>/Adubação diferenciada por tratamento, incluindo energia no produto, frete e mão-de-obra de aplicação. Ver Tabela 6.

<sup>4</sup>/ Colheita:mão-de-obra diferenciada por tratamento em função do tempo de colheita (ver Tabela 2) e quantidade colhida ( $0,8 \text{ kcal.kg}^{-1}$  melão) considerando  $400 \text{ kcal.hora}^{-1}.\text{homem}^{-1}$ .

<sup>5</sup>/Insumos total:  $5.765,70 \text{ kcal.kg}^{-1}$  valor energético comum (Tabela 5) mais adubação e colheita (mão-de-obra) diferenciada por tratamento.

O último item que diferenciou os tratamentos foi a colheita. Esta foi realizada por duas pessoas, uma colhendo e colocando em sacos plásticos de 20 kg e outra transportando para fora da estufa, sendo que as tarefas executadas consumiram tempos iguais. Considerando a carga de 20 kg de melão e uma distância média de 20m para ir + 20m para voltar, e a velocidade de 2 km.h<sup>-1</sup>, foram transportados 1000 kg de melão por hora, com custo energético de 0,4 kcal.kg<sup>-1</sup>. Como foi utilizado o tempo de duas pessoas, a colheita significou 0,8 kcal.kg<sup>-1</sup> de melão. O gasto médio de colheita foi de 2,49 kcal.m<sup>-2</sup>. O total de energia contida nos insumos variou de 5.767,55 kcal.m<sup>-2</sup> para o tratamento Testemunha até 6.037,10 kcal.m<sup>-2</sup> para o tratamento Mineral. O tratamento 1V+1C foi o segundo mais dispendioso com 6.024,00 kcal.m<sup>-2</sup> (Tabela 8).

O cálculo da eficiência energética foi realizado comparando a energia produzida com o total de energia consumida. As saídas foram separadas em biomassa útil (fruto) e biomassa total e relacionadas com a entrada de energia complementar no sistema, excluída a radiação solar, gerando os índices de eficiência energética na produção de frutos (EE<sub>Fruto</sub>) com média de 0,18; e a eficiência energética na produção de biomassa total (EE<sub>Bio</sub>) com média de 0,45 conforme pode ser observado na Tabela 8. A maior eficiência energética foi obtida pela adubação orgânica completa com 0,23 para frutos e 0,53 para biomassa total. O tratamento Mineral apresentou eficiência energética de 0,18 na produção de frutos, superando apenas os tratamentos Test (0,14), 1V-N (0,16), e <sup>1</sup>/<sub>2</sub>V+<sup>1</sup>/<sub>2</sub>C (0,17). A eficiência energética do agroecossistema estufa plástica foi deficitária, pois, para cada kcal investida, foi recuperada em média 0,18 kcal de fruto de melão ou 0,45 kcal de biomassa total. É sabido que a produção de frutas é extremamente dispendiosa do ponto de vista energético. Entretanto seu consumo é indispensável por outras razões complementares ao seu conteúdo energético, tais como vitaminas, sais minerais, fibras, aroma e sabor.

A avaliação da eficiência energética, nos moldes como foi executada neste trabalho, é uma ferramenta eficiente para o planejamento e racionalização do consumo de energia. Com relação a mão-de-obra (Tabela 2),

o preparo manual do solo (11,58%), a colocação do mulching (16,13%), o preparo das estacas (10,74%), o tutoramento (11,85%) e o desbaste (15,45%) representaram 66% do tempo total utilizado. Na produção de mudas (Tabela 4), o substrato comercial representou 96% do gasto energético, consumindo 1.385,32 kcal.m<sup>-2</sup> ou 23% do insumo total médio (5.931,36 kcal.m<sup>-2</sup>). O mulching plástico (1.485,36 kcal.m<sup>-2</sup>), conforme apresentado na Tabela 5, significou 25% do insumo total médio.

Os resultados indicam que o aumento da eficiência energética no agroecossistema estudado pode ser alcançado. Por exemplo, o substrato comercial deve ser substituído por substratos alternativos de baixos inputs energéticos a exemplo do solo, areia e vermicomposto. Da mesma maneira o mulching com polietileno deve ser substituído por outros materiais tais como palha, papel ou plástico reciclado. Estes dois itens representam 48% do consumo energético na produção de melão. Menezes Júnior *et al.* (2000), comparando sistemas de produção de mudas de melão, verificaram que o sistema float foi superior ao convencional, destacando-se o substrato composto por 25% de vermicomposto bovino e 75% de solo Planossolo, em base de volume, em bandejas de 72 células. A adoção desta recomendação pode gerar uma economia de 98% no item substrato, considerando a energia do vermicomposto como 148,7 kcal.kg<sup>-1</sup> e do solo 13 kcal.kg<sup>-1</sup> (frete + 25% para extração). Conforme Shogren (2001), o papel é preferível ao plástico para mulching de frutas e vegetais, pois é mais barato e mais fácil de retirar, além de ser biodegradável. O uso de papel reciclado deve proporcionar uma economia substancial.

A reciclagem de materiais é outro meio para aumentar a eficiência. Os materiais metálicos da estrutura, com gasto de 776,86 kcal.m<sup>-2</sup> (13% do insumo total médio), e o plástico de cobertura, com 574,47 kcal.m<sup>-2</sup> (10% do insumo total médio), se prestam para esta finalidade. De acordo com Gerdau (2001), o aço produzido com sucata consome na industrialização apenas 1.127 kcal.kg<sup>-1</sup> contra 4.687 kcal.kg<sup>-1</sup> para gerar a mesma quantidade de aço a partir do minério de ferro, sem considerar a energia para extração e beneficiamento. A reciclagem do aço, considerando o frete até a siderúrgica de 50 kcal.kg<sup>-1</sup>

(caminhão com 20t de capacidade, carga completa, distância de 250 km, calculado com dados de Leach, 1976) gera uma economia de 91% sobre o custo energético de extração e fabricação ( $13.296 \text{ kcal.kg}^{-1}$ , Berry e Fels, 1973). A reciclagem do plástico deve garantir economia maior que 65% através da recuperação energética na queima em fornos especiais ou a fabricação de produtos plásticos de qualidade inferior. Economia adicional de 23% na metragem do plástico pode ser obtida com o uso de lâmina inteiriça de 41 x 14m ao invés de 6 lâminas traspassadas de 16 x 8m.

A substituição de materiais sintéticos como fitilho de polipropileno ( $462,73 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) e adubo mineral ( $267,28 \text{ kcal.m}^{-2}$ ) por materiais como sisal e adubos orgânicos, embora não represente grande economia energética, permite o uso de recursos renováveis e de baixo custo ambiental. A produção dos adubos orgânicos na propriedade deve ser estimulada, pois gera uma economia no gasto energético com frete. Inclusive, cinzas com maior teor de potássio podem ser obtidas garantindo economia na mão-de-obra de aplicação e no frete. A cinza de casca de arroz utilizada apresentou 0,42% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 0,14% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , pois é lavada para o transporte após a utilização como fonte energética no processo de industrialização do arroz. Entretanto, Osman e Gross (1983) indicam a composição da cinza da casca de arroz como 2,4% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 0,5% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , quase seis vezes mais potássio e quatro vezes mais fósforo no material não lavado. Valores ainda mais altos: 7,1% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 1,5% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , além de 23,23% de  $\text{CaO}$ ; 7,13% de  $\text{MgO}$  e 43,87% de PRNT, são apresentados por Darolt *et al.* (1993), com cinza de lenha.

A adoção das medidas apresentadas deve aumentar sensivelmente a eficiência energética pela redução do custo energético dos insumos que podem ser reduzidos a menos da metade do custo atual. Além disso, a utilização da adubação orgânica, com ênfase no potássio, em toda a área plantada, estimulará o desenvolvimento de plantas saudáveis que devem apresentar um provável aumento de produtividade pela redução de focos iniciais de pragas e moléstias causados por plantas debilitadas como aconteceu nas parcelas do tratamento Mineral, principalmente, incrementando ainda mais a eficiência energética do agroecossistema estufa plástica cultivado com melão.

## CONCLUSÕES

Em um processo contínuo de produção, a mão-de-obra necessária para uma estufa com 300m<sup>2</sup> de área efetivamente plantada com melão representa a metade da carga mensal de trabalho de um agricultor.

Os gastos energéticos totais na adubação mineral e orgânica completa são muito semelhantes. O menor custo energético do adubo orgânico é onerado pelo maior gasto em frete e aplicação. Entretanto, o vermicomposto e a cinza de casca de arroz são resíduos de outras atividades, reciclados e renováveis, e o adubo mineral depende de extração, não sendo renovável em curto prazo.

A eficiência energética do agroecossistema estufa plástica foi negativa, pois foi recuperada menos energia do que a investida no sistema. A maior eficiência energética foi obtida pela adubação orgânica completa para frutos e para biomassa total. A presença de potássio aumentou a eficiência energética em comparação com o nitrogênio.

O aumento da eficiência energética no agroecossistema pela redução de mais da metade do gasto energético, no presente estudo, pode ser alcançado por:

- substituição do substrato comercial por substrato alternativo e do mulching com polietileno por palha, papel ou plástico reciclado;
- reciclagem de materiais da estrutura da estufa (metálicos e plástico);
- alteração no tamanho e número das lâminas de filme plástico empregados;
- substituição do fitilho de polipropileno por materiais como sisal;
- substituição de adubo mineral por adubos orgânicos;
- economia de frete com uso de insumos produzidos no mesmo local de produção agrícola;
- utilização de cinza com maior teor de potássio;
- tratamentos preventivos para redução inicial de pragas e moléstias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L.; DIBBLE, M. V.; TURKKI, P. R.; MITCHELL, H. S.; RYNBERGEN, H. J. **Nutrição**. 17<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 737p.

BARANSKA, Z.; SATORY-WASIK, E. The labour inputs in production of greenhouse cucumbers. **Acta Horticulturae**, 156, Cucumbers, p.273-279, 1984.

BERLATO, M. A. Clima do Rio Grande do Sul. Palestra proferida no **Simpósio "Elementos Culturais do Rio Grande do Sul"**, 24 a 28 de outubro de 1983. Porto Alegre, RS. 13p.

BERRY, R. S.; FELS, M. F. The energy cost of automobiles. **Science and Public Affaire**, December, p.11-17, 1973.

CAMACHO, M. J. C. **Avaliação de parâmetros meteorológicos em estufas plásticas na região de Pelotas, RS**. Pelotas, 1994. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, 1994.

CARON, B. O.; HELDWEIN, A. B. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.19-25, 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

COURTEMANCHE, B.; LEVENDIS, Y. A. A laboratory study on the NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub> emissions from the combustion of pulverized coal, municipal waste plastics and tires. *Fuel*, 77, p.183-196, 1998. In: <http://www.ecn.nl/phyllis/empty>. Acessado em 2001.

DAROLT, M. R.; BIANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.11, n.1, p.38-40, 1993.

EMATER-RS. **Principais culturas de grãos, hortaliças e frutas da região zona sul**. Pelotas: ESREG Zona Sul, 1996. 3p. (Mimeo).

FARIAS, J. R. B. **Comportamento da cultura de melão em estufa plástica, sob diferentes níveis de espaçamento, raleio e cobertura do solo**. Pelotas, 1988. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, 1988.

FLUCK, R. C. Net energy analysis of the energy sequestered in agricultural labor. **Florida Agricultural Experiment Stations Journal Series**, nº 994, 32p. 1978.

FLUCK, R. C. Energy productivity: a measure of energy utilization in agricultural systems. **Agricultural Systems**, (4), p.29-37, 1979.

GERDAU. 2001. In: <http://www.gerdau.com.br>. Acessado em agosto de 2001.

HAMERSCHMIDT, I. Cultivo protegido. In: ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 10., e ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE PLASTICULTURA, 7., 1997, Tubarão, **Resumos...** Tubarão: SOB, 1997. p.16-21.

KHATOUNIAN, C. A. Algumas considerações sobre a olericultura orgânica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.12, n.2, p.256-258, 1994.

LEACH, G. **Energía y Producción de Alimentos**. [sl]: Servicio de Publicaciones Agrarias, 1976. 210p.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause**: alimentos, nutrição e dietoterapia. 9ª ed. São Paulo: Roca, 1998. 1179p.

MARTINS, S. R. **Determinação de indicadores de sustentabilidade e avaliação do agrossistema estufa plástica numa perspectiva agroecológica**. Pelotas. *Mimeo*. 1997. 30p.

MARTINS, S. R.; PEIL, R. M.; SCHWENGBER, J. E.; ASSIS, F. N.; MENDEZ, M. E. G. Produção de melão em função de diferentes sistemas de condução de plantas em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.16, n.1, p.24-30, 1998.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G. de; FERNANDES, H. S.; MARTINS, S. R.; MORAES, R. M. D.; SILVA, J. B. da. Produção de mudas de melão no sistema de bandejas multicelulares "convencional" e "float" em ambiente protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 40.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO SOBRE UTILIZAÇÃO DE PLÁSTICO NA AGRICULTURA, 2.; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS, AROMÁTICAS E CONDIMENTARES, 1., 2000, SÃO PEDRO, SP. **Horticultura Brasileira**, Brasília: SOB/FCAV-UNESP, v.18, p.293-294, 2000. Suplemento.

MORSELLI, T. B. G. A. Instalação de um minhocário. In: Curso de minhocultura, 21-23 de setembro, 1998, Pelotas. **Notas...** Pelotas, RS: Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - UFPel, 1998.

NAREDO, J. M. **La evolución de la agricultura en España (1940-1990)**. [sl]: Universidad de Córdoba, 199-. 411p.

NORMAN, M. J. T. Energy inputs and outputs of subsistence cropping systems in the tropics. **Agro-Ecosystems**, Amsterdam 4, p.355-366, 1978.

ÖHMAN, M. A new method to quantify fluidized bed agglomeration in the combustion of biomass fuels. Licentiate thesis. Thesis, Umea University, 23p. 1997. In: <http://www.ecn.nl/phyllis/empty>. Acessado em 2001.

OSMAN, E. A.; GOSS, J. R. Ash chemical composition, deformation and fusion temperatures for wood and agricultural residues. In: Proceedings of Winter meeting of the American Society of Agricultural Engineers, December 13-16, 1983, p.1-16. In: <http://www.ecn.nl/phyllis/empty>. Acessado em 2001.

PHILLIPS, R. E.; BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; FRYE, W. W.; PHILLIPS, S. H. No-Tillage Agriculture. **Science**, v.208 (448), p.1108-1114, 1980.

PIMENTEL, D.; HURD, L. E.; BELLOTTI, A. C.; FORSTER, M. J.; OKA, I. N.; SHOLES, O. D.; WHITMAN, R. J. Food production and the energy crisis. **Science**, v.182, p.443-449, 1973.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 307p.

ROCKENBACH, O. C.; ANJOS, J. T. dos. Sistemas diversificados de produção para pequenos produtores rurais. In: MONIZ, A. C. (Coord.) **A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.229-238.

SANDER, B. Fuel data for Danish biofuels and improvement of the quality of straw and whole crops: Biomass for energy and environment. *Biomass & Bioenergy*, 12, p.177-183, 1997. In: <http://www.ecn.nl/phyllis/empty>. Acessado em 2001.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Conversão e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticales, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.43-48, 2000.

SEIXAS, J.; MARCHETTI, D. **Produção e consumo de energia na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982. 15p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 3).

SHOGREN, R. L. Papel cubierto com aceite vegetal, uma alternativa biodegradable al plástico em agricultura. In: <http://www.agrodigital.com>. Acessado em março de 2001.

STEINHART, J. S.; STEINHART, C. E. Energy use in agricultural systems. **Science**, v.184, p.307-316, 1974.

ZEVENHOVEN, R.; KARLSSON, M.; HUPA, M.; FRANKENHAEUSER, M. Combustion and gasification properties of plastics particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, June, p.1-11, 1996. In: <http://www.ecn.nl/phyllis/empty>. Acessado em 2001.

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – ÍNDICES DE BIOMASSA E FLUXOS DE  
RADIAÇÃO - DO CULTIVO DE MELÃO EM ESTUFA PLÁSTICA  
NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - INDICES DE BIOMASSA E FLUXOS DE  
RADIAÇÃO - DO CULTIVO DE MELÃO EM ESTUFA PLÁSTICA  
NUMA PERSPECTIVA AGROECOLÓGICA

Marcelino Hoppe<sup>1</sup>

RESUMO

A história da agricultura mostra esforços humanos em aumentar a produção buscando sua maior eficiência no aproveitamento da energia solar. O índice de eficiência energética (EE) é útil para identificar espécies ou agroecossistemas fotossinteticamente eficientes. O presente trabalho determinou a EE do meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em ambiente protegido numa perspectiva agroecológica, contrastando a saída de energia do sistema – através da biomassa da cultura, com a entrada de energia no sistema proveniente de fluxos de radiação que interagem com o mesmo: radiação global externa ( $RG_e$ ) e interna ( $RG_i$ ), e radiação fotossinteticamente ativa interna ( $RFA_i$ ). Foram determinados índices para biomassa total ( $EE_{Bio}$ ) e fruto ( $EE_{Fruto}$ ), bem como a eficiência energética completa (EEC), considerando a radiação solar acrescida da energia complementar, para a biomassa total ( $EEC_{Bio}$ ) e fruto ( $EEC_{Fruto}$ ). O tratamento com adubação orgânica completa mostrou os maiores valores para  $EE_{Bio}$  (4,66% para  $RFA_i$ ) e  $EE_{Fruto}$  (2,04% para  $RFA_i$ ), e também para  $EEC_{Bio}$  (4,28% para  $RFA_i$ ) e  $EEC_{Fruto}$  (1,87% para  $RFA_i$ ). A EE e a EEC apresentaram resultados semelhantes pelo pequeno valor e amplitude da energia complementar (média de  $24,84 \text{ MJ.m}^{-2}$ , e amplitude de  $1,13 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) comparado à  $RFA_i$  ( $284,79 \text{ MJ.m}^{-2}$ ),  $RG_i$  ( $681,58 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) ou  $RG_e$  ( $749,09 \text{ MJ.m}^{-2}$ ). A maior eficiência aparente de cultivo (EAC) foi da adubação orgânica completa (1,15

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., UFPel – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – PPGA, Deptº de Agronomia, Caixa postal 354, CEP 96077-170, Pelotas, RS. E-mail: hoppe@deco.unisc.br

gMS.MJ<sup>-1</sup>.RG<sub>i</sub>), para o período pós-transplante. A produção de mudas em bandejas contribuiu para o aumento da EE do cultivo, demonstrando alta EAC (0,87 gMS.MJ<sup>-1</sup>.RG<sub>i</sub>) no período de pré-transplante quando comparada ao início do período pós-transplante (0,16 gMS.MJ<sup>-1</sup>.RG<sub>i</sub>), ficando próxima da média de EAC (0,96 gMS.MJ<sup>-1</sup>.RG<sub>i</sub>) obtida no período pós-transplante. A ordem de classificação dos tratamentos para EAC, EE, ou EEC não foi alterada pelo tipo de radiação (global ou fotossinteticamente ativa; interna ou externa) ou da unidade de medida (MJ ou mol) utilizada para expressar a eficiência energética, podendo qualquer um dos fluxos energéticos (RFA, RG<sub>i</sub>, RGe) ser usado para identificar o melhor tratamento no uso da energia.

#### PALAVRAS-CHAVE

*Cucumis melo*, radiação solar, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), biomassa, adubação orgânica, vermicomposto, cinza de casca de arroz.

---

ENERGY EFFICIENCY – BIOMASS INDEX AND RADIATION FLUX  
 - IN MELON CULTIVATED ON POLYETHYLENE GREENHOUSE  
 AT AGROECOLOGICAL PERSPECTIVE

ABSTRACT

The history of agriculture shows the human efforts in increasing the production, looking for its great efficiency in solar energy use. The index of energy efficiency (EE) is useful on pointing the species or agroecosystems photosynthetically efficient. This study pointed the EE of melon (*Cucumis melo* L.) cultivated in a protected place upon an agroecologic perspective, contrasted the energy output of the system - across the biomass of the cultivation, with the energy input on the system originated from radiation flows that interact with the same: global external radiation ( $RG_e$ ) and internal ( $RG_i$ ), and photosynthetically active radiation internal ( $RFA_i$ ). It were pointed numbers for the total biomass ( $EE_{Bio}$ ) and fruit ( $EE_{Fruito}$ ), as well as the complete energy efficiency, considering the solar radiation increased on complementary energy, for the total biomass ( $EEC_{Bio}$ ) and fruit ( $EEC_{Fruito}$ ). The treatment with complete organic fertilization showed the biggest numbers for  $EE_{Bio}$  (4.66% for  $RFA_i$ ) and  $EE_{Fruito}$  (2.04% for  $RFA_i$ ), and for  $EEC_{Bio}$  (4.28% for  $RFA_i$ ) and  $EEC_{Fruito}$  (1.87% for  $RFA_i$ ). The EE and the EEC showed similar results because of the smaller value and extent of complementary energy (the average was  $24.84 \text{ MJ.m}^{-2}$ , and extent was  $1.13 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) compared to  $RFA_i$  ( $284.79 \text{ MJ.m}^{-2}$ ),  $RG_i$  ( $681.58 \text{ MJ.m}^{-2}$ ) or  $RG_e$  ( $749.09 \text{ MJ.m}^{-2}$ ). The great apparent efficiency of the cultivation (EAC) was the complete organic fertilization ( $1.15 \text{ gMS.MJ}^{-1}.RG_i$ ), for the period after the transplant. The production of seedlings on trays contributed for the increase of EE of the cultivation, showing high EAC ( $0.87 \text{ gMS.MJ}^{-1}.RG_i$ ) on the period

before the transplant when compared to the beginning of the period after the transplant ( $0.16 \text{ gMS.MJ}^{-1}.\text{RG}_i$ ), getting close to the average of EAC ( $0.96 \text{ gMS.MJ}^{-1}.\text{RG}_i$ ) gotten on the period after the transplant. The order of classification of the treatments for EAC, EE or EEC wasn't changed to the type of radiation (global or photosynthetically active, internal or external) or the unity of measure (MJ ou mol) used to express the energy efficiency, can any of the energetic flows ( $\text{RFA}_i$ ,  $\text{RG}_i$ ,  $\text{RG}_e$ ) be used to identify the best treatment in the use of energy.

#### KEY WORDS

*Cucumis melo*, solar radiation, photosynthetically active radiation (PAR), biomass, organic adubation, solid bovine manure vermicompost, rice hull ash.

## INTRODUÇÃO

O homem, no princípio, conseguia energia para suas necessidades (alimentação, fogo, vestuário e habitação) exclusivamente através da energia radiante. Mas, durante o processo de evolução não parou de aumentar suas necessidades energéticas. A história da agricultura mostra os esforços do homem em aumentar a produção através de novas maneiras de introdução de energia nos sistemas de cultivo. O agricultor investe energia complementar no preparo do solo, fertilização, irrigação, colheita, e distribuição para ajudar plantas a converter a energia solar em energia alimentar. (National Academy of Science, 1975).

A partir da crise do petróleo do início dos anos 1970, a eficiência energética passou a ser um critério de avaliação do desempenho das culturas (Khatounian, 1997). Estudos revelaram que, do ponto de vista energético, os sistemas de agricultura considerados atrasados, tipo roça, eram mais eficientes que os sistemas modernos, baseados no uso intensivo de insumos industriais. Com relação ao ganho calórico, em sistemas de cultivos anteriores ao uso de máquinas e combustíveis fósseis na produção vegetal, eram colhidas cerca de 16 calorias de energia digestível para cada caloria de energia complementar gasta na produção, sendo investida, como energia, principalmente a força muscular humana. Os sistemas de cultivos modernos nos Estados Unidos

produzem menos de 5 calorias de energia digestível por caloria de energia complementar (National Academy of Science, 1975).

Antes da industrialização da agricultura, a produção de hortaliças já era a atividade energeticamente menos eficiente da produção vegetal. Com o uso de insumos industriais, seu balanço energético ficou ainda mais desfavorável (Khatounian, 1997). O maior desafio para agricultores e pesquisadores preocupados com a sustentabilidade consiste no desenvolvimento de sistemas e processos agrícolas que apresentem balanço energético positivo. A plasticultura, como parte do Sistema Agroalimentar, deverá manter-se atenta, pois embora, em certos casos, possa apresentar resultados econômicos favoráveis, seu balanço de energia pode ser negativo, principalmente quando sistemas de aquecimento, mecanização intensiva, adubação mineral e produtos químicos são utilizados (Martins, 1997 e Martins *et al.*, 1999).

No agroecossistema estufa plástica é importante a avaliação da energia radiante, observando as transformações provocadas pelo filme plástico sobre o balanço de ondas curtas e longas. Mas, além da energia radiante, devem ser consideradas também as energias complementares, ocorrendo balanço positivo quando a energia produzida (expressa através da biomassa) superar a energia consumida (Martins, 1997).

A radiação solar é o principal fator que limita o rendimento das espécies, tanto no campo como em ambientes protegidos, especialmente nos meses de inverno e em altas latitudes, pela escassa disponibilidade de energia radiante (Martins *et al.*, 1999). Para as culturas de tomate e pepino, redução de 1% de iluminação supõe redução de 1% na produção (Cockshull, 1988, 1989, citado por Lorenzo Minguez, 1994). A primeira alternativa para manejar a radiação solar disponível às plantas consiste em determinar as melhores épocas de implantação da cultura ao longo do ano. Estas épocas devem ser estabelecidas de forma que o crescimento ocorra durante períodos com radiação solar acima do limite trófico, no caso das hortaliças de verão como o tomateiro, o melão e o pimentão, aproximadamente  $8,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . O limite trófico significa a produção mínima de assimilados necessária para a manutenção da cultura.

Abaixo do limite trófico, a planta não sobrevive e, acima, o acúmulo de matéria seca se torna possível (Andriolo, 1999).

Entretanto, a radiação solar varia em decorrência da inclinação do eixo de rotação e do movimento da terra, e também da nebulosidade, que pode reduzir em até 90% o fluxo de radiação em relação ao céu claro (Prates *et al.*, 1986). Mesmo em regiões com abundante radiação, como o sudeste espanhol, próximo ao solstício de inverno e ao meio-dia solar de um dia ensolarado, a densidade de fluxo quântico pode ficar abaixo do ponto lumínico superior ( $1.000 \mu\text{mol}\cdot\text{q}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) das principais espécies hortícolas produzidas em estufa (Lorenzo Minguez, 1994).

A eficiência do sistema depende da conversão de energia em biomassa. A planta transforma energia radiante em energia aproveitável na alimentação e como matéria-prima para a indústria. Entretanto, de acordo com Martins (1997), da radiação solar incidente na superfície atmosférica ( $2 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ), somente metade chega a superfície do solo (radiação solar global - RG), e desta radiação somente 50% tem capacidade fotossintética (radiação fotossinteticamente ativa - RFA). Para Lorenzo Minguez (1994), a radiação que chega na terra e está dentro da faixa de comprimentos de onda fotossinteticamente ativos (400-700 nm) corresponde a 45% da radiação direta.

A contabilidade final destes processos resulta em uma eficiência líquida teórica da conversão da RG e da RFA de 4,8 e 11% para plantas  $C_3$  e 6,1 e 14% para plantas  $C_4$ , respectivamente. Porém, devido às limitações ambientais (clima e solo) e características morfológicas e fisiológicas das plantas, na prática estes valores não são observados. A eficiência energética final da fixação da radiação através da fotossíntese, na maioria das espécies cultivadas é, ainda, muito pequena e aproximadamente 1%. Entretanto, sob condições ótimas e durante curtos períodos de intenso crescimento este valor pode aproximar-se dos valores máximo teóricos acima descritos (Martins, 1997). Embora a eficiência das plantas no armazenamento da energia solar seja baixa em relação ao estimado teoricamente, o fato de 90 a 95% de toda a massa vegetal resultar do processo fotossintético vem consolidar a definição dada por

Monteith, 1958, citado por Prates *et al.* (1986), que a agricultura é a exploração da radiação solar, tornada possível através de um adequado suprimento de água e nutrientes, necessários à manutenção da planta (Prates *et al.*, 1986).

No caso de estufas plásticas, há que se considerar que as distintas regiões do Brasil, em geral, mostram uma redução da radiação solar incidente no interior da estufa com relação ao meio externo, de 5 a 35%. Estes valores variam com o tipo de plástico (composição química e espessura), grau de envelhecimento, ângulo de elevação do sol (estação do ano e hora do dia) e também dependem dos demais fluxos sobre o filme: reflexão e absorção (Martins *et al.*, 1999).

A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) entre 400-700 nanômetros (nm) é a medida mais adequada da RFA para a maioria dos estudos ecofisiológicos. É definida como o número de fótons (400-700 nm) que incidem por unidade de tempo (s), em uma unidade de área ( $m^2$ ) dividido pelo número de Avogadro ( $6,022 \cdot 10^{23} \cdot mol^{-1}$ ) segundo McCree, 1981, citado por Lorenzo Minguez (1994). Entretanto, se encontra com frequência a RFA expressa em  $W \cdot m^{-2}$ . A interconversão destas unidades não é direta, e varia em função das características espectrais da fonte de emissão. Quando a comparação é relativa à radiação solar, o fator de conversão varia conforme a posição solar, a proporção de radiação direta - difusa e as propriedades de absorção dos materiais que atravessa (Lorenzo Minguez, 1994). Em dias ensolarados e com céu claro,  $1 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  corresponde a aproximadamente  $4,57 W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  (Andriolo, 1999).

O valor máximo da eficiência na conversão da radiação em matéria seca pode ser estimado em torno de  $2,5 gMS \cdot MJ^{-1}$  de RG ou aproximadamente  $5,0 gMS \cdot MJ^{-1}$  de RFA (Russel, 1989, citado por Lorenzo Minguez, 1994). Esta estimativa supõe um valor 1,4 a 2,0 vezes superior aos resultados obtidos experimentalmente, entre  $1,2$  e  $1,7 g \cdot MJ^{-1}$  de RG, em cultivos anuais. Os valores inferiores resultam de intensidades de radiação incidente superiores ao nível de saturação, stress ambiental produzido por temperaturas extremas ou inadequado fornecimento hídrico, perdas por respiração e perdas associadas a

mortalidade de folhas e raízes com o conseqüente custo de reposição (Lorenzo Minguez, 1994). Durante o crescimento vegetativo, muitos cultivos de plantas  $C_3$  têm um valor de 1,4 g de matéria seca por cada MJ de RG interceptada. Entretanto, podem existir diferenças devido a composição e conteúdo energético da matéria seca. A eficiência na conversão de luz entre cultivos ao ar livre e em estufas é similar quando a concentração de  $CO_2$  do ar está próxima da ambiental. (Wilson, 1992 citado por Lorenzo Minguez, 1994).

O meloeiro (*Cucumis melo*, L.) é uma cultura de alto valor econômico, mas pode apresentar problemas de produção quando suas exigências bioclimáticas não são plenamente atendidas. Entre as *Cucurbitaceae*, é o mais exigente quanto a temperaturas elevadas, principalmente durante o período noturno. Para Brandão Filho e Callegari (1999), o crescimento vegetativo do meloeiro é prejudicado por temperaturas do ar inferiores a 13°C e superiores a 40°C, sendo a faixa de 25 a 32°C considerada ótima para o seu desenvolvimento vegetativo. Em virtude dessas exigências, o cultivo do meloeiro a campo no Rio Grande do Sul fica restrito aos seis meses mais quentes do ano e a colheita ocorre de dezembro a março. A opção pelo ambiente protegido permite prolongar o cultivo desde a primavera até o outono e mostra-se economicamente viável (Caron e Heldwein, 2000).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do cultivo de melão em estufa plástica, a partir do aproveitamento da radiação solar considerando seus diversos fluxos (global externa, global interna e fotossinteticamente ativa), isolada ou associada a energia complementar, e da produção de biomassa da cultura submetida a diferentes doses de adubação orgânica comparadas com a adubação mineral, no período verão – outono.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de pesquisa foram realizados no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), localizada a 31°52'32" de latitude Sul e 52°21'24" de longitude Oeste e altitude de 13m acima do nível do mar. O solo é classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico (Pinto *et al*, 1999). O clima da região é definido como Cfa, na classificação de Köppen, clima temperado, inverno frio e úmido, verão quente e chuvas bem distribuídas. A temperatura média anual é de 17,5°C, tendo ocorrido temperaturas máximas e mínimas absolutas de 42,6°C e -5,2°C, respectivamente. A precipitação pluviométrica anual normal situa-se entre 1.150 e 1.400mm. Geadas ocorrem de abril a novembro (Berlato, 1983).

Utilizou-se um estufa plástica definida como "Túnel Alto" com 7,8m de largura, 3,9m de altura e 39,4m de comprimento, apresentando área total de 307,32m<sup>2</sup> e volume de 941,30m<sup>3</sup>, com estrutura composta de arcos de ferro galvanizado, cobertura com filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), espessura de 0,15mm (150 micras), aditivado com resina antiultravioleta, disposta longitudinalmente no sentido norte-sul, sem janelas laterais nem zenitais, com ventilação passiva efetuada através de portões nas cabeceiras da estrutura.

A espécie cultivada foi o meloeiro (*Cucumis melo* L), híbrido Trusty SLS, tipo Cantaloupe. A semeadura foi realizada em 27 de janeiro de 2000 em sistema Float para a produção de mudas, sendo utilizada uma estufa plástica auxiliar com 7,0m de largura, 4,0m de altura e 12,0m de comprimento, coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), espessura de 0,15mm. A emergência média ocorreu em 1 de fevereiro. O transplante foi realizado em 24 de fevereiro (repetições 1 e 2) e 28 de fevereiro (repetição 3). O espaçamento utilizado foi de 0,5m entre fileiras e 0,5m entre plantas, determinando uma densidade de 4,0 plantas.m<sup>2</sup>. As plantas foram conduzidas tutoradas por meio de um fitilho de polipropileno preso ao solo e na extremidade superior preso a um fio de arame estendido ao longo da linha de cultivo. O controle de pragas, doenças e ervas daninhas foi efetuado através de técnicas de manejo integrado.

Os efeitos das adubações orgânica e mineral foram avaliados em oito tratamentos: a) Testemunha sem adubação – **Test**; b) adubação mineral completa com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) conforme recomendação da ROLAS, denominado **Mineral**; c) adubação com vermicomposto para suprir 50% do N e cinza de casca de arroz para suprir 50% do K –  $\frac{1}{2}\mathbf{V} + \frac{1}{2}\mathbf{C}$ ; d) adubação com vermicomposto para suprir 50% do N e cinza de casca de arroz para suprir o K –  $\frac{1}{2}\mathbf{V} + \mathbf{1C}$ ; e) adubação com vermicomposto para suprir o N e cinza de casca de arroz para suprir 50% do K –  $\mathbf{1V} + \frac{1}{2}\mathbf{C}$ ; f) adubação com vermicomposto para suprir o N e cinza de casca de arroz para suprir o K –  $\mathbf{1V} + \mathbf{1C}$ ; g) adubação com vermicomposto para suprir o N –  $\mathbf{1V(N)}$ ; h) adubação com cinza de casca de arroz para suprir o K –  $\mathbf{1C(K)}$ . O delineamento experimental foi de Blocos Casualizados com oito tratamentos e três repetições, com 24 parcelas de 6,0m de comprimento por 1,0m de largura (6,0m<sup>2</sup>) e 24 plantas por parcela.

A fonte de adubação orgânica foi vermicomposto de esterco bovino de minhoca vermelha-da-califórnia (*Eisenia foetida*), complementado por cinza de casca de arroz em alguns tratamentos; e a adubação mineral constou de uréia (45% N), superfosfato triplo (42% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (58% de K<sub>2</sub>O). As

quantidades aplicadas foram determinadas através de análise de solo seguindo recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995).

As temperaturas no interior da estufa foram medidas com sensores termistores Campbell modelo 107. Para avaliar a temperatura do ar foram instalados 8 sensores a 1m de altura em cada um dos canteiros da região central da estufa, sendo considerado o valor médio obtido. A temperatura do solo foi monitorada através de um sensor instalado à 15cm de profundidade em um dos canteiros centrais.

A radiação solar global interna incidente ( $RG_i$ ) foi obtida através da média de 8 tubos solarímetros construídos artesanalmente, conforme modelo proposto por Steinmetz e Miori (1997), instalados sobre os canteiros centrais, no sentido norte-sul, sendo os mesmos posicionados inicialmente a 1m de altura e posteriormente, com o desenvolvimento da cultura, elevados para 2m. A radiação fotossinteticamente ativa interna incidente ( $RFA_i$ ) foi medida com um quantômetro marca LI-COR, modelo LI190SB, instalado na região central da estufa, a 2m de altura.

A aquisição e armazenamento de dados foram realizados com um sistema automático tipo micrologger, marca Campbell Scientific, modelo 21 XL, com um multiplexador da mesma marca, modelo AM416 acoplado para aumentar o número de entradas analógicas. O micrologger foi programado para operar com um intervalo de execução de 10 segundos e agrupar os dados em valores médios a cada 15 minutos. As variáveis meteorológicas externas ocorridas durante o período do experimento, entre elas a radiação solar global externa incidente ( $RG_e$ ) foram observadas na Estação Agroclimatológica da UFPE/Embrapa-CPACT, distante 600 m do local dos trabalhos.

Foram avaliados os fluxos de energia diretos incidentes: radiação solar global externa -  $RG_e$  ( $MJ.m^{-2}$ ), radiação solar global interna -  $RG_i$  ( $MJ.m^{-2}$ ), radiação solar fotossinteticamente ativa interna -  $RFA_i$  ( $mol.m^{-2}$ ). A  $RFA_i$  foi transformada em megajoules, em alguns casos, com a relação  $1 mol.m^{-2}$  igual a  $4,57 MJ.m^{-2}$ , apresentada por Andriolo (1999).

As energias complementares, ou seja, a quantidade de insumos gastos na produção de melão (semente, fertilizante, defensivo, plástico, etc.), considerando a energia gasta no processo de fabricação e a energia gasta pelo homem na execução da tarefa (mão-de-obra) foram obtidas de Hoppe (2002) e são apresentados na Tabela 3.

A eficiência agroenergética da estufa plástica foi avaliada através da relação entrada/saída de energia. Os inputs energéticos são contrastados com os outputs de energia do sistema caracterizados pela biomassa vegetal. Foram calculados índices de eficiência energética (EE), considerando a radiação solar incidente, e índices de eficiência energética completa (EEC), considerando a radiação solar incidente acrescida da energia complementar, para  $RFA_i$ ,  $RG_i$  e  $RG_e$  na produção de biomassa total e na produção de biomassa útil (frutos frescos). Além disso, foram calculados índices de eficiência aparente de cultivo (EAC), considerando a radiação solar incidente para  $RFA_i$ ,  $RG_i$  e  $RG_e$  ( $MJ.m^{-2}$ ) e  $RFA_i$  ( $mol.m^{-2}$ ) na produção de biomassa total. Neste trabalho não foi considerada a produção de raízes como biomassa.

Os índices de eficiência energética ( $EE_{Bio}$ ,  $EE_{Fruto}$ ,  $EEC_{Bio}$ ,  $EEC_{Fruto}$ , e EAC) na produção de biomassa total e útil foram calculados com as seguintes relações:

$$EE_{Bio} = B_{Total} \cdot A^{-1} \cdot 100$$

Onde:

$EE_{Bio}$ : índice de eficiência energética da biomassa total (%);

$B_{Total}$ : energia contida na biomassa total ( $MJ.m^{-2}$ );

A: energia da radiação solar incidente ( $MJ.m^{-2}$ ).

$$EE_{Fruto} = B_{Útil} \cdot A^{-1} \cdot 100$$

Onde:

$EE_{Fruto}$ : índice de eficiência energética na produção de frutos (%);

$B_{Útil}$ : energia contida na biomassa útil: frutos frescos ( $MJ.m^{-2}$ );

A: energia da radiação solar incidente ( $MJ.m^{-2}$ ).

$$EEC_{\text{Bio}} = B_T \cdot (A + EC)^{-1} \cdot 100$$

Onde:

$EEC_{\text{Bio}}$ : índice de eficiência energética completa da biomassa total (%);

$B_T$ : energia contida na biomassa total ( $\text{MJ.m}^{-2}$ );

$A$ : energia da radiação solar incidente ( $\text{MJ.m}^{-2}$ );

$EC$ : energia complementar contida nos insumos utilizados ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ).

$$EEC_{\text{Fruto}} = B_{\text{útil}} \cdot (A + EC)^{-1} \cdot 100$$

Onde:

$EEC_{\text{Fruto}}$ : índice de eficiência energética completa na produção de frutos (%);

$B_{\text{útil}}$ : energia contida na biomassa útil: frutos frescos ( $\text{MJ.m}^{-2}$ );

$A$ : energia da radiação solar incidente ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ).

$EC$ : energia complementar contida nos insumos utilizados ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ).

$$EAC = gMS \cdot U_{RS}^{-1}$$

Onde:

$EAC$ : índice de eficiência aparente de cultivo ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ )

$gMS$ : gramas de matéria seca na biomassa total ( $\text{gMS.m}^{-2}$ );

$U_{RS}^{-1}$ : unidade da radiação solar incidente no período ( $\text{MJ.m}^{-2}$ , ou  $\text{mol.m}^{-2}$ ).

A produção de biomassa ( $\text{gMS.m}^{-2}$ ) foi avaliada ao longo do ciclo da cultura. A matéria seca das mudas foi determinada no início do transplante através de 10 mudas pesadas em balança eletrônica, e secas em estufa. As avaliações seguintes foram aos 21 dias após o transplante - 21 DAT; no final do estágio vegetativo, 41 DAT; e no momento da colheita final, 57 DAT, (20/abr). A matéria seca resultante da poda realizada aos 42 DAT foi computada na biomassa total. No momento da avaliação da matéria seca, foi medida a área foliar através de um integrador marca LI-COR, modelo LI-3100, sendo calculado o índice de área foliar (IAF). O cálculo da energia produzida pela biomassa total foi realizado considerando  $1,46 \text{ MJ.kg}^{-1}$  o valor energético para fruto fresco de melão (90% de água), conforme Mahan e Escott-Stump (1998), e  $19,05 \text{ MJ.kg}^{-1}$  de matéria seca o valor da palha de melão, de acordo com Sander (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais e médias de radiação global externa ( $RG_e$ ), radiação global interna ( $RG_i$ ) e radiação fotossinteticamente ativa interna ( $RFA_i$ ) em  $MJ.m^{-2}$  e  $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$  ocorridos durante a produção de mudas e após o transplante são apresentados na Tabela 1. As curvas de radiação incidente ( $RG_e$ ,  $RG_i$ ,  $RFA_i$ ), em  $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ , ocorridas após o transplante das mudas são apresentadas, em médias quinqüidiais, na Figura 1. Com exceção do 2° e em menor escala 6° quinqüídios, influenciados pelo excesso de nebulosidade, pode ser observada uma redução na intensidade das radiações com o passar dos dias, causada pelo aumento do ângulo zenital do sol, anunciando a aproximação do solstício de inverno. Como consequência, as temperaturas, em função do balanço de radiação ocorrido, também declinam (Figura 2), mas os valores de temperatura, no geral, foram adequados para o cultivo de melão. A média de  $RG_i$  no final do período reprodutivo (05-20/abr) foi de  $8,90 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$  (Tabela 1) próxima do limite trófico, citado como  $8,40 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$  para culturas de verão, por Andriolo (1999). Analisando os dados diários de radiação (não apresentados) ocorreram 15 dias com  $RG_i$  abaixo de  $8,40 MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ , e cinco dias consecutivos foram ao final do ciclo de cultivo (11° e 12° quinqüídios, Figura 1). A data de implantação da cultura do melão foi adequada, pois a antecipação poderia proporcionar temperaturas do ar elevadas no florescimento, e o atraso no estabelecimento tornaria limitante a radiação solar e a temperatura mínima para plantios de melão sem calefação no extremo sul do Brasil.

TABELA 1 –  $RG_e$ ,  $RG_i$  e  $RFA_i$ , total ( $\Sigma$ ,  $MJ.m^{-2}$ ) e média ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ) ocorridas em diferentes períodos do cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS

Radiações total ( $MJ.m^{-2}$ ) e média ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ) ocorridas						
Radiação		Período				
		Mudas	Pós-transplante			
		Vegetativo	Vegetativo	Reprodutivo		Total
		01/2-23/2	24/2-15/3	16/3-04/4	05/4-20/4	24/2-20/04
$RG_e$	$\Sigma$	415,58	337,77	290,30	166,02	794,09
	$\bar{X}$	18,07	16,08	14,52	10,38	13,93
$RG_i$	$\Sigma$	358,06	293,82	245,34	142,42	681,58
	$\bar{X}$	15,57	13,99	12,27	8,90	11,96
$RFA_i^1$	$\Sigma$	-	125,07	102,02	57,70	284,79
	$\bar{X}$	-	5,96	5,10	3,60	5,00

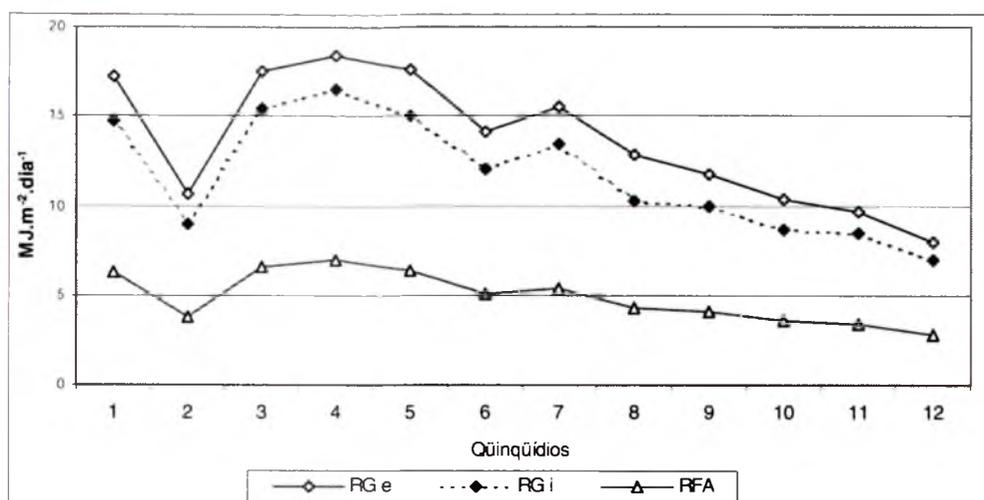


FIGURA 1 – Médias quinquidiais, em  $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ , da  $RG_e$ ,  $RG_i$  e  $RFA_i$  ocorridas durante cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto (24 de fev – 20 abr de 2000). UFPel, Capão do Leão, RS.

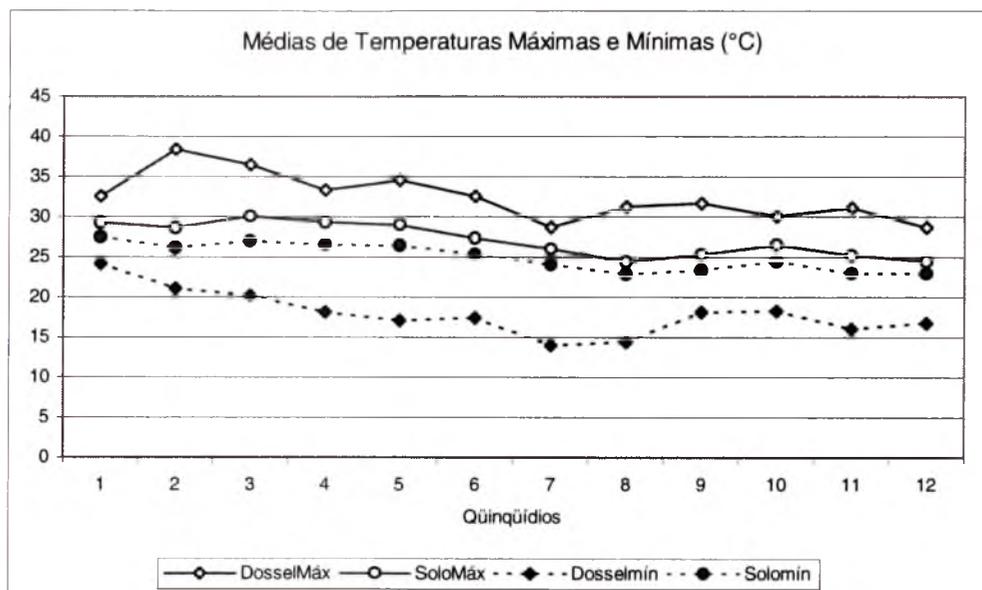


FIGURA 2 – Médias quinquidiais das temperaturas máximas e mínimas no interior do dossel ( $Dossel_{Máx}$  e  $Dossel_{min}$ ) e do solo ( $Solo_{Máx}$  e  $Solo_{min}$ ) ocorridas durante cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

As mudas de melão produzidas em bandejas de poliestireno de 72 células (0,70 x 0,35m) foram semeadas em 27/jan com emergência em 01/fev, produzindo 265 mudas.m<sup>-2</sup> (90,17% de germinação). No final do período (23/fev) as mudas apresentavam em média 147,62 cm<sup>2</sup> de área foliar e 1,18 g de matéria seca (MS), com índice de área foliar (IAF) de 3,91 e produção de 312,44 g.MS.m<sup>-2</sup>. Relacionando este valor com a radiação global interna incidente ocorrida no período: 358,06 MJ.m<sup>-2</sup> (Tabela 1) foi obtido o valor de 0,87 g.MS.MJ<sup>-1</sup>.RG<sub>i</sub>, como eficiência aparente de cultivo (EAC) na produção de mudas.

Após o transplante das mudas na densidade de 4 plantas.m<sup>-2</sup>, a cultura de melão iniciou nova etapa de crescimento partindo de um IAF de 0,06 com 4,72 gMS.m<sup>-2</sup>. O efeito dos tratamentos (doses e tipos de adubos minerais e orgânicos) começou a se manifestar. Com espaço suficiente para o

crecimento as plantas aumentaram rapidamente a área foliar e o conteúdo de matéria seca (Figura 3). A análise da produção de matéria seca ao final do período vegetativo (16/mar, 21 DAT) evidenciou o tratamento adubação orgânica completa (1V+1C) como o mais produtivo (63,31 gMS.m<sup>-2</sup>), diferindo significativamente do tratamento 1C(K) com 35,21 gMS.m<sup>-2</sup>. Embora sempre apresentando a maior produção de matéria seca (Figura 3b), a adubação orgânica completa não apresentou diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% sobre os demais tratamentos nas avaliações posteriores, aos 41 DAT (05/abr) e 57 DAT (20/abr), como pode ser observado na Tabela 2.

A eficiência aparente de cultivo (EAC), em gMS.MJ<sup>-1</sup>, para todo o período após o transplante (57 DAT) é apresentada na Figura 4 para RFA<sub>i</sub>, RG<sub>i</sub>, RG<sub>e</sub> e também como gMS.mol<sup>-1</sup>RFA<sub>i</sub>. Pode ser observado que o resultado não é alterado, permanecendo a mesma classificação dos tratamentos independente do tipo de radiação (global ou fotossinteticamente ativa; interna ou externa) ou da unidade de medida (MJ ou mol) utilizada.

Os maiores valores para EAC foram obtidos pelo tratamento orgânico completo: 1,15 gMS.MJ<sup>-1</sup> para  $\Sigma$ RG<sub>i</sub> ou 0,60 gMS.mol<sup>-1</sup> para  $\Sigma$ RFA<sub>i</sub> (Figura 4). Estes valores estão coerentes com o valor de 0,71 gMS.mol<sup>-1</sup> de RFA interceptada em todo o ciclo para pepino cultivado em estufa, citado por Lorenzo Minguez (1994) ou 1,4 gMS.MJ<sup>-1</sup> para  $\Sigma$ RG interceptada apresentado como característico para plantas C<sub>3</sub>, como o melão, por Monteith, 1981, citado pela mesma autora. Ocorre que nesse trabalho foi utilizada a radiação incidente e conforme Lorenzo Minguez (1994) o dossel absorve em média 80-85% da RFA incidente.

O valor máximo de eficiência na conversão da radiação em matéria seca, para o ciclo completo, estimado por Russel, 1989, citado por Lorenzo Minguez, (1994) em torno de 5,0 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RFA ou aproximadamente 2,5 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RG não foi alcançado. Os maiores valores experimentais chegaram a 2,76 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RFA<sub>i</sub> e 1,15 g MS.MJ<sup>-1</sup> de RG<sub>i</sub>, no tratamento 1V+1C, para o período pós transplante (Tabela 2).

TABELA 2 – Produção de matéria seca ( $\text{gMS.m}^{-2}$ ) e eficiência aparente de cultivo ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ ) para  $\text{RFA}_i$  e  $\text{RG}_i$  em diferentes períodos do cultivo de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto

Trats	Produção de matéria seca ( $\text{gMS.m}^{-2}$ )				Eficiência aparente de cultivo ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ ) <sup>2</sup>							
	24/fev	16/mar	05/abr	20/abr	24/2-15/3		16/3-04/4		05/4-20/4		24/2-20/4	
					$\text{RFA}_i$	$\text{RG}_i$	$\text{RFA}_i$	$\text{RG}_i$	$\text{RFA}_i$	$\text{RG}_i$	$\text{RFA}_i$	$\text{RG}_i$
Test	4,72	58,40 ab	180,93	518,51	0,43	0,18	1,20	0,50	5,85	2,37	1,80	0,75
Mineral	4,72	48,36 ab	219,76	719,87	0,35	0,15	1,68	0,70	8,67	3,51	2,51	1,05
$1/2\text{V}+1/2\text{C}$	4,72	46,76 ab	209,81	573,44	0,34	0,14	1,60	0,66	6,30	2,55	2,00	0,83
$1/2\text{V}+1\text{C}$	4,72	50,96 ab	242,09	725,40	0,37	0,16	1,87	0,78	8,38	3,39	2,53	1,06
$1\text{V}+1/2\text{C}$	4,72	43,16 ab	223,31	664,81	0,31	0,13	1,77	0,73	7,65	3,10	2,32	0,97
$1\text{V}+1\text{C}$	4,72	63,31 a	345,55	789,90	0,47	0,20	2,77	1,15	7,70	3,12	2,76	1,15
$1\text{V}(\text{N})$	4,72	57,43 ab	175,71	599,37	0,42	0,18	1,16	0,48	7,34	2,97	2,09	0,87
$1\text{C}(\text{K})$	4,72	35,21 b	247,97	661,63	0,24	0,10	2,09	0,87	7,17	2,90	2,31	0,96
Média	4,72	50,45	230,64	656,62	0,37	0,16	1,77	0,73	7,38	2,99	2,29	0,96
CV %	-	17,70	25,03	16,63								
$F_{\text{calc}}$	-	*	ns	ns								
$w_{.05}^1$	-	25,72	-	-								

<sup>1/</sup>  $w_{.05}$ : médias seguidas pela mesma letra não diferem, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

<sup>2/</sup> Eficiência aparente: calculada com a MS produzida no período relacionada com a  $\text{RFA}_i$  e a  $\text{RG}_i$  incidente apresentadas na Tabela 1.

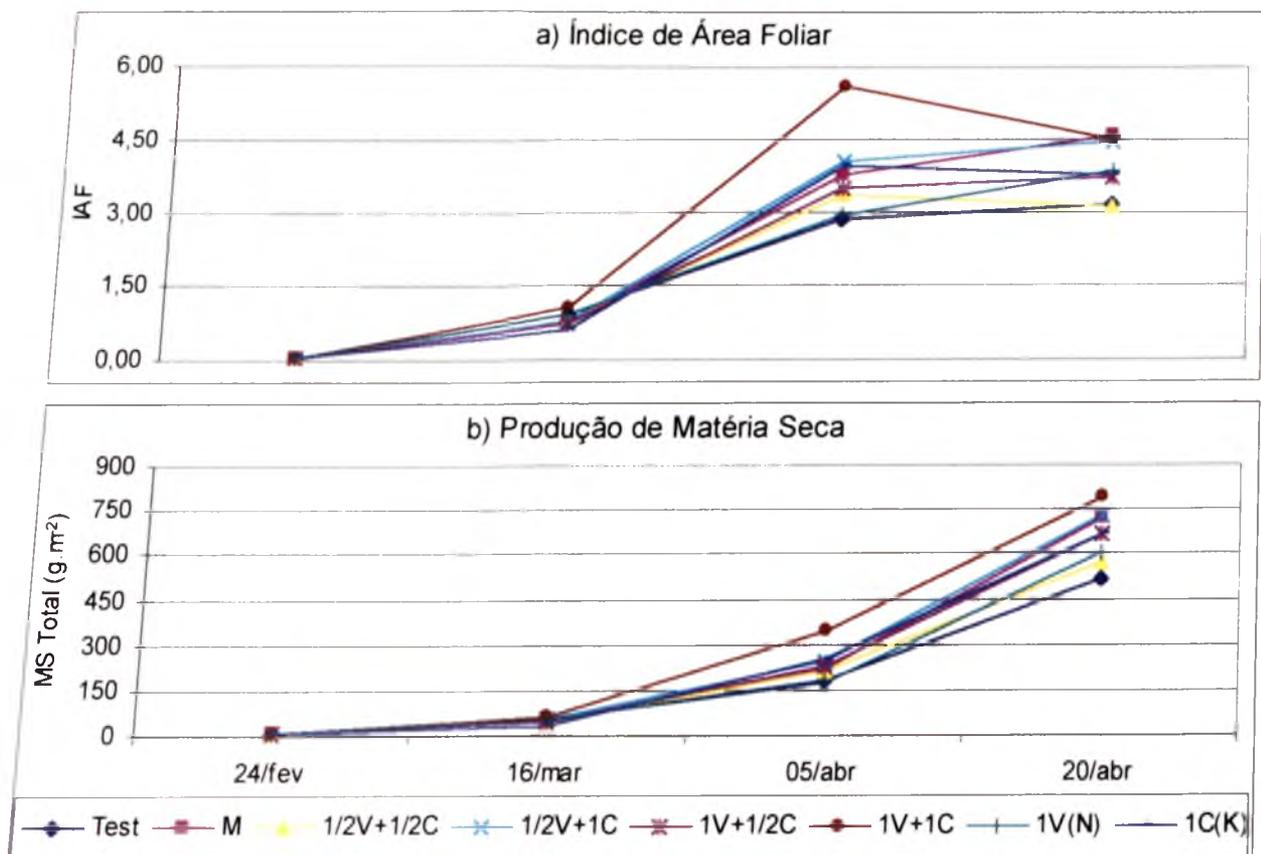


FIGURA 3 – a) Índice de Área Foliar – IAF, b) Produção Total de Matéria Seca – MS Total, em melão cultivado em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

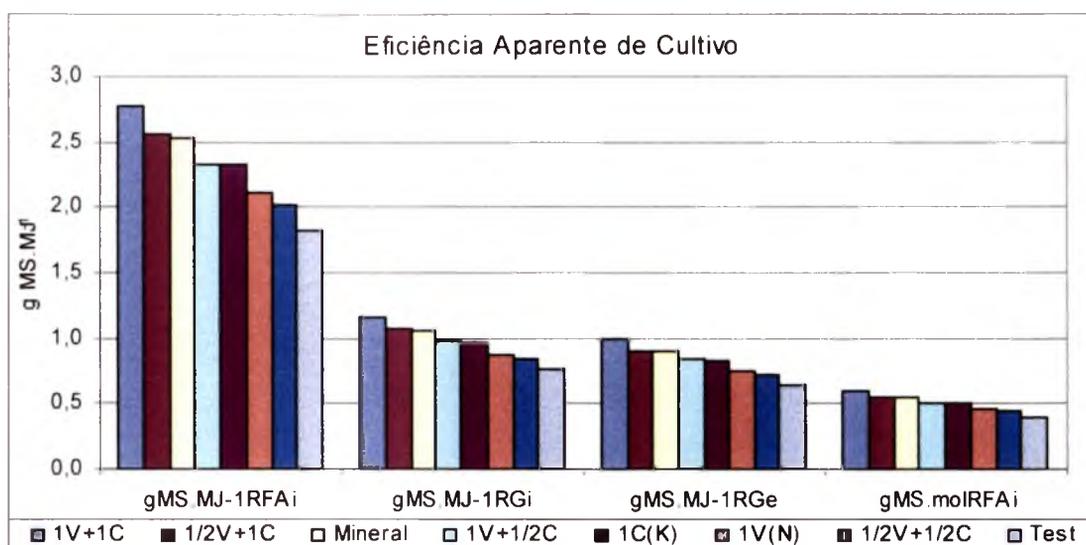


FIGURA 4 – Eficiência aparente de cultivo de melão em função da energia incidente de  $RFA_i$  ( $gMS.MJ^{-1}$  de  $RFA_i$ ), de  $RG_i$  ( $gMS.MJ^{-1}$  de  $RG_i$ ), de  $RGe$  ( $gMS.MJ^{-1}$  de  $RGe$ ) e de  $RFA_i$  ( $gMS.mol^{-1}$  de  $RFA_i$ ), em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

Valores inferiores de EAC, segundo Lorenzo Minguez (1994), resultam de intensidades de radiação incidente superiores ao nível de saturação, stress ambiental produzido por temperaturas extremas ou inadequado fornecimento hídrico, perdas por respiração e perdas associadas a mortalidade de folhas e raízes com o conseqüente custo de reposição. O primeiro item citado, intensidade da radiação incidente, certamente, reduziu a eficiência aparente de cultivo, pois em 57 dias do período pós-transplante, apenas 10 dias apresentaram valores de  $RFA_{max}$  inferiores a  $1.000 \mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ , ponto lumínico superior das principais espécies hortícolas, segundo Lorenzo Minguez (1994).

A eficiência aparente de cultivo não se manteve estável durante todo o período, e conforme observado por Martins (1997), sob condições ótimas e durante curtos períodos o valor pode se aproximar do máximo teórico. Na Tabela 2 são apresentados valores de EAC ( $gMS.MJ^{-1}$ ) para  $RFA_i$  e  $RG_i$ . O valor inicialmente baixo, média de  $0,16 gMS.MJ^{-1}$  de  $RG_i$  no período 0-20 DAT (24/fev-15/mar), aumentou para  $0,73 gMS.MJ^{-1}$  de  $RG_i$  no período 21-40 DAT

(16/mar-4/abr), acompanhando a expansão da área foliar (Figura 3) que proporcionou maior interceptação da radiação incidente. No último período 41-57 DAT (5 abr-20/abr) a média da EAC chegou a 2,99 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RG<sub>i</sub>, com valores variando entre 3,51 para Mineral até 2,37 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RG<sub>i</sub> para a Testemunha.

A eficiente utilização da radiação solar na produção de mudas em bandejas, no sistema float, pode ser comprovada analisando a Tabela 2. Considerando, para efeito de cálculo, a sementeira direta do melão no solo, com 100% de germinação (ou maior número de sementes com posterior desbaste), densidade de 4 plantas.m<sup>-2</sup>, e igual desenvolvimento das plântulas nas bandejas e no solo da estufa, teríamos a produção de 4,72 gMS.m<sup>-2</sup> para uma RG<sub>i</sub> de 358,06 MJ.m<sup>-2</sup> (período de 1/fev-23/fev, Tabela 1), resultando em uma EAC de 0,01 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RG<sub>i</sub>. Comparando com a já citada EAC obtida na produção de mudas de melão: 0,87 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RG<sub>i</sub>, fica demonstrado a vantagem do cultivo em bandejas sobre o cultivo em solo, sendo que a eficiência do método ficou muito próxima da EAC média de 0,96 gMS.MJ<sup>-1</sup> de RG<sub>i</sub> obtida no período pós transplante (24/fev-20/abr). Também deve ser destacado que a estufa de produção foi utilizada por 57 dias no sistema muda/transplante contra 80 dias (mais 4 a 5 dias para germinação) para o suposto sistema de sementeira direta, representando redução superior a 30% no tempo de utilização da estufa. A área utilizada na estufa de mudas foi mínima (1,5% da área da estufa de produção), pois produziu 265 mudas úteis.m<sup>-2</sup>, suficientes para o transplante em 66 m<sup>2</sup> na estufa de produção.

A eficiência energética foi calculada relacionando a energia que saiu do sistema (biomassa total ou biomassa dos frutos) com a energia que entrou no sistema (radiação solar ou energia total – radiação solar acrescida da energia complementar). O maior valor energético para biomassa total, apresentado na Tabela 3, foi obtido pelo tratamento 1V+1C com 13,28 MJ.m<sup>-2</sup>, seguido por Mineral (12,36 MJ.m<sup>-2</sup>) e 1/2V+1C (12,30 MJ.m<sup>-2</sup>). A segunda colocação do tratamento Mineral no ranking de produção de biomassa total foi condicionada pela maior produção de palha (7,89 MJ.m<sup>-2</sup>).

TABELA 3 – Produção de biomassa útil (Frutos, frescos,  $\text{kg.m}^{-2}$ ;  $\text{MJ.m}^{-2}$ ), biomassa residual (Palha, matéria seca,  $\text{kg.m}^{-2}$ ;  $\text{MJ.m}^{-2}$ ) e biomassa total (Bio Total, matéria seca,  $\text{kg.m}^{-2}$ ;  $\text{MJ.m}^{-2}$ ) e insumos totais utilizados (Insumos,  $\text{MJ.m}^{-2}$ ) na cultura de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto

Produção de Biomassa na cultura do melão							
Trats	Frutos <sup>1</sup>		Palha <sup>2</sup>		Bio Total		Insumos <sup>3</sup>
	$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{MJ.m}^{-2}$	$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{MJ.m}^{-2}$	$\text{kg.m}^{-2}$	$\text{MJ.m}^{-2}$	
Test	2,309	3,37	0,288	5,49	0,519	8,86	24,15
Mineral	3,060	4,47	0,414	7,89	0,720	12,36	25,28
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> V+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> C	2,909	4,25	0,283	5,39	0,573	9,64	24,69
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> V+1C	3,449	5,04	0,381	7,26	0,725	12,30	24,88
1V+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> C	3,296	4,81	0,335	6,38	0,665	11,19	25,03
1V+1C	3,978	5,81	0,392	7,47	0,790	13,28	25,22
1V(N)	2,715	3,96	0,328	6,25	0,599	10,21	24,93
1C(K)	3,217	4,70	0,340	6,48	0,662	11,18	24,54
Média	3,117	4,55	0,345	6,57	0,657	11,12	24,84

<sup>1</sup>/Frutos frescos:  $1,46 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ; 10% MS (Mahan e Escott-Stump, 1998).

<sup>2</sup>/Palha média típica: matéria seca,  $19,05 \text{ MJ.kg}^{-1}$  (Sander, 1997).

<sup>3</sup>/Insumos total:  $24,14 \text{ MJ.kg}^{-1}$  valor energético comum, mais adubação diferenciada por tratamento (energia no produto, frete e mão-de-obra de aplicação) e colheita (tempo de colheita considerando  $1,67 \text{ MJ.hora}^{-1}.\text{homem}^{-1}$ ) conforme Hoppe (2002).

A eficiência energética na produção de biomassa total ( $EE_{\text{BIO}}$ ) no período pós-transplante é apresentada na Figura 5a. A biomassa total (palha + frutos) em  $\text{MJ.m}^{-2}$  (Tabela 3) foi relacionada com o somatório de  $RFA_i$ ,  $RG_i$  e  $RG_e$  incidente em  $\text{MJ.m}^{-2}$  (Tabela 1). A maior  $EE_{\text{BIO}}$  foi apresentada pelo tratamento adubação orgânica completa com 4,66% de utilização da  $RFA_i$  e 1,95% de aproveitamento da  $RG_i$ . Estes valores são inferiores aos máximos teóricos de eficiência líquida: 11% para  $RFA$  e 4,8% para  $RG$ , apresentados por Martins (1997) para plantas  $C_3$ . Entretanto, o autor reconhece que a aproximação do máximo pode ocorrer em curtos períodos e sob condições ótimas, sendo que a eficiência energética final da fixação da radiação através da fotossíntese, na maioria das espécies cultivadas é, ainda, muito pequena e aproximadamente 1% (Prates *et al.*, 1986; Martins, 1997).

Considerando apenas a biomassa útil, a eficiência energética na produção de frutos ( $EE_{\text{FRUTO}}$ ) é apresentada na Figura 6a. A biomassa útil (frutos) em  $\text{MJ.m}^{-2}$  (Tabela 3) foi relacionada com o somatório de  $RFA_i$ ,  $RG_i$  e

$RG_e$  incidente em  $MJ.m^{-2}$  (Tabela 1). A maior  $EE_{Fruto}$  foi apresentada pelo tratamento adubação orgânica completa com 2,04% de utilização da  $RFA_i$  e 0,85% de aproveitamento da  $RG_i$ .

Os índices apresentados:  $EE_{Bio}$  (Figura 5a) e  $EE_{Fruto}$  (Figura 6a) consideram como entrada de energia somente a energia solar, porém, na realidade, outras formas de energia entram no sistema (mão-de-obra, herbicidas, fertilizantes, combustíveis, inseticidas, etc.). A inclusão dessa energia complementar gasta no cultivo de melão em estufa plástica, que variou entre  $25,28 MJ.m^{-2}$  (Mineral) até  $24,15 MJ.m^{-2}$  (Testemunha) conforme dados obtidos por Hoppe (2002) e apresentados na Tabela 3, no cálculo de eficiência energética foi realizada, sendo denominadas: eficiência energética completa biomassa total ( $EE_{CBio}$ ) e eficiência energética completa frutos ( $EE_{CFruto}$ ).

A  $EE_{CBio}$  no período pós transplante, apresentada na Figura 5b, relacionou a biomassa total (palha + frutos) em  $MJ.m^{-2}$  (Tabela 3) com o somatório de  $RFA_i$ ,  $RG_i$  e  $RG_e$  incidente em  $MJ.m^{-2}$  (Tabela 1) acrescido da energia complementar contida nos insumos totais utilizados por cada tratamento (Tabela 3). A maior  $EE_{CBio}$  foi apresentada pelo tratamento adubação orgânica completa com 4,28% de utilização da  $RFA_i$  e 1,88% de aproveitamento da  $RG_i$ . Os resultados são semelhantes aos apresentados na Figura 5a, pois, a inclusão da energia contida nos insumos totais utilizados, com média de  $24,84 MJ.m^{-2}$  e amplitude de  $1,13 MJ.m^{-2}$  entre tratamentos, tem pequeno efeito quando somada à  $RFA_i$  ( $284,79 MJ.m^{-2}$ ),  $RG_i$  ( $681,58 MJ.m^{-2}$ ) ou  $RG_e$  ( $749,09 MJ.m^{-2}$ ) para o cálculo da EEC.

A  $EE_{CFruto}$  (Figura 6b) foi calculada relacionando o valor da biomassa útil (frutos) em  $MJ.m^{-2}$  (Tabela 3) com o somatório de  $RFA_i$ ,  $RG_i$  e  $RG_e$  incidente em  $MJ.m^{-2}$  (Tabela 1) acrescido da energia complementar contida nos insumos totais utilizados por cada tratamento (Tabela 3). A maior  $EE_{CFruto}$  foi apresentada pelo tratamento adubação orgânica completa com 1,87% de utilização da  $RFA_i$  e 0,82% de aproveitamento da  $RG_i$ , com resultados semelhantes aos apresentados na Figura 6a, causados pelo leve efeito da

energia complementar com valores pequenos e amplitude reduzida quando comparada aos valores de  $RFA_i$ ,  $RG_i$  ou  $RG_e$ .

A eficiência energética completa, como calculada neste trabalho, pode ser interessante em trabalhos de ecofisiologia vegetal, pois, segundo Monteith, 1958, citado por Prates *et al.* (1986), "a agricultura é a exploração da radiação solar, tornada possível através de um adequado suprimento de água e nutrientes, necessários à manutenção da planta". E a soma da energia solar e da energia complementar permite uma melhor e completa análise do efeito dos tratamentos. Entretanto, se o objetivo do trabalho for avaliar a eficiência no uso de energia não renovável (considerando para efeito de análise a energia solar como renovável) é mais interessante estimar a eficiência energética no uso da energia complementar, pois as diferenças entre os tratamentos serão ampliadas.

Finalmente, comparando as Figuras 5a, 5b, 6a e 6b nota-se que o tipo de radiação utilizado, fotossinteticamente ativa interna ( $RFA_i$ ), global interna ( $RG_i$ ) ou global externa ( $RG_e$ ) não altera a classificação dos tratamentos, podendo qualquer um dos fluxos energéticos ser usado para a identificação do melhor tratamento no uso da energia no cultivo de melão no interior de estufa plástica. Portanto, a informação da radiação solar ocorrida durante o período de condução do ensaio, obtida com sensores especiais, com tubos solarímetros artesanais ou com base na radiação registrada em estação meteorológica próxima, junto com os dados de produtividade serão de extrema importância na comparação de resultados entre diferentes locais e anos, na avaliação da eficiência energética de uma cultura.

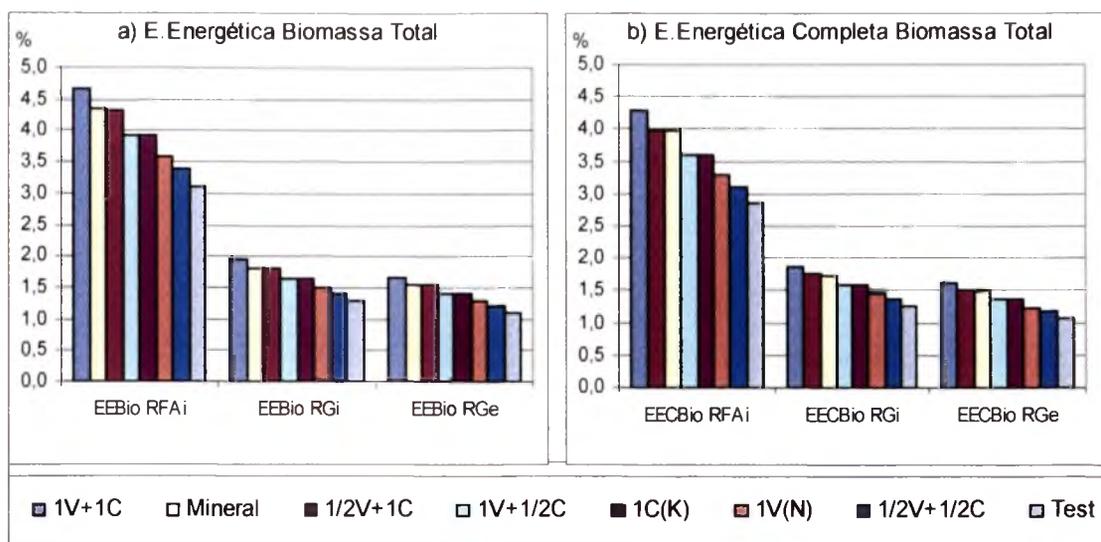


FIGURA 5 – a) Eficiência energética da RFA<sub>i</sub> (EEBio RFA<sub>i</sub>), da RG<sub>i</sub> (EEBio RG<sub>i</sub>) e da RG<sub>e</sub> (EEBio RG<sub>e</sub>), b) Eficiência energética completa da RFA<sub>i</sub> + energia complementar (EECBio RFA<sub>i</sub>), da RG<sub>i</sub> + energia complementar (EECBio RG<sub>i</sub>), e da RG<sub>e</sub> + energia complementar (EECBio RG<sub>e</sub>), na produção de biomassa total de melão cultivado em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

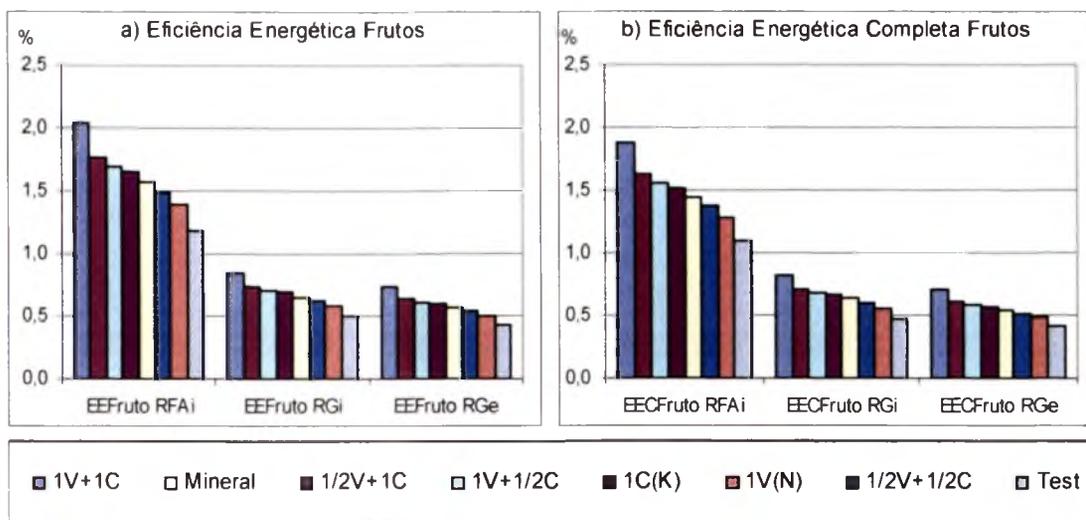


FIGURA 6 – a) Eficiência energética da RFA<sub>i</sub> (EEFruto RFA<sub>i</sub>), da RG<sub>i</sub> (EEFruto RG<sub>i</sub>) e da RG<sub>e</sub> (EEFruto RG<sub>e</sub>), b) Eficiência energética completa da RFA<sub>i</sub> + energia complementar (EECFruto RFA<sub>i</sub>), da RG<sub>i</sub> + energia complementar (EECFruto RG<sub>i</sub>), e da RG<sub>e</sub> + energia complementar (EECFruto RG<sub>e</sub>), na produção de frutos de melão em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

## CONCLUSÕES

A produção de mudas em bandejas de poliestireno (no sistema float) aumenta a eficiência energética do cultivo de melão, pois apresenta alta eficiência aparente de cultivo ( $\text{gMS.MJ}^{-1}$ ) no período pré-transplante quando comparada ao período inicial pós-transplante, além de reduzir o período de permanência da cultura na estufa (reduzindo a RG utilizada).

A eficiência aparente no uso da energia no cultivo de melão em estufa plástica pode ser identificada tanto pelo fluxo energético da RFA, como pelo da  $\text{RG}_i$ , ou ainda pelo da  $\text{RG}_e$ .

A adubação orgânica completa (vermicomposto + cinza de casca de arroz) proporciona a maior eficiência aparente de cultivo e eficiência energética do melão em estufa, mostrando-se também superior a muitos sistemas de produção ao ar livre.

Os valores de eficiência energética normal (com a energia solar) e a eficiência energética completa (com energia solar + energia complementar) são semelhantes em virtude do pequeno valor e amplitude da energia complementar (insumos) quando comparado à energia solar.

A eficiência energética completa mostra-se como parâmetro bastante útil em trabalhos de ecofisiologia vegetal, pois permite uma completa análise do efeito dos tratamentos. Para avaliar a energia não renovável, a eficiência da energia complementar amplia as diferenças entre tratamentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1999. 142p.

BERLATO, M. A. Clima do Rio Grande do Sul. Palestra proferida no **Simpósio “Elementos Culturais do Rio Grande do Sul”**, 24 a 28 de outubro de 1983. Porto Alegre, RS. 13p.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O. Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.64-68, 1999.

CARON, B. O.; HELDWEIN, A. B. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.19-25, 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

HOPPE, M. Avaliação da eficiência energética do cultivo de melão em estufa plástica numa perspectiva agroecológica. In: HOPPE, M. **Eficiência energética do agroecossistema estufa plástica numa perspectiva agroecológica**. Pelotas, 2002. 106f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, 2002.

KHATOUNIAN, C. A. A sustentabilidade e o cultivo de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, p.199-205, 1997. Palestra. Suplemento.

LORENZO MINGUEZ, P. Intercepción de luz, bioproductividad e intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernadero de *Cucumis sativus* L. en Almería. (España): Junta de Andalucía, 1994. 255p. Colección Monografías 17/96.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause**: alimentos, nutrição e dietoterapia. 9ª ed. São Paulo: Roca, 1998. 1179p.

MARTINS, S. R. **Determinação de indicadores de sustentabilidade e avaliação do agrossistema estufa plástica numa perspectiva agroecológica**. Pelotas. *Mimeo*. 1997. 30p.

MARTINS, S. R.; FERNANDES, H. S.; ASSIS, F. N. de; MENDEZ, M. E. G. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.15-23, 1999.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Energy and agricultural productivity. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Agricultural Production Efficiency**. Washington: NAS, 1975. p.111-131.

PINTO, L. F. S., PAULETTO, E. A., GOMES, A. S., SOUSA, R. O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. S., PAULETTO, E. A. (ed.) **Manejo do solo e da água em área de várzea**. Pelotas: EMBRAPA – Clima Temperado, 1999. 201p.

PRATES, J. E.; SEDIYAMA, G. C.; VIEIRA, H. A. Clima e produção agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p.18-22, 1986.

SANDER, B. Fuel data for Danish biofuels and improvement of the quality of straw and whole crops: Biomass for energy and environment. *Biomass & Bioenergy*, 12, p.177-183, 1997. In: <http://www.ecn.nl/phyllis/empty>. Acessado em 2001.

STEINMETZ, S.; MIORI, P.R.B. Melhoria no sistema de vedação de tubos solarímetros construídos com placas de circuito impresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.207-209.

4. DINÂMICA DA FERTILIDADE DO SOLO  
APÓS SUCESSÃO DE CULTIVOS  
EM ESTUFA PLÁSTICA TIPO TÚNEL ALTO

## DINÂMICA DA FERTILIDADE DO SOLO APÓS SUCESSÃO DE CULTIVOS EM ESTUFA PLÁSTICA TIPO TÚNEL ALTO

Marcelino Hoppe<sup>1</sup>

### RESUMO

A Estufa Plástica é um agroecossistema onde o homem tenta controlar os fatores físicos com relação ao clima e solo. No Brasil, ele é realizado em condições naturais de solo, portanto, cuidados devem ser tomados para mantê-lo com sua melhor qualidade possível. O presente trabalho, realizado em estufa plástica (7,8m x 39,4m), coberta com polietileno (0,15mm), localizada na UFPel, teve por objetivo avaliar a dinâmica da fertilidade do solo, onde técnicas de manejo que respeitam o meio ambiente e visam garantir a sustentabilidade do sistema foram aplicadas, sendo utilizadas as culturas de alface (*Lactuca sativa*), aveia (*Avena sativa*), feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*) e melão (*Cucumis melo*). As fontes de adubação orgânica foram vermicomposto e cinza de casca de arroz. Os teores médios de matéria orgânica do solo, nas dez épocas, variaram entre 2,31% (1ª época) e 1,23% (3ª época) e são considerados baixos. Os teores de P sempre foram altos, com teores médios de 179,7 mg.L<sup>-1</sup>, na 10ª época. As retiradas de P do sistema, através das colheitas e dos restos das culturas, estão sendo menores que o P fornecido pela adubação mineral ou orgânica. Os teores médios de K na 1ª época (169,2 mg.L<sup>-1</sup>) e na 2ª época (204,6 mg.L<sup>-1</sup>) eram altos, mas apresentaram reduções, com valor médio de 26,9 mg.L<sup>-1</sup> na 6ª época (Muito Baixo). Na 9ª época foram

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., UFPel – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – PPGA, Dept° de Agronomia, Caixa postal 354, CEP 96077-170, Pelotas, RS. E-mail: hoppe@deco.unisc.br

alterados alguns tratamentos, mas o efeito foi sentido na 10<sup>a</sup> época quando o teor médio de K aumentou para 47,8 mg.L<sup>-1</sup> (Baixo). Os tratamentos orgânicos que tiveram o K complementado pela cinza de casca de arroz apresentaram aumento nos teores indicando a viabilidade da técnica. A relação Ca:K apresentou na 1<sup>a</sup> época (14,15) e na 2<sup>a</sup> época (13,94) valores adequados, mas, a partir da 3<sup>a</sup> época começou a demonstrar valores inadequados, atingindo 74,55 para a relação Ca:K na 5<sup>a</sup> época. A fertilidade do solo no interior de estufas não pode ser manejada seguindo-se as atuais recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), pois os níveis de K não se mantêm com o passar dos anos. As recomendações atuais de adubação não são adequadas para o sistema de cultivo em estufa com retirada da palha, indicando ser possível uma redução nas doses de P e necessário um aumento nas doses de K para manter a fertilidade do solo ao longo de uma sucessão de cultivos.

#### PALAVRAS-CHAVE

adubação, fertilidade do solo, potássio, fósforo, estufa, plasticultura

DYNAMICS OF THE SOIL FERTILITY AFTER SUCCESSION  
OF CULTIVATIONS IN POLYETHYLENE GREENHOUSE

ABSTRACT

The polyethylene greenhouse is an agroecosystem in which man can control the physical factors in relation to the climate and the soil. In Brazil, it is used in natural conditions of the soil, so, cares must be taken to keep the best quality. This work, achieved in a polyethylene greenhouse (7.8m x 39.4m), placed in UFPel, had the objective of valuating the dynamic of the soil fertility, in which management techniques that respect the environment and aim for the sustainability of the system were applied, using the cultivations of lettuce (*Lactuca sativa*), oats (*Avena sativa*), beans-green (*Phaseolus vulgaris*) and melon (*Cucumis melo*). The sources of organic fertilization were solid bovine manure vermicompost and rice hull ash. The tenors' average of organic matter of the soil, during the ten periods of time, varied between 2.31% (1<sup>st</sup> period) and 1.23% (3<sup>rd</sup> period) and are considered low. The tenors of P were always high, with the tenors' average of 179.7 mg.L<sup>-1</sup>, on the 10<sup>a</sup> period of time. The removes of P are being lower than the P available on mineral or organic fertilization. The tenors' average of K on the 1<sup>st</sup> period (169.2 mg.L<sup>-1</sup>) and on 2<sup>nd</sup> period (204.6 mg.L<sup>-1</sup>) were high, but showed reductions, with the average of 26.9 mg.L<sup>-1</sup> on the 6<sup>th</sup> period (Very Low). On the 9<sup>th</sup> period some treatments were changed, but the effect was noticed on the 10<sup>th</sup> period when the average of tenor of K increased to 47.8 mg.L<sup>-1</sup> (Low). The organic treatments that K had with the rice hull ash presented increase on the tenors indicating possibility of the technique. The relation Ca:K presented on the 1<sup>st</sup> period (14.15) and on the

2<sup>nd</sup> period (13.94) appropriated values, but, from the 3<sup>rd</sup> period started demonstrating not appropriated values, getting to 74.55 to the relation Ca:K on the 5<sup>th</sup> period. The fertility of the soil inside the greenhouses can not be managed following the current recommendations of Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), because, the levels of K are not the same during the years. The current recommendations of fertilization are not appropriated to the cultivation system in a greenhouse with the retreat of straw, indicating the possibility of a reduction on the doses of P and necessary an increase on the doses of K to keep the fertility of the soil during many cultivation processes.

#### KEY WORDS

soil fertilization, soil fertility, potassium, phosphorus, greenhouse, plasticulture

## INTRODUÇÃO

Um dos itens mais importantes no manejo do solo é o acompanhamento sistemático de suas características químicas, pois segundo Nakagawa (2000) fornece detalhes fundamentais de seu *status quo*, sendo desejável realizá-lo a cada cultivo. Por um lado, apesar de se ter consciência da possibilidade do uso sucessivo de um mesmo solo, manejando-o racionalmente, poucos são os dados de pesquisa que comprovam essa teoria. Por outro, o moderno conceito de qualidade de solo mostra que os aspectos químicos não bastam em si mesmos para explicar a dinâmica do solo, ou seja, devem estar acompanhados dos demais aspectos – físicos e biológicos – para desta forma permitir o seu adequado manejo. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a fertilidade de um solo cultivado sob estufa plástica após seqüência de cultivos e técnicas de manejo que respeitem o meio ambiente e os limites sócio-econômicos do agricultor, buscando diminuir o uso intensivo de insumos.

A Estufa Plástica é um agroecossistema onde o homem tenta controlar os fatores físicos, principalmente com relação ao clima (temperatura, precipitações e ventos) e solo (características físicas, químicas e biológicas). O “efeito estufa” é a base de eficiência, e consiste na capacidade que tem o vidro e os plásticos de transmitirem grande parte da radiação solar (ondas curtas) e reterem parte das radiações térmicas (ondas longas) emitidas pelas plantas e pelo solo dentro da estufa. Este balanço de ondas curtas recebidas e ondas longas

emitidas implica em aumento de temperatura e depende do material de cobertura utilizado, da vedação e do manejo da estufa. O ambiente proporcionado pela estufa altera o microclima, aumentando as temperaturas máximas e mínimas, e a umidade relativa do ar, diminuindo a insolação total e aumentando a fração da radiação difusa. O vento é reduzido e a ocorrência de precipitações é eliminada. Assim, as plantas dependem do manejo da estufa proporcionado pelo agricultor, através da ventilação e irrigação, para conseguirem condições próximas do ideal. A resposta das plantas é excelente e condiciona altos rendimentos.

O cultivo protegido, por se tratar de um sistema que apresenta como principais vantagens a obtenção de colheita fora da época normal, a precocidade, o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade, é uma ferramenta que pode trazer grandes benefícios, principalmente aos pequenos e médios produtores. Caracteriza-se pela intensidade em todos os aspectos, desde a necessidade de insumos e mão-de-obra, até a possibilidade de retorno econômico (Brandão Filho e Callegari, 1999). Em condições protegidas, a demanda por nutrientes é alta, pois a produção de matéria seca também é alta. Por exemplo, utilizando as mesmas práticas culturais, os híbridos de tomate Sunny e EF-50, cultivados entre meados de outono e primavera em Viçosa (MG), em condições protegidas, produziram em média 140% mais frutos que no campo (Fontes et al., 1997). Do mesmo modo, no inverno, foi verificado aumento médio de 207% na produtividade da alface em relação àquela obtida no campo sem proteção (Rodrigues, 1997 citado por Fontes e Guimarães, 1999). Tomateiro fertirrigado (híbrido EF-50, 22.000 pl.ha<sup>-1</sup>, em cultivo protegido, ciclo de 135 dias após transplante, produtividade comercial de 109 t.ha<sup>-1</sup>) extraiu pela parte aérea: 264, 211, 195, 49, 40 e 30 kg.ha<sup>-1</sup> de K, N, Ca, S, Mg e P, respectivamente (Fayad, 1998 citado por Fontes e Guimarães, 1999).

A maior produtividade, normalmente, obtida em ambiente protegido pode induzir à necessidade de serem aplicadas maiores doses de fertilizantes para as culturas. Não é um conceito sempre correto, pois o cultivo em ambiente aberto, época chuvosa do ano, solos arenosos, irrigação por sulcos e

parcelamentos das doses, acarreta perdas elevadas de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e potássio (K). A quase ausência de dados comparativos entre os sistemas dificulta a extrapolação da experiência acumulada pelos produtores tradicionais a céu aberto para as condições protegidas (Fontes e Guimarães, 1999).

No Brasil, o cultivo protegido em estufas é realizado em condições naturais de solo, o que não acontece na quase totalidade dos países que adotam este sistema, onde o cultivo é feito em substratos minerais ou orgânicos, colocados no interior do abrigo e utilizados por um determinado período (Müller e Vizzotto, 1999). A produção de hortaliças em solo, em ambiente protegido, é um importante desafio para técnicos, pesquisadores e produtores que dispõem de recentes e escassas informações sobre o tema, em condições brasileiras. O sucesso depende da otimização de diversas variáveis, dentre as quais a fertilização da cultura. É difícil utilizar a tecnologia de outros países, onde é comum o uso de substratos, na maioria das vezes inertes e removíveis, ao invés do solo. Neste, é um desafio otimizar a produção e não salinizar as áreas pelas doses, habitualmente elevadas, utilizadas na produção tradicional de hortaliças. No cultivo a céu aberto, a chuva, as perdas e as trocas freqüentes de áreas encarregam-se de dessalinizar o solo (Fontes e Guimarães, 1999).

O primeiro trabalho sobre cultivo protegido apresentado em congresso da Sociedade de Olericultura do Brasil data de 1985. Durante o período de 1985 a 1994, apenas 47 trabalhos sobre plasticultura foram apresentados. Destes, somente um tratou do aspecto nutrição e adubação de plantas, aspecto crítico no cultivo de hortaliças em ambiente protegido (Della Vecchia e Koch, 1999).

Não são freqüentes os estudos relacionando o teor disponível do nutriente no solo e a produtividade de hortaliças. Mais comum são os estudos que relacionam doses e a produtividade, sem considerar o teor do nutriente no solo. A aplicação de fertilizantes com base na disponibilidade dos nutrientes existentes no solo é a forma mais apropriada de evitar acúmulo excessivo de sais, mesmo considerando os problemas inerentes à utilização da análise do

solo, como critério de recomendação de adubação (Fontes e Guimarães, 1999).

Os critérios para a interpretação da análise de solo e recomendação de adubação para cultivos nos moldes tradicionais são disponibilizados em vários estados brasileiros. Mas, trabalhos de calibração das análises de nutrientes do solo e a utilização dos resultados, principalmente em ambiente protegido e irrigação por gotejamento, são escassos. A alternativa é utilizar os critérios existentes para as culturas nos moldes tradicionais, e buscar informações mais concretas sobre os possíveis índices críticos de salinidade no solo. Os resultados da análise do solo podem ser utilizados para o estabelecimento das doses referenciais de calcário, P e K, podendo ser usados com mais restrições, para os micronutrientes. Entretanto, é imperioso que estes valores sejam utilizados apenas como balizadores ou referências (Fontes e Guimarães, 1999).

Em condições protegidas, além da análise de solo tradicional, a utilização da análise da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é prática aconselhável. Quando os teores de sais no solo tornam-se elevados, precisam ser removidos ou lixiviados pela aplicação de água ou pela chuva sobre o solo da estufa descoberta (Fontes e Guimarães, 1999). O uso de cobertura do solo ou *mulching* pode diminuir a salinização, principalmente próximo à superfície, pois reduz a evaporação da água do solo (Carrijo *et al.*, 1999).

A salinização é o acúmulo de cátions (sódio, potássio, magnésio e cálcio) e ânions (nitratos e cloretos) no solo. No cultivo em estufas, pela ausência de chuvas, utilização de adubação mineral elevada e acentuado uso da irrigação por gotejamento, há uma tendência ao acúmulo de sais na parte superficial do solo. Com o uso contínuo da mesma área de solo, a salinização poderá se tornar fitotóxica para a maioria das culturas, reduzindo a produção e favorecendo a ocorrência de pragas e doenças (Müller e Vizzotto, 1999).

Em áreas com problemas de salinidade, o uso de espécies mais tolerantes pode reduzir a condutividade elétrica do solo para valores aceitáveis

por culturas menos tolerantes. Experimento com cevada semeada na densidade de  $20\text{g.m}^{-2}$ , reduziu a condutividade elétrica do solo, após 46 dias, de  $4,77$  para  $1,54 \text{ dS.m}^{-1}$ , na camada de solo de 0-20cm, e de  $4,46$  para  $1,44\text{dS.m}^{-1}$ , na camada de 20-40cm (Gomes, 1996, citado por Rosas, 1997). Entretanto, a tolerância relativa à salinidade do solo varia conforme a cultura: sensíveis - feijão, cenoura, morango; moderadamente sensíveis – alface, pimentão, melão, pepino, tomate; moderadamente tolerantes - beterraba, abobrinha (Rhoades e Miyamoto, 1990, citados por Fontes e Guimarães, 1999).

O ambiente dentro da estufa é precioso, pois é difícil e oneroso mudar a estrutura de local. Em função disso, cuidados devem ser tomados para manter o solo, nesses ambientes, com as melhores características físicas, químicas e biológicas. Portanto, o correto manejo do solo, adubação equilibrada, rotação e consorciação de culturas, adubação orgânica e verde são fundamentais (Müller e Vizzotto, 1999). A rotação e a consorciação de culturas, além de favorecerem um melhor aproveitamento dos nutrientes e água, diminuem a ocorrência de pragas e doenças. A rotação deve ser planejada, escolhendo plantas que sejam companheiras, utilizando aquelas de famílias diferentes, usando leguminosas para repor o nitrogênio do solo. Várias são as opções de culturas para ambientes protegidos, têm-se como principais: o tomate, o melão, o pepino, o pimentão, a abobrinha de moita e o feijão-vagem, além da alface e do morango (Brandão Filho e Callegari, 1999). Recomenda-se, a cada dois anos, realizar uma adubação verde dentro dos abrigos, com a posterior incorporação das plantas ao solo. Esta técnica fornecerá matéria orgânica e nutrientes ao solo, auxiliará na reciclagem dos nutrientes não utilizados nos cultivos anteriores e diminuirá a ocorrência de doenças de solo (Müller e Vizzotto, 1999).

A desinfestação do solo das estufas torna-se necessária sempre que problemas de fitossanidade associados a patógenos radiculares afetem a produtividade das plantas. O uso de produtos químicos, que são de custo elevado e apresentam alto risco para a saúde humana e ecossistema, não é aconselhado, sendo a solarização do solo uma alternativa natural. A

solarização consiste na utilização da energia solar para aquecimento do solo e eliminação de fitopatógenos (fungos, bactérias e nematóides), plantas daninhas e pragas do solo. Com a cobertura do solo úmido com filmes plásticos transparentes, haverá elevação da temperatura do solo em torno de 10°C, que atuará sobre os fitopatógenos e pragas, eliminando-os. Com a elevação da temperatura e a disponibilidade de umidade e de luminosidade, haverá germinação das sementes de plantas daninhas com posterior morte delas sob esta condição de estufa. (Müller e Vizzotto, 1999).

Em cultivos intensivos, como ocorre em ambientes protegidos, as condições físicas do solo geralmente são deficientes, principalmente pela baixa atividade biológica, decorrente da deficiente energia para a ação e crescimento dos microorganismos, isto é, biomassa. Portanto, é fundamental o fornecimento contínuo de biomassa para a recuperação física desses solos. (Müller e Vizzotto, 1999). É pouco provável a obtenção de produtividade máxima de qualquer hortaliça sem a adição de matéria orgânica, principalmente em solos com baixo ou médio teor de matéria orgânica ( $<3\text{dag.kg}^{-1}$ ). Existem alternativas para a substituição dos esterco de animais, dentre as quais o húmus produzido pela minhoca, o composto orgânico de resíduos vegetais e, com restrições à presença de metais pesados, o composto de lixo urbano (Fontes e Guimarães, 1999).

O aproveitamento de cinza na agricultura é interessante, por melhorar a produtividade das culturas e por minimizar o efeito poluente da cinza produzida. Darolt *et al.* (1993), testando a cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura da alface, verificaram aumentos no peso de cabeça, número de folhas e produção total. No solo, houve elevação de pH e redução do Al trocável. Os autores concluem que é viável a utilização de cinza (no caso, com: 1,5% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 7,1% de  $\text{K}_2\text{O}$ ; 23,2% de  $\text{CaO}$ ; 7,1% de  $\text{MgO}$ ; 43,9% PRNT e 74,2% ER) como corretivo e fonte de nutrientes nas dosagens de 10 a 15  $\text{t.ha}^{-1}$ . Em pequenas propriedades, onde é viável a aplicação de cinza, a necessidade de calcário pode ser eliminada. A elevação dos teores de K e P com a aplicação de cinza foi muito significativa, de maneira que

provavelmente todo o K e o P fornecido pela cinza ficaram em forma disponível no solo (Darolt *et al.*, 1993).

Várias técnicas visando garantir a sustentabilidade do sistema de cultivo em estufa plástica, como sucessão de cultivos, dos mais sensíveis aos moderadamente tolerantes à salinidade, cultivos de famílias diferentes, adubação verde, solarização, retirada do plástico para lavagem dos sais reduzindo a salinização, associadas com adubação conforme a análise de solo e confrontando adubos minerais com adubos orgânicos (vermicomposto e cinza de casca de arroz), foram utilizadas nesse trabalho, sendo apresentados os resultados da dinâmica da fertilidade do solo ao longo do período (10 épocas).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram obtidos de trabalhos realizados em uma estufa plástica definida como “Túnel Alto” com 7,8m de largura, 3,9m de altura e 39,4m de comprimento, apresentando área total de 307,32m<sup>2</sup> e volume de 941,30m<sup>3</sup>, localizada no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Capão do Leão, RS, a 31°52’32” de latitude Sul e 52°21’24” de longitude Oeste e altitude de 13m acima do nível do mar. A estrutura composta de arcos de ferro galvanizado apresentava cobertura de filme de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD 0,15mm), aditivado com resina antiultravioleta. A ventilação foi efetuada pelas extremidades, através de portões com abertura total. O eixo longitudinal da estufa estava localizado no sentido norte-sul. O clima, na classificação de Köppen, é definido como Cfa, temperado, inverno frio e úmido, verão quente e chuvas bem distribuídas. A temperatura média anual é de 17,5°C, tendo ocorrido temperaturas máximas e mínimas absolutas de 42,6°C e -5,2°C. Geadas ocorrem de abril a novembro (Berlato, 1983). O solo onde foi instalada a estufa foi classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico (Pinto *et al*, 1999).

Os efeitos das adubações orgânica e mineral foram avaliados em oito tratamentos. A fonte de adubação orgânica foi vermicomposto de minhoca vermelha-da-califórnia (*Eisenia foetida*) obtido a partir de esterco bovino, e cinza de casca de arroz, utilizada em alguns tratamentos para complementar a

adubação potássica a partir da 8ª época. A adubação mineral constou de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. As quantidades de adubos aplicadas foram determinadas seguindo recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995) com base nas análises de solo da 1ª, 3ª, 4ª, 5ª, 7ª, 8ª e 9ª épocas de coleta, retiradas de cada parcela.

Os tratamentos inicialmente avaliados (até a 8ª época) constavam de: a) adubação mineral completa com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), denominado **Mineral**; b) adubação com vermicomposto para suprir o N – **1V(N)**; c) 150% da recomendação anterior de vermicomposto – **1,5V**; d) 100% de “b” mais cobertura com vermicomposto sólido – **1V+cob**; e) 150% de “b” mais cobertura com vermicomposto sólido – **1,5V+cob**; f) 50% de “b” mais cobertura com vermicomposto líquido – **0,5V+VL**; g) 100% de “b” mais cobertura com vermicomposto líquido – **1V+VL**; h) 150% de “b” mais cobertura com vermicomposto líquido – **1,5V+VL**. Após a 8ª época os tratamentos “a” e “b” foram mantidos e os demais alterados: a) adubação mineral completa com nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) conforme recomendação da ROLAS, denominado **Mineral**; b) adubação com vermicomposto para suprir o N – **1V(N)**; c) adubação com cinza de casca de arroz para suprir o K – **1C(K)**; d) adubação com vermicomposto para suprir 50% do N e cinza de casca de arroz para suprir o K – **1/2V+ 1C**; e) adubação com vermicomposto para suprir o N e cinza de casca de arroz para suprir o K – **1V+ 1C**; f) adubação com vermicomposto para suprir o N e cinza de casca de arroz para suprir 50% do K – **1V+ 1/2C**; g) Testemunha sem adubação – **Test**; h) adubação com vermicomposto para suprir 50% do N e cinza de casca de arroz para suprir 50% do K – **1/2V+ 1/2C**.

As culturas de alface (*Lactuca sativa*), aveia (*Avena sativa*), feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*) e melão (*Cucumis melo*) foram utilizadas em seqüência de cultivos em estufa plástica. Amostras de solos foram coletadas e analisadas no Laboratório de Análises do Departamento de Solos da FAEM, consistindo nos dados utilizados na avaliação da fertilidade do solo. Um total de 240 análises, coletadas entre março de 1997 e maio de 2000 foram avaliadas constando de

10 épocas de coleta (Tabela 1). O delineamento experimental utilizado foi Blocos Casualizados com oito tratamentos e três repetições, em parcelas de 6,0m de comprimento por 1,0m de largura com 24 plantas. Os teores de matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram utilizados para avaliar a dinâmica da fertilidade do solo após seqüência de cultivos. O solo da estufa foi solarizado em duas épocas; sendo coletadas amostras de solo antes (11/03/97) e após a primeira solarização (12/05/97) e antes (15/01/99) e após a segunda solarização (24/02/99).

TABELA 1 - Data de coleta de amostra de solo e cultura utilizada em sucessão em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS

<b>Sucessão de cultivos em estufa plástica</b>		
<b>Data</b>	<b>Época de coleta</b>	<b>Situação</b>
11/03/1997	1	Antes do feijão-vagem
12/05/1997	2	Após solarização
15/10/1997	3	Após aveia
20/03/1998	4	Após feijão-vagem
28/08/1998	5	Após alface
15/01/1999	6	Após alface
24/02/1999	7	Após solarização
23/09/1999	8	Após feijão-vagem
04/01/2000	9	Após melão
18/05/2000	10	Após melão

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise física para determinar o teor de argila, em porcentagem, apresentou valores médios de 12,7; 10,2; 11,8; 11,2; 11,5; 11,2; 15,9; 14,9; 14,5 e 11,8% para as 10 épocas de coleta com média final de 12,6% (m/v) de argila, caracterizando o solo na estufa como de Classe 4. A determinação da classe do solo é necessária para a interpretação dos resultados do fósforo “extraível” de acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo (1995). Valores de teores de fósforo superiores a  $24 \text{ mg.L}^{-1}$  são considerados altos para solos de classe 4. Os teores de alumínio foram nulos em praticamente todas as análises efetuadas, apenas 17 parcelas apresentaram valores de  $0,1 \text{ cmol}_c.\text{L}^{-1}$  e as demais 223 parcelas não apresentaram alumínio trocável ( $0,0 \text{ cmol}_c.\text{L}^{-1}$ ).

### **Matéria orgânica**

O teor de matéria orgânica avalia, indiretamente, a disponibilidade de nitrogênio no solo (Comissão de Fertilidade do Solo, 1995). Os teores médios de matéria orgânica do solo, nas dez épocas de coleta, variaram entre 2,31% (1ª época) e 1,23% (3ª época) e são considerados baixos (Tabela 2). A recomendação de adubação nitrogenada foi sempre de  $100 \text{ kg de N.ha}^{-1}$  para todos tratamentos e todas as culturas (feijão-vagem, alface e melão).

TABELA 2 - Teores médios de matéria orgânica (% - m.v<sup>-1</sup>) no solo após adubação mineral e orgânica em dez épocas de coleta (11/03/1997 a 18/05/2000), em estufa plástica. UFPel, Capão do Leão, RS

Trats	Teores de matéria orgânica (%)									
	Épocas de coleta									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	03/97	05/97	10/97	03/98	08/98	01/99	02/99	09/99	01/00	05/00
Mineral	2,43	1,98	1,16	1,61	1,71	1,29	1,90	1,61	1,54 b	1,47 b
1V(N)	2,34	1,91	1,27	1,83	1,71	1,34	1,98	2,15	2,13 ab	1,80ab
1,5V 1C(K)	2,25	1,63	1,07	1,80	1,71	1,39	1,92	1,94	2,14 ab	2,24 a
1V+cob <sup>1</sup> / <sub>2</sub> V+1C	2,34	1,81	1,37	1,83	1,88	1,40	1,96	1,99	2,02 ab	2,37 a
1,5V+cob 1V+1C	2,21	1,63	1,11	1,79	1,79	1,40	2,36	1,98	2,23 a	2,46 a
0,5V+VL 1V+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> C	2,26	1,66	1,13	1,56	1,70	1,36	1,96	1,83	1,80 ab	1,91ab
1V+VL Test	2,32	1,98	1,30	1,82	1,94	1,39	2,08	1,66	1,66 ab	1,70ab
1,5V+VL <sup>1</sup> / <sub>2</sub> V+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> C	2,37	1,68	1,43	1,66	1,90	1,32	1,82	1,94	1,94 ab	1,94ab
Média	2,31	1,79	1,23	1,74	1,79	1,36	2,00	1,89	1,93	1,98
CV <sub>trans</sub> (%)	4,60	6,77	6,48	4,40	5,18	8,30	5,24	7,50	6,12	6,76
Fcalc	ns <sup>1</sup>	ns	* <sup>2</sup>	** <sup>3</sup>						

<sup>1</sup>/ ns: diferenças entre tratamentos não são significativas ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>2</sup>/ \*: diferença significativa entre tratamentos. <sup>3</sup>/ \*\*: diferença altamente significativa entre tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (dentro da mesma época).

A análise estatística dos dados dos teores de matéria orgânica foi realizada através da análise da variância. Não foi observada diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre tratamentos até a 8<sup>a</sup> época. Com a mudança nos tratamentos a análise da variância apresentou diferença significativa na 9<sup>a</sup> época e diferença altamente significativa na 10<sup>a</sup> época.

(Tabela 2). A falta de resposta, até a 8ª época, para os diferentes tipos e doses de fertilizantes nos teores de matéria orgânica no solo pode ter sido causada pelo manejo adotado. Os restos das culturas após as colheitas não foram incorporados ao solo, mas retirados da estufa para garantir a rapidez de implantação da cultura seguinte e para diminuir a quantidade de inóculo de patógenos incorporados ao solo. A matéria orgânica incorporada ao sistema restringia-se, assim, a massa de raízes produzidas sendo insuficiente para a elevação dos teores.

### **Fósforo**

Os valores observados para o teor de fósforo, nas dez épocas, sempre estiveram acima de  $24 \text{ mg.L}^{-1}$ , limite a partir do qual os teores de fósforo “extraível” do solo são considerados altos, sendo normalmente maiores que  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ . Apenas na 3ª época (15/10/1997) foram detectados valores menores que  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  em 12 das 24 parcelas, mas ainda considerados altos, com mínimo de  $31,8 \text{ mg.L}^{-1}$ , mais duas parcelas com valores menores que 40, nove parcelas entre 40 e 50, e as doze restantes com valores superiores a  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ , e média estimada como  $>46,7 \text{ mg.L}^{-1}$ . Todos os tratamentos foram eficientes no fornecimento de fósforo para os diversos cultivos efetuados no interior da estufa, independentemente dos tipos e doses de fertilizantes. As recomendações de adubação fosfatada para todos os tratamentos foram de  $10 \text{ kg de P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$  para o cultivo de feijão-vagem (após 1ª, 3ª e 7ª épocas),  $40 \text{ kg de P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$  para alface (após 4ª e 5ª épocas) e  $80 \text{ kg de P}_2\text{O}_5.\text{ha}^{-1}$  (após 8ª e 9ª épocas) para a produção de melão.

As análises para fósforo na 7ª, 9ª e 10ª épocas, realizadas com a diluição das amostras para discriminação de valores superiores a  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  permitiram a análise estatística dos dados. A análise da variância não apresentou diferença significativa na 7ª época (Tabela 3), entretanto, o teor médio de P “extraível” de  $130,5 \text{ mg.L}^{-1}$  foi bastante superior ao limite de  $24 \text{ mg.L}^{-1}$  indicado como alto pela Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), demonstrando

o acúmulo do elemento no solo da estufa. As retiradas de fósforo do sistema, através das colheitas e dos restos das culturas, estavam sendo menores que o fósforo fornecido pela adubação mineral ou orgânica.

Os tratamentos apresentaram diferença significativa pela análise da variância na 9ª época, entretanto, as médias dos tratamentos que variaram entre 218,2 mg.L<sup>-1</sup> [1V(N)] e 174,2 mg.L<sup>-1</sup> (Testemunha), não foram consideradas diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O teor médio de fósforo “extraível” de 195,6 mg.L<sup>-1</sup> na 9ª época (24/02/1999) foi superior ao teor médio da 7ª época, demonstrando o acúmulo do elemento no solo da estufa (Tabela 3).

A análise dos teores de fósforo da 10ª época apresentou diferenças altamente significativas entre tratamentos. 1V+1C (214,0 mg.L<sup>-1</sup>) diferiu do tratamento Mineral (153,0 mg.L<sup>-1</sup>) e da Testemunha (148,8 mg.L<sup>-1</sup>) não diferindo dos demais tratamentos. Também pode ser observado na Tabela 3 que apenas o tratamento 1V+1C aumentou os teores de fósforo em relação à época anterior, indicando que para os demais tratamentos as retiradas foram maiores que o fósforo fornecido pela adubação.

### **Potássio**

A análise estatística dos teores de potássio foi realizada através da análise da variância. Foram observadas diferenças significativas, ao nível de 5% (4ª e 7ª épocas) e 1% (5ª, 8ª, 9ª, e 10ª épocas) de probabilidade, entre os oito tratamentos, conforme pode ser observado na Tabela 4. Nas épocas 1ª, 2ª, 3ª e 6ª não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos. Os teores médios de potássio (mg.L<sup>-1</sup>) interpretados conforme recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), apresentaram redução com a seqüência de cultivos ao longo das épocas estudadas, com tendência de reversão nas últimas épocas avaliadas (Figura 1).

TABELA 3 - Teores médios de fósforo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) no solo após adubação mineral e orgânica, em dez épocas de coleta (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS

Teores de fósforo ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) "extraível" do solo										
Trats	Épocas de coleta									
	1	2	3 <sup>1</sup>	4	5	6	7	8	9	10
	03/97	05/97	10/97	03/98	08/98	01/99	02/99	09/99	01/00	05/00
Mineral	>50	>50	>45,1	>50	>50	>50	113,8	>50	179,0a	153,0 bc
1V(N)	>50	>50	>>44,5	>50	>50	>50	148,3	>50	218,2a	169,5 abc
1,5V 1C(K)	>50	>50	>>49,6	>50	>50	>50	141,5	>50	208,3a	205,2 ab
1V+cob <sup>1</sup> / <sub>2</sub> V+1C	>50	>50	>>>50	>50	>50	>50	119,2	>50	198,3a	187,7 abc
1,5V+cob 1V+1C	>50	>50	>43,2	>50	>50	>50	151,5	>50	209,0a	214,0 a
0,5V+VL 1V+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> C	>50	>50	>47,8	>50	>50	>50	126,2	>50	197,8a	196,5 abc
1V+VL Test	>50	>50	>>48,5	>50	>50	>50	134,2	>50	174,2a	148,8 c
1,5V+VL <sup>1</sup> / <sub>2</sub> V+ <sup>1</sup> / <sub>2</sub> C	>50	>50	44,9	>50	>50	>50	109,2	>50	179,3a	162,8 abc
Média	>50	>50	>46,7	>50	>50	>50	130,5	>50	195,6	179,7
CV <sub>trans</sub> (%)	-	-	-	-	-	-	8,11	-	4,38	4,46
F <sub>calc</sub>	-	-	-	-	-	-	ns <sup>2</sup>	-	* <sup>3</sup>	** <sup>4</sup>

<sup>1</sup>/ cada sinal ">" na 3ª época indica o número de parcelas com  $P > 50 \text{ mg.L}^{-1}$ .

<sup>2</sup>/ ns: diferenças entre tratamentos (dentro de épocas) não são significativas ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>3</sup>/ \*: diferença significativa entre tratamentos.

<sup>4</sup>/ \*\*: diferença altamente significativa entre tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (dentro da mesma época).

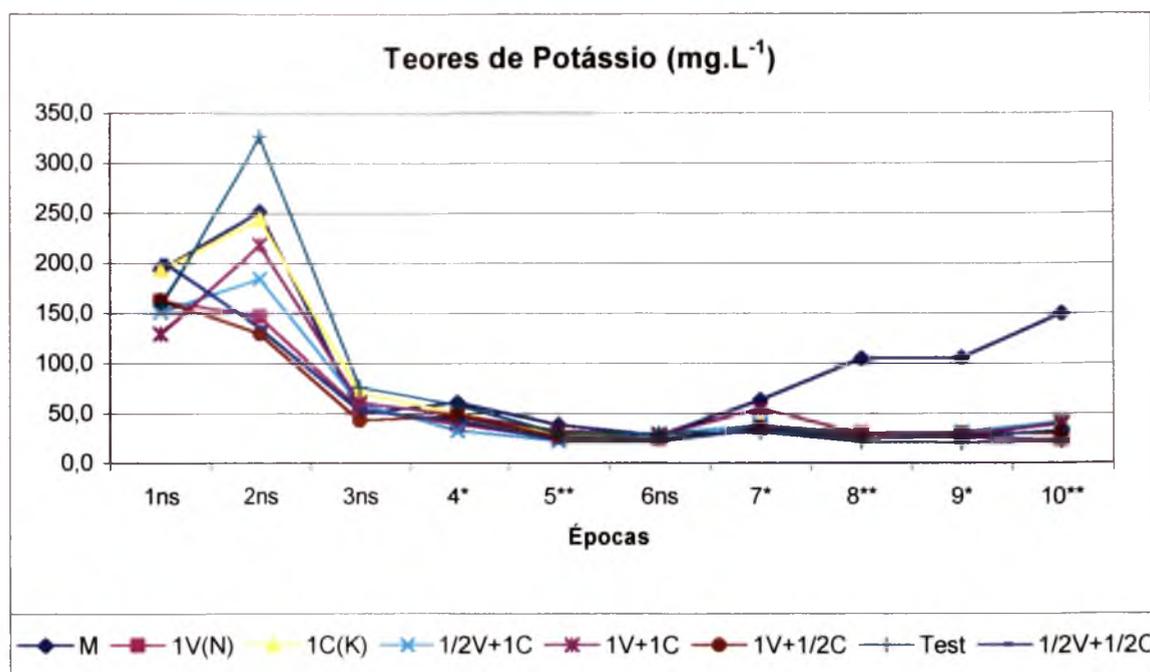


FIGURA 1 - Teores médios de K (mg.L<sup>-1</sup>) no solo após adubação mineral e orgânica, em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

Os teores médios de potássio na 1<sup>a</sup> época (169,2 mg.L<sup>-1</sup>) e na 2<sup>a</sup> época (204,6 mg.L<sup>-1</sup>) foram considerados altos segundo interpretação da Comissão de Fertilidade do Solo (1995). Os valores apresentaram reduções com o passar das épocas, cultivos e manejo adotado, com valores de 58,5 (Baixo) na 3<sup>a</sup> época, e 47,4 mg.L<sup>-1</sup> (Baixo) na 4<sup>a</sup> época. A 5<sup>a</sup> época e 6<sup>a</sup> época confirmaram nova queda nos teores de potássio com 28,2 e 26,9 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo ambos classificados como Muito Baixo. Na 7<sup>a</sup> época o teor médio de potássio sofreu uma elevação passando para a classificação Baixo, com 41,5 mg.L<sup>-1</sup>. Na 8<sup>a</sup> época ocorreu nova redução do teor médio de potássio com 37,8 mg.L<sup>-1</sup> (Muito Baixo). Na 9<sup>a</sup> época, primeira análise após a alteração de alguns tratamentos, o teor médio de potássio praticamente não mudou ficando em 37,3 mg.L<sup>-1</sup> (Muito Baixo), mas o efeito das alterações pode ser sentido na 10<sup>a</sup> época quando o teor médio aumentou para 47,8 mg.L<sup>-1</sup> (Baixo), conforme pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 4 - Teores médios de potássio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) no solo após adubação mineral e orgânica, em dez épocas de coleta (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS

Teores de potássio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) "extraível" do solo										
Trats	Épocas de coleta									
	1 03/97	2 05/97	3 10/97	4 03/98	5 08/98	6 01/99	7 02/99	8 09/99	9 01/00	10 05/00
Mineral	193,7	251,7	50,0	60,7 a	38,7 a	28,3	63,3 a	105,3 a	106,0 a	149,7 a
1V(N)	162,3	146,7	54,3	39,3 abc	24,7 b	24,0	35,3 a	31,0 b	26,0 b	23,3 b
1,5V 1C(K)	193,3	244,0	70,7	50,3 abc	28,3 ab	29,3	38,3 a	31,7 b	29,7 b	42,3 b
1V+cob $\frac{1}{2}$ V+1C	151,0	184,3	59,7	32,7 c	21,7 b	29,3	38,7 a	30,3 b	31,7 b	41,7 b
1,5V+cob 1V+1C	129,7	218,7	61,0	48,0 abc	32,7 ab	29,0	54,7 a	30,0 b	28,3 b	40,0 b
0,5V+VL 1V+ $\frac{1}{2}$ C	163,0	129,3	43,0	47,3 abc	26,0 b	23,7	36,0 a	28,7 b	30,0 b	30,3 b
1V+VL Test	158,0	327,0	76,3	58,3 ab	30,3 ab	30,0	31,7 a	21,0 b	19,7 b	22,0 b
1,5V+VL $\frac{1}{2}$ V+ $\frac{1}{2}$ C	202,3	135,0	52,7	42,7 abc	23,3 b	21,7	34,0 a	24,7 b	26,7 b	33,0 b
Média	169,2	204,6	58,5	47,4	28,2	26,9	41,5	37,8	37,3	47,8
CV <sub>trans</sub> (%)	13,54	23,36	12,66	9,71	6,76	8,79	12,70	19,28	21,12	13,74
Fcalc	ns <sup>1</sup>	ns	ns	<sup>2</sup>	<sup>3</sup>	ns	*	**	**	**

<sup>1</sup>/ ns: diferenças entre tratamentos não são significativas ao nível de 5% de probabilidade. <sup>2</sup>/ \*: diferenças significativas entre tratamentos. <sup>3</sup>/ \*\*: diferenças altamente significativas entre tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (dentro da mesma época).

O tratamento de adubação mineral ( $60,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ) apresentou diferença significativa do tratamento 1V+cob ( $32,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ) nos teores de potássio do solo na 4<sup>a</sup> época, mas, não diferiu dos demais tratamentos. A comparação de médias foi efetuada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na 5<sup>a</sup> época ocorreu redução nos teores médios de potássio do solo, mas também ocorreu redução no coeficiente de variação dos dados transformados (Tabela 4),

indicando maior homogeneidade da área experimental. Novamente o tratamento Mineral apresentou o maior teor médio de potássio com  $38,7 \text{ mg.L}^{-1}$  diferindo dos tratamentos 0,5V+VL ( $26,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ); 1V(N) ( $24,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ); 1,5V+VL ( $23,3 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e 1V+cob ( $21,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ). A 6ª época, com o menor teor médio de potássio no solo de  $26,9 \text{ mg.L}^{-1}$ , não apresentou diferença significativa entre tratamentos.

Apesar de apresentar diferença significativa entre tratamentos pela análise da variância, a 7ª época não discrimina os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com teores de K entre  $63,3 \text{ mg.L}^{-1}$  (Mineral) e  $31,7 \text{ mg.L}^{-1}$  (1V+VL). Pode-se inferir que tal fato foi causado pelo aumento do coeficiente de variação (Tabela 4), provavelmente, em consequência da solarização do solo da estufa no período anterior a retirada das análises.

As solarizações, realizadas entre a 1ª e a 2ª épocas e entre a 6ª e a 7ª épocas, provocaram aumentos no teor médio de K do solo. Após a primeira solarização cinco tratamentos (Mineral; 1,5V; 1V+cob; 1,5V+cob; 1V+VL) apresentaram aumento nos teores médios de K e três (1V-N; 0,5V+VL; 1,5V+VL) apresentaram redução, como pode ser observado na Tabela 4 e na Figura 3. Mas, a 1ª solarização foi efetuada após o cultivo de feijão-vagem e pode ter ocorrido que tratamentos com menos potássio ou com maior liberação possam ter transferido nutrientes para a cultura não evidenciando o aumento nos teores de potássio após a solarização.

A segunda solarização foi realizada isolada, sem cultivo (e sem adubação) entre a 6ª e a 7ª épocas, podendo as diferenças observadas nas análises serem creditadas ao efeito da técnica. Todos os tratamentos apresentaram aumento nos teores médios de potássio após a solarização, mas a técnica também aumentou o coeficiente de variação, o que indica variabilidade nas respostas (Tabela 4).

Análises de solo realizadas na 8ª época após o cultivo de feijão-vagem (e após a solarização) ainda apresentavam sete tratamentos com teores médios de potássio superiores aos da 6ª época (antes da solarização). Essa avaliação

segue a mesma tendência da primeira solarização com análise após feijão-vagem + solarização (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> épocas) e agora análise após solarização + feijão-vagem (6<sup>a</sup> - 8<sup>a</sup> épocas).

A recomendação de adubação para o primeiro período de cultivo de feijão-vagem foi de 40 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para todos os tratamentos, pois apresentavam teores altos de potássio. Para o segundo período de cultivo de feijão-vagem (após 3<sup>a</sup> época) a quantidade recomendada variou entre 60 ou 70 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para tratamentos com teores Médio ou Baixo, respectivamente. A recomendação de adubação para o primeiro período de cultivo de alface (após 4<sup>a</sup> época) variou de 160 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para tratamentos com teor Baixo (M; 1,5V; 1,5V+cob; 0,5V+VL; 1V+VL; 1,5V+VL) a 200 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para tratamentos com teor Muito Baixo (1V; 1V+cob). Para o segundo período de cultivo de alface (após 5<sup>a</sup> época) a recomendação foi 200 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para todos os tratamentos que apresentavam teores Muito Baixo de potássio (Tabela 4). Na 6<sup>a</sup> época todos os tratamentos apresentaram teores muito baixos, não diferindo entre si, o que mostra que mesmo o tratamento Mineral que recebeu todo o potássio recomendado, bem como os tratamentos orgânicos (baseados no N) que receberam parte dessa alta dose não receberam quantidades suficientes para repor a retirada do elemento pelas culturas. A adubação recomendada para o terceiro período de cultivo de feijão-vagem (após 7<sup>a</sup> época) foi de 60 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para o tratamento Mineral (teor Médio de K), 70 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para o tratamento 1,5V+cob, e 90 kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  para os demais tratamentos. Após a colheita do terceiro cultivo de feijão-vagem, na 8<sup>a</sup> época, apenas o tratamento Mineral (105,3 mg.L<sup>-1</sup>) apresentou aumento do teor de potássio, com diferença significativa em relação aos demais tratamentos (orgânicos) que não diferiram entre si, o que pode ter ocorrido devido a efeito retardado da solarização e também pela diferença entre a adubação mineral (NPK) e a adubação orgânica (baseada no N) que não estaria repondo o K extraído pela cultura.

Após a 8<sup>a</sup> época a estratégia de adubação foi modificada. A adubação orgânica, vermicomposto de minhoca, foi complementada por cinza de casca de arroz em alguns tratamentos. A recomendação de adubação da Comissão

de Fertilidade do Solo RS/SC (1995) para o primeiro período de cultivo de melão foi 100-80-230 kg.ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (Comissão de Fertilidade do Solo, 1994) para os tratamentos orgânicos (teor Muito Baixo de K) e 100-80-120 kg.ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para o tratamento Mineral (teor Suficiente de K). Entretanto, seguindo sugestão de Hoppe *et al.* (2000) de aumentar o potássio, a dose de 230 kg.ha<sup>-1</sup> foi utilizada para o tratamento Mineral também. Após a colheita (9ª época) os teores de potássio apresentaram leve redução em quatro tratamentos e leve aumento nos outros quatro, entre eles o Mineral (com quase o dobro da dose recomendada), e o teor médio geral de K passando de 37,8 para 37,3 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 4).

Como a fertilidade do solo entre a 8ª e a 9ª épocas não apresentou modificação em relação aos critérios de recomendação de adubação, todo o procedimento anterior foi repetido para o segundo período de cultivo do melão. A produtividade de melão (kg.m<sup>-2</sup>) não apresentou diferença significativa ao nível de 5% entre os tratamentos. O tratamento adubação orgânica completa produziu 3,978 kg.m<sup>-2</sup>, a adubação mineral produziu 3,060 kg.m<sup>-2</sup>, e a Testemunha, sem adubação 2,309 kg.m<sup>-2</sup>, sendo a produtividade média de 3,117 kg.m<sup>-2</sup> (Tabela 5).

O tratamento Mineral apresentou forte ataque de pulgões que, pela condição da estufa (proximidade dos tratamentos), acabou se espalhando para outras parcelas exigindo controle fitossanitário. A presença de focos iniciais de pulgões nas parcelas com adubação mineral pode indicar algum desequilíbrio, já que, segundo a Teoria da Trofobiose (Chaboussou, 1987), a saúde das plantas está intimamente ligada à saúde de seu habitat, e se este lhe permite uma alimentação equilibrada, fonte de resistência aos fatores adversos, não ocorrerá a instalação de pragas, desenvolvimento de doenças e manifestações de viroses. Analisando a Tabela 5, pode ser verificado que o teor de matéria orgânica (1,54%) do tratamento Mineral é o menor de todos, e deve estar comprometendo a produtividade, pois o potássio está **Suficiente** e o fósforo **Alto** conforme interpretação realizada seguindo o manual da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995).

TABELA 5 – Produtividade de melão ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) e dados médios de matéria orgânica (M.O. - %), fósforo (P -  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e potássio (K -  $\text{mg.L}^{-1}$ ) no solo na 9ª época da sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS

Produtividade de melão e fertilidade do solo				
Tratamento	$\text{kg.m}^{-2}$	M.O (%)	P ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	K ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
1V+1C	3,978	2,23 a	209,0 a	28,3 b
$\frac{1}{2}$ V+1C	3,449	2,02 ab	198,3 a	31,7 b
1V+ $\frac{1}{2}$ C	3,296	1,80 ab	197,8 a	30,0 b
1C(K)	3,217	2,14 ab	208,3 a	29,7 b
Mineral	3,060	1,54 b	179,0 a	106,0 a
$\frac{1}{2}$ V+ $\frac{1}{2}$ C	2,909	1,94 ab	179,3 a	26,7 b
1V(N)	2,715	2,13 ab	218,2 a	26,0 b
Test	2,309	1,66 ab	174,2 a	19,7 b
Média	3,117	1,89	195,6	37,3
CVtrans(%)		6,12	4,38	21,12
Fcalc	ns	*	*	**

Na 10ª época, final de coleta, o tratamento Mineral ( $149,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ), Tabela 4, apresentou aumento do teor de potássio em relação à época anterior, mas isto ocorreu em função da dose utilizada (quase o dobro da recomendação) e da baixa produtividade (Tabela 5) que não forçou a retirada do nutriente, com diferença altamente significativa em relação aos demais tratamentos que não diferiram entre si (Tabela 4). Os tratamentos que tiveram o potássio complementado pela cinza de casca de arroz apresentaram aumento no teor de potássio, indicando a viabilidade da técnica, enquanto o tratamento apenas com vermicomposto apresentou redução.

### Cálcio e Magnésio

Os resultados dos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentados em centímol de carga por litro de solo ( $\text{cmol}_c.\text{L}^{-1}$ ) e interpretados conforme recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), indicam

teores médios Altos em todas as dez épocas de coleta estudadas. Os teores médios de cálcio variaram entre  $6,09 \text{ cmol}_c.\text{L}^{-1}$  (4ª época) e  $4,31 \text{ cmol}_c.\text{L}^{-1}$  (3ª época), e os teores médios de magnésio estiveram entre  $2,13 \text{ cmol}_c.\text{L}^{-1}$  (2ª época) e  $1,26 \text{ cmol}_c.\text{L}^{-1}$  (3ª época) e são considerados altos segundo interpretação da ROLAS (Comissão de Fertilidade do Solo, 1994). Na Figura 2 podem ser visualizados os valores em cada época, para cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) em  $\text{cmol}_c.\text{L}^{-1}$ . O cálcio apresentou flutuações em função da época, cultivo e manejo adotado. O magnésio segue a curva de tendência do potássio apresentando elevação dos teores médios com a solarização do solo da estufa, realizada em dois momentos, entre a 1ª e a 2ª épocas e entre a 6ª e a 7ª épocas.

### **Relação Ca:K, Mg:K e Ca:Mg**

O equilíbrio entre os elementos é de grande importância quando o objetivo é aumentar a produtividade dos cultivos, em conjunto com os teores absolutos dos nutrientes no solo. As relações entre Ca e K, Mg e K, e Ca e Mg foram calculadas para cada parcela nas dez épocas avaliadas. A relação entre bases considerada adequada por Pioneer (1994) indica valores entre 3 a 5 para Ca:Mg; 13 a 17 para a relação Ca:K e valores de 2 a 4 para Mg:K. A relação Ca:K apresentou na 1ª época (14,15) e na 2ª época (13,94) valores adequados, mas, a partir da 3ª época começou a demonstrar valores inadequados, atingindo 74,55 para a relação Ca:K na 5ª época, demonstrando o alto consumo de potássio no sistema de cultivo em estufa.

A relação Mg:K sempre esteve acima do adequado, indicando os altos teores de magnésio na fase inicial quando o potássio também apresentava teores altos no solo (1ª e 2ª épocas) e confirmando a redução do potássio nas épocas seguintes. A relação Ca:Mg manteve-se com valores adequados em todas as épocas (entre 3,36 e 4,07), com exceção da 2ª época onde a relação se reduziu para 2,28 provavelmente causada pela maior disponibilidade do magnésio após a solarização.

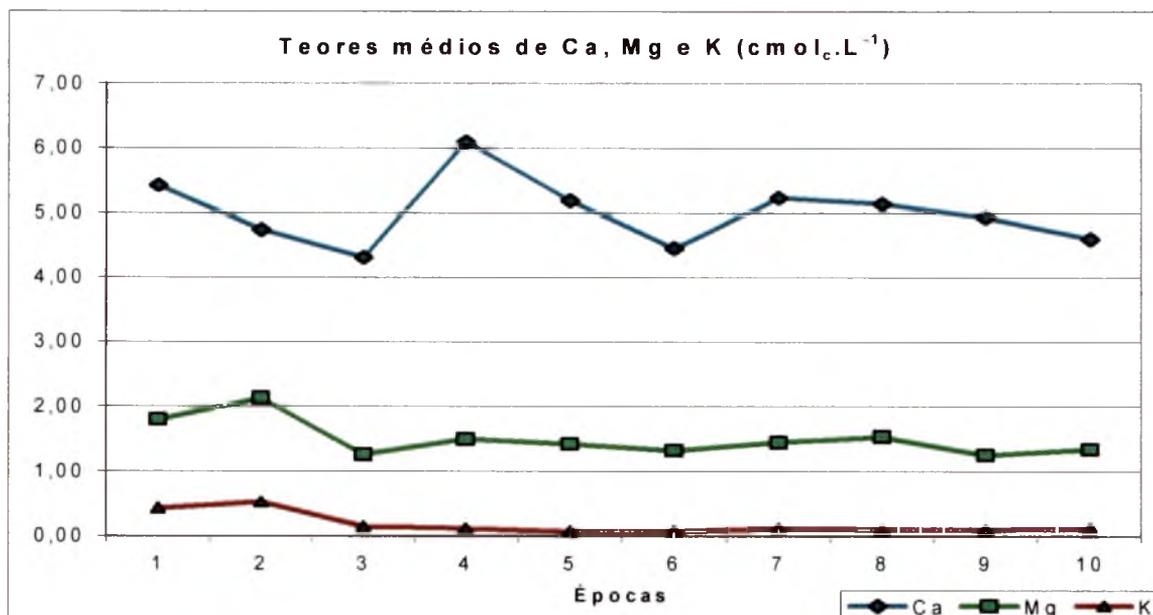


FIGURA 2 - Teores médios de Ca, Mg e K (cmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>) no solo, após adubação mineral e orgânica em dez épocas (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

As tendências para as relações Ca:K, Mg:K e Ca:Mg podem ser visualizadas na Figura 3. Como a última relação permaneceu relativamente constante, pode-se concluir que a redução nos teores de potássio no solo afetou as outras relações. A queda observada nos valores das relações Ca:K e Mg:K na 7<sup>a</sup> época, após solarização, está relacionada ao aumento da disponibilidade de potássio causado pela prática.

### Considerações finais

A solarização do solo é uma técnica natural para controlar as pragas e enfermidades transmitidas pelo solo (*Fusarium*, *Verticillium*, *Sclerotinium*, nematóides, ácaros e fungos), consistindo em cobrir o solo úmido, com um plástico fino transparente, durante os meses de verão (ao menos um mês).

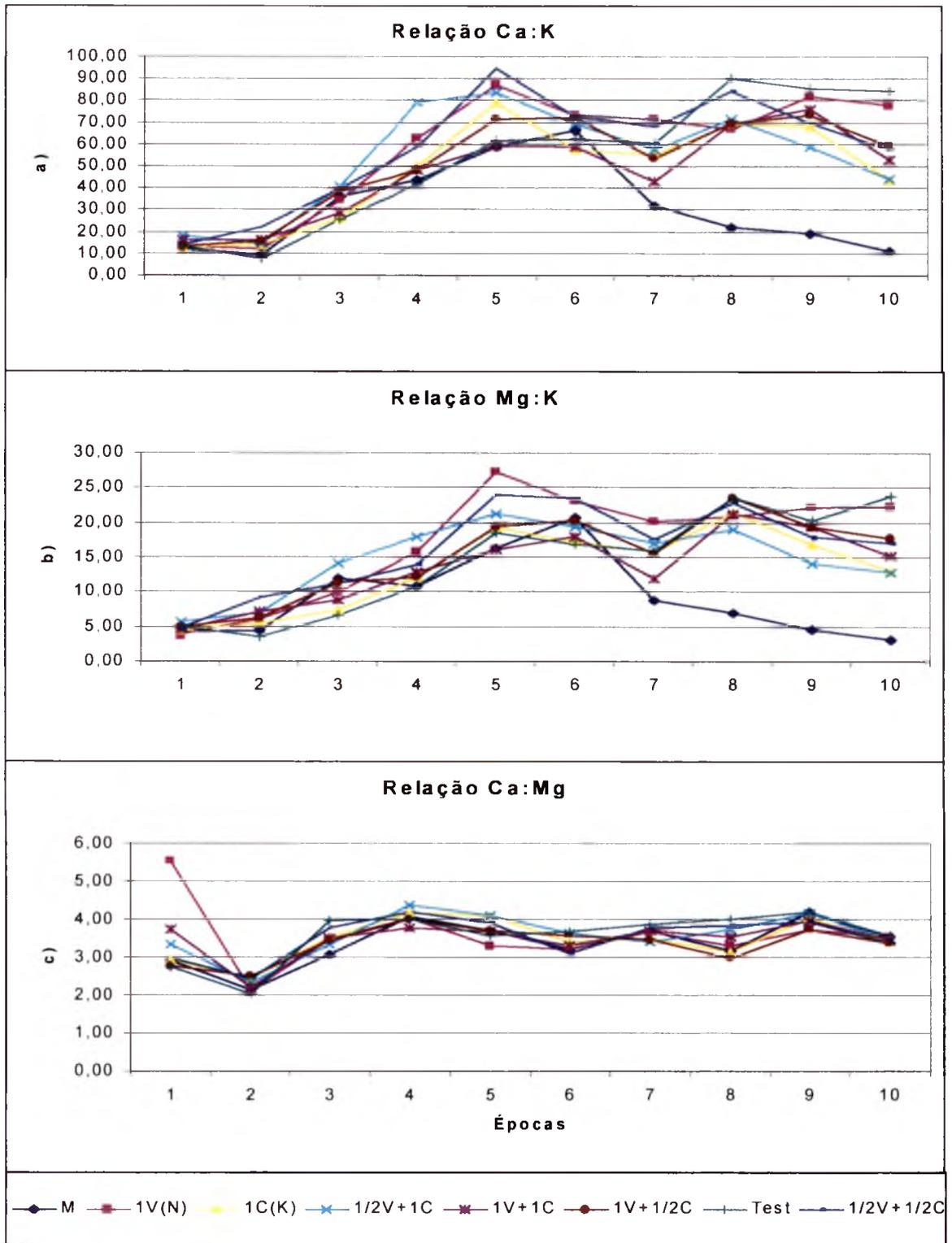


FIGURA 3 - Relação entre os teores médios de cálcio e potássio (Ca:K), magnésio e potássio (Mg:K) e cálcio e magnésio (Ca:Mg) no solo, após adubação mineral e orgânica, em dez épocas de coleta (11/03/1997 a 18/05/2000), e sucessão de cultivos em estufa plástica tipo Túnel Alto. UFPel, Capão do Leão, RS.

Como consequência ocorre uma elevação da temperatura do solo, em uns 10 graus, que modifica o equilíbrio em favor dos microorganismos saprófitas que acabam com os patógenos (Müller e Vizzotto, 1999).

Os microorganismos do solo podem atuar em dois sentidos: de um lado solubilizam o K através da mineralização da matéria orgânica; por outro lado podem provocar uma fixação biológica ao incorporar o elemento em suas células (Malavolta, 1976). Portanto, o aumento da disponibilidade de potássio verificado após as duas solarizações (2<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> épocas) poderia ser explicado pela liberação de potássio dos microorganismos mortos em virtude da técnica. Tal fato ganha importância se considerarmos que cinzas de bactérias de solo apresentam de 4 a 25% de potássio, enquanto que cinzas de fungos contêm de 9 a 40% de K, conforme Chaminade, 1955, citado por Malavolta (1976).

O potássio é, depois do nitrogênio, o elemento mais exigido pela maioria das plantas. Teores de K menores que  $0,10 \text{ cmol}_c.L^{-1}$  causam limitações na colheita e o aparecimento de sintomas de deficiência (Malavolta, 1976). No presente estudo os teores médios de K estavam acima de  $0,40 \text{ cmol}_c.L^{-1}$  no início da avaliação (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> épocas) e atingiram valores inferiores a  $0,10 \text{ cmol}_c.L^{-1}$ , considerado crítico, atingindo inclusive  $0,07 \text{ cmol}_c.L^{-1}$  na 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> épocas. Tal fato confirma que a adubação orgânica com vermicomposto calculada para suprir o N (mais de 150% em alguns tratamentos) não foi suficiente para repor o K extraído pelos cultivos.

A absorção do K depende da sua concentração e, de modo indireto da concentração do Ca e do Mg. Uma baixa relação  $(K)/(Ca+Mg)^{-0,5}$  no meio deve determinar menor absorção de K; disso resultaria um abaixamento no teor de K na matéria seca, subindo o conteúdo dos dois outros elementos (Malavolta e Crocomo, 1982). Dados não publicados de Schiedeck e Hoppe (1999, comunicação verbal) indicam altíssimos teores de Ca e Mg em folhas de melão cultivado na estufa plástica após a 8<sup>a</sup> época. Tal fato pode ser explicado porque modificações nos teores de K, Mg e Ca no solo afetam a absorção desses nutrientes pelas plantas devido à competição pelos mesmos sítios de absorção, principalmente de K e Mg (Silva e Ritchey, 1982).

Interações significativas do Ca com o K podem ocorrer quando um solo é deficiente em um ou em ambos os nutrientes. Ao mesmo tempo, podem ser previstos problemas de balanceamento de nutrientes quando se aplica calcário em solos pobres em K. Utilizando níveis críticos aceitáveis, Usherwood (1982) indica que uma relação (Ca+Mg):K de 13,3 é necessária. Nakagawa (2000), citando trabalho de Buli et al., 199-, indica uma relação (Ca+Mg):K igual a 20. Malavolta (1976) cita que o crescimento ótimo da alfafa em solos de Nova Jersey (EUA) foi obtido quando as relações Ca:Mg e Ca:K eram 6,5 e 13, respectivamente. Relações Ca:K semelhantes, no presente trabalho, apareciam na 1ª época (14,15) e na 2ª época (13,94), mas foram aumentando até atingir um valor médio de 74,55 na 5ª época. As relações Ca:Mg sempre foram menores com valores médios entre 2,28 (2ª época) e 4,07 (4ª época), indicando maiores teores de Mg. As altas relações Ca:K e Mg:K apenas confirmam a maior perda de K pelo sistema de cultivo em estufa.

Na maioria das culturas as quantidades exportadas como produto colhido obedecem à seguinte ordem:  $N \geq K \gg P$ . Mas, em muitos casos, como nos cereais, as quantidades de K nos restos de cultura são em geral maiores ou muito maiores que as colhidas nos grãos. O feijoeiro, para uma colheita de 3 t.ha<sup>-1</sup>, apresenta como exigência mineral total (para formação de vagens e ramos) 102 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 9 kg.ha<sup>-1</sup> de P e 93 kg.ha<sup>-1</sup> de K. A alface, na densidade de 95.000 plantas.ha<sup>-1</sup>, necessita de 24; 5 e 51 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para N, P e K. As necessidades do tomateiro com colheita de 41 t.ha<sup>-1</sup> para planta completa (frutos, raízes e topo) são 84 kg de N, 21 kg de P e 185 kg de K por hectare (Malavolta e Crocomo,1982). As necessidades reportadas indicam uma relação aproximada de 10 kg de K para 1 kg de P quando a planta inteira é considerada. Este fato pode explicar o acúmulo de P no solo da estufa, com teores médios de 179,7 mg.L<sup>-1</sup>, na 10ª época, enquanto o K apresentou queda nos teores médios (47,8 mg.L<sup>-1</sup>).

Vidor *et al.*, 1980, citados por Mielniczuk (1982), relatam que em experimentos com soja e trigo, durante sete anos, os resultados de K no solo mostraram uma tendência de redução, mesmo no tratamento com 100 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano, quando a palha foi retirada. Borkert *et al.*, 1975, citados por

Mielniczuk (1982), acrescentam que a redução é mais acentuada nos solos arenosos e que para manter o teor de K entre 80 e 100 mg.L<sup>-1</sup> seria necessário aplicar em torno de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por ano na sucessão trigo-soja com retirada da palha. Este valor poderia ser reduzido pela metade se a palha não fosse retirada, de acordo com Abrão e Canal, 1980, citados por Mielniczuk (1982). O mesmo autor salienta que as recomendações de adubação potássica da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995) estão de acordo com os dados de pesquisa para manter o teor de K no solo na faixa de 60 a 80 mg.L<sup>-1</sup>, em sistemas de culturas com reposição da palha ao solo.

As recomendações de adubação para sistemas de cultivo em estufas devem ser melhor estudadas, pois parece ser possível uma redução nas doses de P e necessário um aumento nas doses de K. A retirada da planta inteira da estufa carrega grandes quantidades de potássio, principalmente se for levado em conta que pela falta de precipitação o elemento não é lavado das folhas, não voltando ao solo para completar o ciclo.

## CONCLUSÕES

A fertilidade do solo no interior de estufas plásticas não pode ser manejada seguindo-se as atuais recomendações de adubações da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995), pois os níveis de K não se mantêm com o passar dos anos e a seqüência de cultivos. A adubação utilizada não é suficiente para repor o K extraído pelos cultivos na estufa plástica. Os níveis de P aumentam com a seqüência de cultivos atingindo níveis altíssimos. As relações Ca:K e Mg:K com o tempo assumem valores inadequados.

A adubação mineral induz à redução do teor de matéria orgânica ao final da sucessão de cultivos, comprometendo a produtividade, mesmo apresentando altos teores de P e K. A recuperação nos teores de K do solo ocorre a partir da 8ª época, mas sem atingir os níveis iniciais. A adubação orgânica somente com vermicomposto baseada no N não repõe o K retirado pelos cultivos. A cinza de casca de arroz pode ser usada para complementar o K em sistema orgânico de produção em estufa garantindo alta produtividade.

As recomendações atuais de adubação não são adequadas para sistema de cultivo em estufa com retirada da palha, indicando ser possível uma redução nas doses de P e necessário um aumento nas doses de K para manter a fertilidade do solo ao longo de uma sucessão de cultivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLATO, M. A. Clima do Rio Grande do Sul. Palestra proferida no **Simpósio “Elementos Culturais do Rio Grande do Sul”**, 24 a 28 de outubro de 1983. Porto Alegre, RS. 13p.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O. Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.64-68, 1999.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. da. Manejo da água do solo na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.45-51, 1999.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos**: a teoria da trofobiose. Trad. Guazzelli, Maria José. Porto Alegre: L&PM, 1987. 256p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

DAROLT, M. R.; BIANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.11, n.1, p.38-40, 1993.

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S. História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.5-10, 1999.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; ZANIN, S. R.; FINGER, F. L. Produção de cultivares de tomate em estufa coberta com plástico. **Revista Ceres**. Viçosa, v.44, n.252, p.152-160, 1997.

FONTES, P. C. R.; GUIMARÃES, T. G. Manejo dos fertilizantes nas culturas de hortaliças cultivadas em solo, em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.36-44, 1999.

HOPPE, M.; MARTINS, S. R.; SCHIEDECK, G.; FERNANDEZ, H. S. Avaliação da fertilidade do solo após seqüência de cultivos em estufa plástica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 40.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO SOBRE UTILIZAÇÃO DE PLÁSTICO NA AGRICULTURA, 2.; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS, AROMÁTICAS E CONDIMENTARES, 1., 2000, SÃO PEDRO, SP. **Horticultura Brasileira**, Brasília: SOB/FCAV-UNESP, v.18, p.262-263, 2000. Suplemento.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: CERES, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. O potássio e a planta. In: YAMADA, T. et al. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato – Instituto Internacional da Potassa, 1982, p.95-162.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração – Experiências Brasileiras. In: YAMADA, T. et al. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato – Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.289-303.

MÜLLER, J. J. V.; VIZZOTO, V. J. Manejo do solo para produção de hortaliças em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.32-35, 1999.

NAKAGAWA, J. Manejo do solo e fertirrigação em plasticultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 40.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO SOBRE UTILIZAÇÃO DE PLÁSTICO NA AGRICULTURA, 2.; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS, AROMÁTICAS E CONDIMENTARES, 1., 2000, SÃO PEDRO,

SP. **Horticultura Brasileira**, Brasília: SOB/FCAV-UNESP, v.18, p.167-172, 2000. Suplemento.

PINTO, L. F. S., PAULETTO, E. A., GOMES, A. S., SOUSA, R. O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. S., PAULETTO, E. A. (ed.) **Manejo do solo e da água em área de várzea**. Pelotas: EMBRAPA – Clima Temperado, 1999. 201p.

PIONEER. **Híbridos comerciais de milho**. Santa Cruz do Sul: Pioneer, 1994. 94 p.

ROSAS, E. A. S. Salinização em ambiente protegido. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP/FAPESP, 1997. p.226-262.

SILVA, J. E. da; RITCHEY, K. D. Adubação potássica em solos de cerrado. In: YAMADA, T. et al. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato – Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.323-338.

USHERWOOD, N. R. Interação do potássio com outros íons. In: YAMADA, T. et al. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato – Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.227-247.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

ALTIERI, M. **Agroecologia**: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. 110p. (Síntese Universitária; 54).

FERNANDES, H. S.; MARTINS, S. R. Cultivo de alface em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.56-63, 1999.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia**: processos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. 653p.

HELDWEIN, A. B.; NIED, A. H.; SAGGIN, S. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 2 – efeito da espécie cultivada e da época do ano nos valores obtidos com minitanques. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 35-41, 2001.

KHATOUNIAN, C. A. A sustentabilidade e o cultivo de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, p.199-205, 1997. Palestra. Suplemento.

MESQUITA, H. A.; PAULA, M. B. de; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores de impactos das atividades agropecuárias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.202, p.57-71, 2000.