

INFLUENCIA DO PERIODO DE REVOLVIMENTO E DO INTERVALO DE DESCANSO NO CONSUMO DE ENERGIA NA SECAGEM DE GRÃOS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L)

Roberto Natal Dal Molin¹; Marcos Campos de Oliveira¹ Email: camposmo@ibest.com.br ;Roberto Siqueira Filho²; Roberto José Câmara³; Alessandro Torres Campos³

Resumo:

Tendo em vista os problemas existentes durante a secagem de grãos em terreiro, a secagem artificial, em secadores mecânicos, é atualmente um procedimento de fundamental importância para o produtor de grãos de café. Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência na utilização de energia elétrica e do combustível, variando os intervalos de revolvimento e criando intervalos de descanso na secagem de café. Os tratamentos utilizados foram T1 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento contínuo, T2 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação contínua e revolvimento de 40 minutos a cada 2 horas, T3 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação contínua e revolvimento de 40 minutos a cada 3 horas, T4 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 2 horas sem nenhuma atividade, T5 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 3 horas sem nenhuma atividade, para todos os tratamentos foi dado um intervalo de 10 horas durante a noite. Os sistemas de secagem que proporcionam maior economia no consumo de energia elétrica são: o sistema de atividade de fornalha e ventilação contínua com revolvimento de 40 minutos a cada 3 horas e o sistema com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento durante 3 horas e intervalo de 3 horas sem nenhuma atividade. A energia consumida pela queima do combustível é muito grande em relação a energia elétrica consumida pelos motores fazendo com que a diferença de eficiência energética entre os sistemas estudados se torne desprezível. A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente exercem uma influência muito grande sobre a secagem, pois no dia frio e de baixa temperatura o tempo de secagem aumentou em 6 horas. Com relação a qualidade do café, o comportamento foi o mesmo nos diferentes sistemas de secagem.

Palavras chave: *Coffea arabica* L, secagem de grãos, energia, combustível.

IT INFLUENCES OF THE PERIOD OF REVOLVING AND OF THE INTERVAL OF REST IN THE CONSUMPTION OF ENERGY IN DRYING OF GRAINS OF COFFEE(*Coffea arabica* L)

Abstract:

Tends in view the existent problems during the drying of grains in yard, the artificial drying in mechanical dryers, is now a procedure of fundamental importance for the producing of grains of coffee. This work had for objective to evaluate the efficiency in the use of electric energy and of the fuel, varying the revolving intervals and creating rest intervals in the drying of coffee. The used treatments were T1 - drying with furnace activity, ventilation and revolving continues, T2 - drying with furnace activity, ventilation continues and revolving of 40 minutes at every 2 hours, T3 - drying with furnace activity, ventilation continues and revolving of 40 minutes at each 3 horas, T4 - drying with furnace activity, ventilation and revolving for 3 hours and interval of 2 hours without any activity, T5 - drying with furnace activity, ventilation and revolving for 3 hours and interval of 3 hours without any activity, for all the treatments an interval of 10 hours was given during the night. The drying systems that provide larger economy in the consumption of electric energy are: the system of furnace activity and ventilation continues with revolving of 40 minutes to every 3 hours and the system with furnace activity, ventilation and revolving during 3 hours and interval of 3 hours without any activity. The energy consumed for the it burns of the fuel it is very big in relation to electric energy consumed by the motors doing with that the difference of energy efficiency among the studied systems he/she/it turns worthless. The relative humidity of the air and the temperature sets they exercise a very big influence on the drying because in the cold day and of low temperature the time of drying increased in 6 hours. With relationship the quality of the coffee, the behavior was the same in the different drying systems.

Key words: *Coffea arabica* L, drying of grains, energy, fuel

Introdução

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma das principais plantas cultivadas no país, tanto sob o ponto de vista econômico, gerando divisas pela exportação, quanto pelo aspecto social. Para obtenção de um café com qualidade superior é necessário o emprego de técnicas adequadas de produção, desde o plantio até a colheita, e a estas se deve somar as práticas de processamento que possam preservar a sua qualidade inicial. No processamento pós-colheita, a secagem é uma

¹ Engenheiro Agrônomo – EMATER-PR

² Engenheiro Agrônomo - SEAB

³ Engenheiro Agrônomo - UNIOESTE

das etapas mais importantes, porque, se for conduzida indevidamente, poderá acarretar grandes prejuízos ao cafeicultor (PINTO FILHO, 1994).

A secagem é o processo mais econômico para manutenção da qualidade de produtos agrícolas durante a armazenagem em ambiente natural. Os efeitos dos secadores e dos métodos de secagem sobre a qualidade de grãos e a racionalização da energia em processos agrícolas têm sido assunto de importância entre pesquisadores, processadores e fabricantes de equipamentos. Tendo em vista os problemas existentes durante a secagem dos grãos em terreiro, a secagem artificial, em secadores mecânicos, é atualmente um procedimento de fundamental importância para o produtor de grãos (LACERDA FILHO, 1986).

A secagem, embora seja uma operação de rotina, devido às grandes vantagens que apresenta, tanto para a produção de grãos como para a de sementes, tem que ser feita com muito cuidado, por ser também uma operação de alto risco, visto que pode danificar seriamente a qualidade do produto em processamento. Esses danos serão fisiológicos quando se seca de forma muito rápida ou de forma muito lenta (HALL, 1980; CARVALHO, 1994).

BAKKER-ARKEMA et al. (1978) ressaltam que a avaliação experimental de secadores requer medidas precisas dos grãos, ar de secagem e parâmetros de secagem, e das fontes de energia, incluindo a energia usada nos ventiladores e sistemas de movimentação de grãos.

Este trabalho objetivou avaliar a eficiência na utilização das energias elétrica e do combustível, variando os intervalos de revolvimento e criando intervalos de descanso na secagem de café, utilizando o conjunto secador de grãos modelo Ortofen.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido nos meses de junho e julho /2003 numa propriedade rural no município de Jesuítas-PR, com avaliações de qualidade de grãos e bebida na Cooperativa Agrícola Consolata Ltda (COPACOL), entreposto de Jesuítas e avaliações de umidade no laboratório de Tecnologia de Sementes da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, em Marechal Candido Rondon-PR.

Para a avaliação do conjunto secador de café e similares modelo Ortofen (patente nº UM-7902597-8), foi utilizado café (*Coffea arabica* L.), variedade Iapar 59, procedente da propriedade do Sr. Benedito Lazaro Penachio, situada no Município de Jesuítas-PR. O produto, colhido no mês de junho e julho de 2003, pelo sistema de derriça total no pano, transportado até o local de secagem, para realização dos testes.

Para a avaliação do desempenho do secador, foi utilizada a metodologia proposta por BAKKER-ARKEMA et al. (1978).

Parâmetros relativos aos grãos

a - Teor de umidade: Os teores de umidade dos grãos foram obtidos pelo método-padrão de estufa, $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas, com três repetições, sendo utilizadas amostras de proximadamente 4-5 g, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). A coleta de amostras foi realizada a cada 3 horas durante o período de secagem, sendo a primeira tomada no momento do carregamento do secador e a última na descarga do secador. A amostragem foi interrompida a noite por um período de 10 horas. A amostra composta foi tomada em 5 pontos diferentes da câmara de secagem e homogeneizada para formação das amostras finais.

b – Determinação da massa do produto: Durante a operação de carregamento do secador, procedeu-se à pesagem do produto ensacado, em uma balança de plataforma, com precisão de 0,1 kg. A massa final foi obtida da mesma forma que a massa inicial.

c – Temperaturas: As temperaturas dos grãos foram obtidas por meio dois termômetros digitais instalados com altura de 0,16 e 0,43 m da câmara de secagem. A temperatura do ar no plenum foi obtida por um termômetro analógico instalado no mesmo.

d - Qualidade do produto: Para análise da qualidade final do produto e testes de bebida, foram enviadas amostras de café de cada um dos cinco tratamentos e enviado ao Laboratório de Qualidade de Café da COPACOL.

Parâmetros relativos ao ar

a - Temperatura do ar de secagem: Foram registradas temperaturas do ar de secagem em dois pontos do “plenum” utilizando-se termômetros analógico com leituras a cada 3 horas conforme descrito acima.

b - Temperatura e umidade relativa do ar ambiente: A temperatura e umidade relativa do ar foram registradas mediante o uso de termo-hidrômetro digital modelo Thermo-Hygro Clock instalado em local abrigado, distante 20 m do secador.

Consumo de energia

a – Ventilador: A energia consumida pelo motor do ventilador foi calculada pela equação:

$EM = PM \times tf \times 2647,8$, em que: EM = energia consumida pelo motor, kJ; PM = potência do motor, cv; e tf = tempo de funcionamento do motor, h.

b – Combustível: Para aquecimento do ar de secagem, utilizou-se como combustível a madeira de eucalipto (*Eucaliptus grandis*). A lenha foi serrada, apresentando dimensões médias de 0,50 m de comprimento e diâmetro variado. Para a determinação do teor de umidade, retiraram-se amostras aleatórias dos lotes de lenha. O teor de umidade foi obtido pelo método de estufa, $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 72 horas, com três repetições para cada amostra. A energia proveniente do combustível utilizado para o aquecimento do ar de secagem foi determinada pela seguinte equação: $EPC = QC \times PCI$, em que: EPC = energia proveniente do combustível, kJ; QC = quantidade de combustível, kg; e PCI = poder calorífico inferior do combustível, kJ.kg⁻¹. Para determinação do poder calorífico da lenha, utilizou-se a fórmula proposta por Tilman, citado por OSÓRIO (1982): $PCI = PCS - 0,0114 \times PCS \times UC$ em que, PCI = poder calorífico inferior do combustível, kJ.kg

-1 ; PCS = poder calorífico superior do combustível, kJ.kg⁻¹ (17.974 kJ.kg⁻¹ para a espécie “*Eucaliptus grandis*”); e UC = teor de umidade do combustível, % b.u.

O secador foi carregado com produto úmido até 100% da capacidade de sua câmara. Procedeu-se ao revolvimento na câmaras, em intervalos conforme os tratamento descritos:: T1 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento contínuo; T2 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação contínuas e revolvimento de 40 minutos a cada 2 horas; T3 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação contínuas e revolvimento de 40 minutos a cada 3 horas; T4 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 2 horas sem nenhuma atividade; T5 – Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 3 horas sem nenhuma atividade. Todos os tratamentos foram realizados com intervalo de descanso de 10 horas durante a noite.

A alimentação de combustível (lenha) foi realizada de forma que a temperatura do ar na câmara do plenum se mantivesse aproximadamente constante, dentro da faixa preestabelecida, ou seja, menor que 75°C. Os valores de temperatura foram medidos em intervalos de 3 horas.

Para determinar o final da secagem, procedeu-se ao monitoramento do teor de umidade do produto, coletando-se amostras na câmara a cada três horas, no campo a umidade foi acompanhada com auxílio de determinador de umidade de café micro computadorizado modelo PS12, fabricado pela Sato Ag. Trading Company. E coletadas amostras para determinação de umidade no laboratório de acordo com normas do RAS (BRASIL, 1992).

Resultados e Discussão

Analisando o consumo de energia do motor do revolvedor isoladamente (Figura 1), concluímos que o sistema de atividade de fornalha e ventilação contínua com revolvimento de 40 minutos a cada 3 horas é o que faz menor uso de energia. Entretanto quando os dois motores são analisados em conjunto (Figuras 2 e 3), o consumo de energia desse sistema se iguala ao do sistema com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento durante 3 horas e intervalo de 3 horas sem nenhuma atividade. Estes resultados corroboram com LACERDA (1986) que com o objetivo de avaliar as modificações técnicas e operacionais em um secador rotativo horizontal conduziu seis testes de secagem divididos em dois tratamentos, com três testes cada. A temperatura do ar de secagem foi controlada em 60°C. Os teores de água iniciais do produto foram diferentes em cada teste realizado. Foram utilizados dois secadores rotativos, sendo um comercial e o outro modificado. Utilizou-se como produto o café (*Coffea arabica* L.) cereja lavado (tratamento 1) e cereja lavado com meia seca (tratamento 2). Como testemunha fez-se, no terreiro, ao sol, uma secagem para cada ensaio até que o café atingisse o teor de água final igual a 11 - 12 % b.u., visando a comparação de qualidade do produto. Para a avaliação da eficiência energética de secagem dos sistemas, determinaram-se o consumo de combustível e o consumo de energia elétrica. Com base nos resultados obtidos, foi possível observar menor consumo específico de energia no secador rotativo com as modificações propostas, em todos os testes. Um menor consumo de energia elétrica também foi observado no secador rotativo modificado. A qualidade do produto final foi a mesma nos dois secadores. Não houve diferença entre os tempos de secagem nos dois secadores testados.

FREIRE (1998) relata que o sistema de secagem em combinação é energeticamente mais eficiente que o sistema a altas temperaturas para a secagem do café despulpado: o consumo específico nos testes 1 e 2 foi de 5,0 e 3,3 MJ.kg⁻¹, respectivamente, ao passo que o valor correspondente para o teste 3 foi de 11,2 MJ.kg⁻¹; a secagem com utilização do sistema em combinação possibilita a obtenção de um café de boa qualidade; a etapa de secagem a baixas temperaturas em silos-secadores para café despulpado pode ser iniciada com teores iniciais de umidade dos grãos iguais a 30% b.u., contanto que as condições ambientais sejam favoráveis (temperatura elevada e umidade relativa baixa) e o dimensionamento do sistema permita a redução da umidade da camada superior dos grãos antes que se inicie o processo de deterioração.

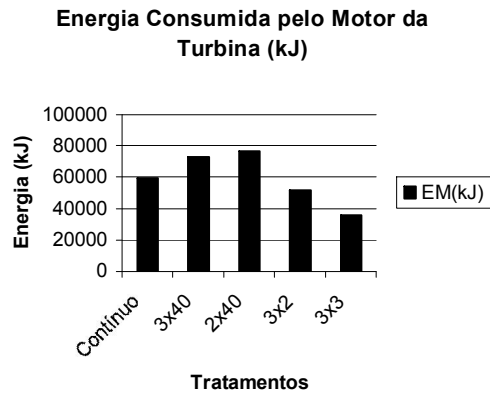
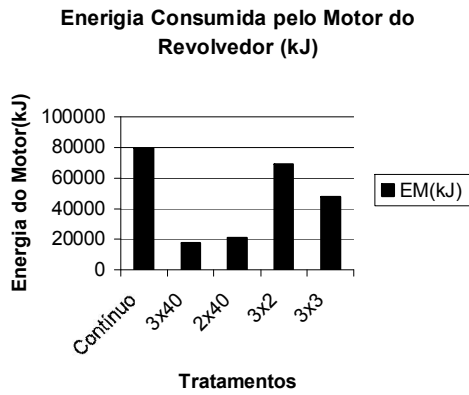
SILVA J. N. da, et al concluíram que a secagem realizada em secador horizontal rotativo apresentou menor consumo específico de energia, 9.537 - 10.344 kJ kg⁻¹ que os secadores verticais 9967 – 30583 kJ kg⁻¹.

CAMPOS (2000) testando um protótipo de secador construído em alvenaria para utilização em pequenas propriedades rurais concluiu que o secador apresentou elevado consumo específico de energia, se comparado com outros sistemas de secagem em camada fixa, ou seja, 12.752 kJ por kg de água evaporada. O autor atribui este resultado ao fato de se ter utilizado uma fornalha de fogo indireto, com trocador de calor.

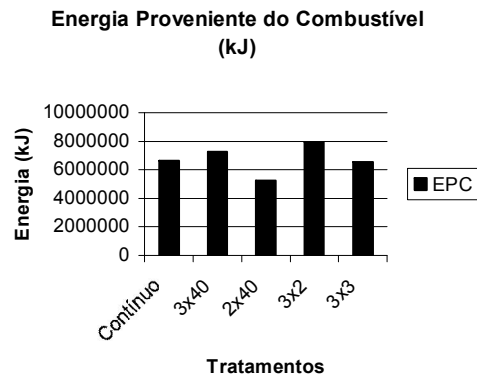
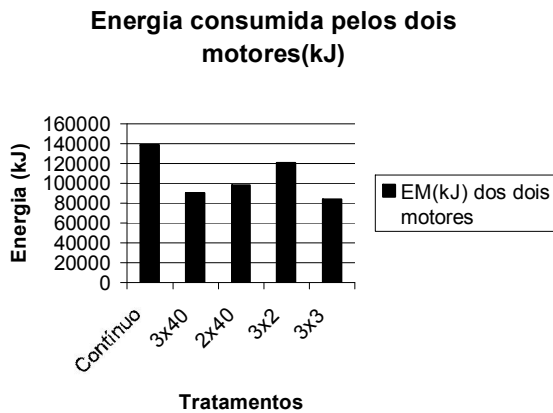
O consumo de energia pelo combustível, madeira de eucalipto (*Eucaliptus grandis*), é muito superior ao consumo de energia elétrica consumida pelos motores (Figuras 3 e 4), o que torna desprezível a economia de energia elétrica dos motores, analisando só do ponto de vista energético sem que seja considerado o fator econômico. Este fator fez com que a eficiência energética entre os diferentes sistemas fosse praticamente idêntica.

O sistema que possui a maior capacidade de secagem de grão de café úmido é o sistema com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento contínuo (Figura 5), isto se deve ao fato de todo o conjunto secador funcionar durante todo tempo em que ocorre a secagem, permitindo uma menor duração do processo. Entretanto esse sistema contínuo também é o sistema que mais consome energia elétrica (Figura 3).

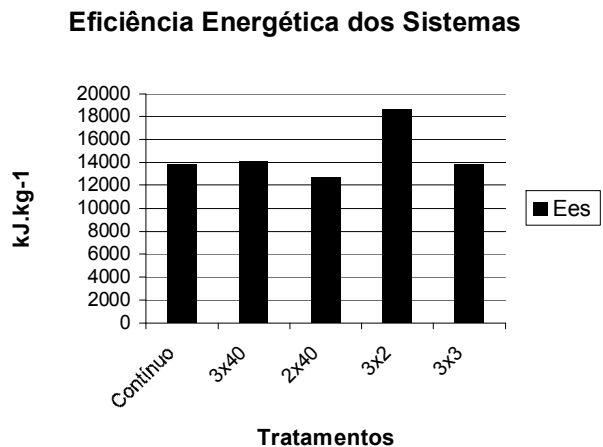
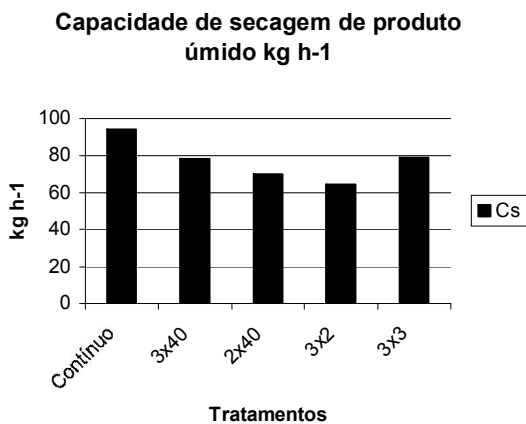
Como foi observado antes nas Figuras 3 e 4, há uma diferença de consumo de energia muito grande quando comparado a energia consumida pela queima do combustível com a energia necessária para movimentar os motores elétricos, fazendo com que os resultados da comparação entre sistemas, em termos de gastos energéticos se torne desprezíveis. A maior diferença na eficiência energética entre os sistemas se dá justamente no consumo de energia elétrica.



FIGURAS 1 e 2 – Quantidade de energia em kJ consumida pelos motores elétricos do revolvedor e da turbina nos tratamentos T1 (secagem continua), T2 (secagem com atividades de fornalha e ventilação continua e revolvimento a cada 3 horas), T4 (secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 2 horas), T5 (Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 3 horas)



FIGURAS 3 e 4 – Quantidade de energia em kJ consumida conjuntamente pelos motores elétricos do revolvedor e da turbina e energia consumida pelo combustível (lenha) em kJ nos tratamentos T1 (secagem continua), T2 (secagem com atividades de fornalha e ventilação continua e revolvimento a cada 3 horas), T4 (secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 2 horas), T5 (Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 3 horas)



FIGURAS 5 e 6 – Capacidade de secagem e eficiência energética do sistema nos tratamentos T1 (secagem continua), T2 (secagem com atividades de fornalha e ventilação continua e revolvimento a cada 3 horas), T4 (secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 2 horas), T5 (Secagem com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento por 3 horas e intervalo de 3 horas)

Conclusões:

Concluiu-se que entre os sistemas de secagem utilizados neste trabalho os sistemas que proporcionam maior economia no consumo de energia elétrica são: o sistema de atividade de fornalha e ventilação contínua com revolvimento de 40 minutos a cada 3 horas e o sistema com atividade de fornalha, ventilação e revolvimento durante 3 horas e intervalo de 3 horas sem nenhuma atividade.

A energia consumida pela queima do combustível é muito grande em relação a energia elétrica consumida pelos motores fazendo com que a diferença de eficiência energética entre os sistemas estudados se torne desprezível.

A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente exercem uma influência muito grande sobre a secagem, pois no dia frio e de baixa temperatura o tempo de secagem aumentou em 6 horas.

Com relação a qualidade do café, o comportamento foi o mesmo nos diferentes sistemas de secagem.

Referencias Bibliográficas

BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 13p. (ASAE Paper, 78-3523).

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Regras para análise de sementes (RAS), Brasília, 1992. 365p.

CAMPOS, A.T.; MELO, E.C., SILVA, J.S., COLEN, F. Análise de Custo de um Secador para Café, Engenharia Rural, Piracicaba, v.11 n.1 p.46-55, 2000.

CARVALHO, N.M. de. A secagem de sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165p.

HALL, C.W. Drying and storage of agricultural crops. Connecticut. The AVI Publishing, 1980. 381p.

LACERDA FILHO, A.F. de. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1986. 136p. (Tese MS).

FREIRE, A.T. Projeto e avaliação de um sistema combinado para secagem de café despulpado. Viçosa, MG, 1998. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)

PINTO FILHO, G. L. Desenvolvimento de um secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar de resfriamento, para a secagem de café (*Coffea arabica* L.). Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1994. 80p. (Tese MS).

SILVA, J.S., AFONSO, A.D.L., LACERDA FILHO, A.F. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J.S., Pré-processamento de produtos agrícolas, Juiz de fora - MG, Instituto Maria, p.395 - 461, 1995.

VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v.18, n.187, 1997. p.55-67.