

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

**DESEMPENHO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM E
SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.)
Moench)**

MIGUEL ÂNGELO PEIXOTO TORRES
Engenheiro Agrônomo/PUCRS

**Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de
Mestre em Zootecnia
Área de Concentração Plantas Forrageiras**

**Porto Alegre (RS), Brasil
Maio de 2006**

*“Veja...
Não diga que a canção esta perdida
Tenha fé em Deus, tenha fé na vida
Tente outra vez...
Basta ser sincero e desejar profundo
Você será capaz de sacudir o mundo
Vai/ tente outra vez/tente...
Não diga que a vitória esta perdida
Se é de batalhas que se vive a vida
Tente outra vez...”*

Raul Seixas.

DEDICATÓRIA

À
Esposa Patrícia.
pela ajuda, compreensão, amor, carinho e sinceridade
que nos une na trilha deste mundo.
À nossa filha Nice, raio de luz que Deus nos concedeu e abençoou.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, guiando meus passos até o presente.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia que me acolheram no Programa de Pós-Graduação, em especial a minha orientadora Eng^a. Agr^a., Prof^a. Dr^a., Lúcia Brandão Franke, e ao meu co-orientador Eng^o. Agr^o., Prof. Ph.D., Carlos Ricardo Trein, Diretor da EEA, pelo apoio, convívio e dedicação ao plano de trabalho desenvolvido, na conquista deste objetivo.

A(os) professora(es) Eng^a. Agr^a., Prof^a. Dr^a., Tânia Morselli (UFPEL), Eng^a. Agr^a. Prof^a. Dr^a., Roselaine Neves Bonow (PUCRS) e Eng^o. Agr^o., Prof. M.Sc., Hugo Pina Dias (PUCRS) por terem acreditado, apoiado e incentivado de maneira efetiva, ao ingresso no Programa de Pós Graduação;

Ao Administrador da Fazenda Lagoão, em Pantano Grande/RS, Médico Veterinário Marcelo Alves Forte, por ter me acolhido e aceitado a colaborar neste trabalho;

Pela dívida de gratidão e ajuda, companheirismo e conhecimento dos colegas Eng^o. Agr^o., M.Sc., Zeferino Genésio Chielle (pesquisador da FEPAGRO/Taquari-RS), Eng^o. Agr^o., M.Sc., Ricardo Ramos Martins e Eng^o. Agr^{la}., M.Sc., Geverson Lessa (EMATER/ Estrela-RS); Eng^o. Agr^o., Prof. Ph.D., Paulo Régis da Silva, do Departamento de Plantas de Lavoura/UFRGS e aos colegas Eng^o. Agr^o., M.Sc., Rodrigo Lopes, Doutorando do PPG/Zootecnia/UFRGS e Eng^o. Agr^o., M.Sc., Fausto Borges, Doutorando do PPG Fitotecnia/UFRGS.

DESEMPENHO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM E SEUS EFEITOS SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)¹.

Autor: Miguel Ângelo Peixoto Torres

Orientador: Lúcia Brandão Franke

Co-orientador: Carlos Ricardo Trein

RESUMO

O sorgo granífero difere-se das demais espécies forrageiras por ser uma cultura tolerante a ambiente com deficiência hídrica, e ao mesmo tempo ser capaz de apresentar rendimentos satisfatórios com produção de sementes de qualidade. No campo de produção estando as sementes aptas a serem colhidas, encontram-se com teores de umidade muito elevados e pode comprometer esta qualidade. A colheita de sementes realizada em momento oportuno, seguida de imediata secagem permite preservar os seus atributos físicos e fisiológicos. Neste sentido, foi conduzido um experimento com o objetivo de avaliar as co-variáveis de métodos: velocidade de secagem, qualidade fisiológica e o balanço das fontes energéticas, em sementes colhidas com 18,9%, 18,1% e 18,2% de umidade em Pantano Grande/RS, e submetidas a três métodos de secagem: em eira sob condições naturais, secador intermitente equipado com fornalha de combustão à lenha e secador estacionário com fundo falso perfurado equipado com queimado a gás, respectivamente, na região da Depressão Central do RS (LAS/UFRGS em Porto Alegre; Engenho Moinhos em Pantano Grande e EEA/UFRGS em Eldorado do Sul). O delineamento experimental utilizado foi o completamente casualizado com 25 repetições. As variáveis estudadas, através de amostragens realizadas foram: pureza; peso de mil sementes; umidade; germinação; primeira contagem e índice de velocidade de germinação. O custo de energia térmica e elétrica, verificados através do balanço energético, foram acompanhados durante todo o processo de secagem. Conclui-se que: 1) a velocidade de secagem interfere na qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero, sendo que as maiores velocidades de secagem foram verificadas nos métodos à lenha e a gás, e entre estes, o que apresentou melhor resultado em termos fisiológicos foi à lenha em função da relação de intermitência 2) a velocidade de secagem em condições naturais foi influenciada pela baixa energia calorífica, determinando lenta dessorção, 3) o uso de temperaturas acima do recomendado reduz a qualidade fisiológica das sementes de sorgo, 4) o resultado do balanço energético demonstrou que a secagem com ambiente natural é a mais barata, mas com baixa eficiência; a secagem à lenha apresentou o custo mais elevado mas foi o mais eficiente, e a secagem a gás apresentou menor demanda de energia do que a lenha.

1- Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (108p.), maio, 2006.

**PERFORMANCE OF DIFFERENT DRYING METHODS AND THEIR
EFFECTS ON PHYSIOLOGICAL QUALITY OF GRAIN SORGHUM SEEDS
(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)².**

Author: Miguel Ângelo Peixoto Torres

Adviser: Lúcia Brandão Franke

Co-adviser: Carlos Ricardo Trein

ABSTRACT

The grain sorghum is different from other forage species because it tolerates water-stressed environments, and at the same time it is able to show a satisfactory performances for production of quality seed. Under field conditions, the seed moisture content levels are very high, what may compromise seed quality. Harvesting at the right time and followed by immediate drying, allows to keep the seed quality and yield. In this sense, an experiment aiming to evaluate the methods co-variables: drying speed, physiological quality and balance of energetic sources in seeds harvested with 18.9%, 18.1% and 18.2% of moisture content, in Pantano Grande/RS, submitted to three methods: natural conditions, a dryer supplied with a firewood combustion furnace and a fixed dryer with false leaky bottom with butane gas burning at the region of Depressão Central/RS (LAS/UFRGS in Porto Alegre, Engenho Moinhos in Pantano Grande and EEA/UFRGS in Eldorado do Sul). The experimental design used was a completely randomized with 25 repetitions. Seed physiological attributes: purity, thousand seed weight, moisture content, germination rate were evaluated. The costs of energy, thermal and electrical, verified through the balance of energetic sources were both observed during all the drying processes. The conclusions are: 1) the drying speed interferes on physiological quality of sorghum seeds and the higher drying speed were achieved with firewood and butane gas drying methods. Between these methods, the best result in physiological terms was firewood, because of intermittence; 2) under natural conditions, the seed drying process was influenced by the low calorific energy, determining the slow dehydration process; 3) the use of temperatures higher than the recommended results in lower physiological quality of sorghum seeds; 4) the result of balance of energetic source demonstrates that drying under natural conditions drying is cheaper but has a low efficiency; firewood drying was the most expensive method and also the most efficient; and butane gas drying required less energy than firewood.

2- Master of Science dissertation in Forage Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (108p), May, 2006.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1. Caracterização do sorgo.....	05
2.2. A situação da cultura do sorgo no Rio Grande do Sul	08
2.3. A situação da cultura do sorgo no Brasil.....	10
2.4. Importância da secagem de sementes.....	12
2.5. Fundamentos da secagem.....	14
2.6. Métodos de secagem.....	17
2.7. Matriz energética e fontes utilizáveis na secagem de sementes no setor agrícola do Rio Grande do Sul.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Local do experimento.....	31
3.2. Caracterização do clima.....	31
3.3. Caracterização do solo e histórico da área	32
3.4. Condução da lavoura	33
3.5. Tratamentos	34
3.5.1. Tratamento secagem em ambiente natural.....	34
3.5.2. Tratamento secagem à lenha.....	36
3.5.3. Tratamento secagem a gás.....	38
3.6. Velocidade de secagem de sementes de sorgo.....	41
3.7. Determinação da qualidade física e fisiológica das sementes.....	41
3.7.1. Teste de pureza.....	41
3.7.2. Peso de mil sementes.....	42
3.7.3. Teor de umidade.....	42

3.7.4. Teste de germinação.....	42
3.7.5. Teste de vigor	43
3.7.5.a. Primeira contagem	43
3.7.5.b. Índice de velocidade de germinação.....	43
3.8. Análise estatística.....	44
3.9. Avaliação do balanço energético.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Velocidade de secagem.....	47
4.1.1. Curva de secagem das sementes de sorgo granífero em ambiente natural.....	52
4.1.2. Curva de secagem das sementes de sorgo granífero pelo sistema à lenha.....	57
4.1.3. Curva de secagem de sementes de sorgo granífero pelo método a gás.....	61
4.2. Avaliação da qualidade das sementes.....	67
4.3. Balanço energético.....	76
5. Conclusões.....	82
6. Referências bibliográficas.....	84
7. Apêndices.....	92
8. Vita.....	108

RELAÇÃO DE TABELAS

TABELA 1.	Teores de umidade de sementes de sorgo granífero por ocasião dos horários de mensuração das 5 eiras em secagem com ambiente natural. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre/RS, 2006.....	48
TABELA 2.	Valores da temperatura do ar de secagem e da massa de sementes, teores de umidade das sementes e umidade relativa do ar de secagem de sementes de sorgo granífero no tratamento secagem à lenha. Pantano Grande/RS, 2006.....	49
TABELA 3.	Valores médios das temperaturas do ar de secagem, temperaturas da massa de sementes, teores de umidade por estrato e umidade relativa do fluxo de ar de sementes de sorgo granífero no tratamento secagem a gás. EEA/UFRGS/RS, 2006.....	49
TABELA 4.	Temperatura do ar de secagem de sementes sorgo granífero submetidas ao método de secagem ao ar natural. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre/RS, 2006.....	55
TABELA 5.	Teor de umidade, teste de pureza, germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem e peso de mil sementes (PMS), de sementes de sorgo granífero submetidos a três tratamentos de secagem, LAS/UFRGS, 2006.....	68
TABELA 6.	Teste de germinação (%G) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento de secagem estacionária em três estratos. LAS/UFRGS, 2006.....	68
TABELA 7.	Custo energético parcial da secagem de sementes de sorgo granífero (ar natural, lenha e gás). Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, 2006.....	77

RELAÇÃO DE FIGURAS

- FIGURA 1. Curvas representativas dos teores de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem: a) em ambiente natural, b) a gás c) à lenha. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre/RS - UFRGS, 2006..... 48
- FIGURA 2. Curva representativa do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem em ambiente natural. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre/RS-UFRGS, 2006..... 54
- FIGURA 3. Curva representativa do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem pelo sistema à lenha. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre/RS-UFRGS, 2006..... 52
- FIGURA 4. Curva representativa do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem pelo sistema a gás. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Porto Alegre /RS-UFRGS,2006..... 62
- FIGURA 5. Curvas representativas dos teores de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem em diferentes estratos em secador a gás: a) Frente de secagem, b) Zona de transição c) Zona úmida. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. EEA/UFRGRS, Eldorado do Sul/RS, 2006..... 65

RELAÇÃO DE APÊNDICES

APÊNDICE 1.	Dados meteorológicos (médias dos valores) do microclima Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por ocasião dos horários de mensuração do teor de umidade das 5 eiras em secagem ambiente natural. IPH-UFRGS, Porto Alegre/RS, 2006.....	93
APÊNDICE 2.	Dados meteorológicos (médias) do microclima no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no período de 18 a 24 de março de 2005. IPH-UFRGS, Porto Alegre/RS, 2006.....	94
APÊNDICE 3.	Tabela de tarifas de energia elétrica baixa tensão em R\$. CEEE/RS,2006.....	94
APÊNDICE 4.	Indicadores técnicos utilizados na avaliação do balanço energético nos três tratamentos. UFRGS, Porto Alegre/RS,2006.....	95
APÊNDICE 5.	Porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS,Porto alegre,2006	96
APÊNDICE 6.	Resumo da análise de variância da variável porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.....	96
APÊNDICE 7.	Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.....	97
APÊNDICE 8.	Resumo da análise de variância da variável índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.....	97

APÊNDICE 9.	Primeira contagem de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.....	98
APÊNDICE 10.	Resumo da análise de variância da variável primeira contagem de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia LAS/UFRGS,2006.....	98
APÊNDICE 11.	Peso de mil sementes (PMS) de oito sub-amostras de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.....	99
APÊNDICE 12.	Resumo da análise de variância da variável peso de mil sementes (PMS) de oito sub-amostras sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos. Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS, 2006.....	99
APÊNDICE 13.	Resultado das amostras média e de trabalho, porcentagem de sementes puras, porcentagem de materiais inertes e teor de umidade final da análise de pureza das sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento secagem ambiente natural. Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.....	100
APÊNDICE 14.	Resultado das amostras média e de trabalho, porcentagem de sementes puras, porcentagem de materiais inertes e teor de umidade final da análise de pureza das sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento secagem à lenha. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS,Porto Alegre,2006.....	101
APÊNDICE 15.	Resultado das amostra média e de trabalho, porcentagem de sementes puras, porcentagem de materiais inertes e teor de umidade final da análise de pureza das sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento secagem a gás.Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS,Porto Alegre,2006.....	102
APÊNDICE 16.	Comparação das amostras médias da análise de pureza de sementes de sorgo granífero submetidas aos três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.....	103
APÊNDICE 17.	Resumo da análise de variância da variável amostra média das sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos.Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS,2006...	103

APÊNDICE 18.	Comparação das amostras de trabalho da análise de pureza de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem.Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.....	104
APÊNDICE 19.	Resumo da análise de variância da variável amostra de trabalho das sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos,LAS/UFRGS,2006.....	104
APÊNDICE 20.	Impurezas retidas na pré-limpeza das amostras médias de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem.Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.....	105
APÊNDICE 21.	Resumo da análise de variância da variável impurezas das sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos.Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS,2006.	105
APÊNDICE 22.	Resumo da análise de variância da variável teor de umidade de sementes de sorgo granífero submetida a três tratamentos. Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS,2006.....	106
APÊNDICE 23.	Porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero em três estratos de secagem a gás.Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.....	106
APÊNDICE 24.	Resumo da análise de variância da variável porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero submetida ao tratamento secagem a gás em três estratos.Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS, 2006.....	107
APÊNDICE 25.	Índice de velocidade de germinação de sementes de sorgo granífero em três estratos de secagem a gás. Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.	107
APÊNDICE 26.	Resumo da análise de variância da variável índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetida ao tratamento secagem a gás em três estratos.Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS,2006.	107

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

Cal/cm²	Caloria por centímetro quadrado
CONAB	Companhia Nacional do Abastecimento
CV	Cavalo vapor
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul
EEA	Estação Experimental de Agronomia da UFRGS
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAMING	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
°C	Graus Celsius
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GN	Gás natural
g	Grama
HP	Horse power
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IVG	Índice de velocidade de germinação
kcal	Kilocaloria
Kg.ha⁻¹	Kilos por hectare
kW	Kilowats
LAS	Laboratório de Análise de Sementes
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
m³/min/t	Metros cúbicos por minuto por tonelada
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetro
mL.ha⁻¹	Mililitro por hectare
min	Minuto
Mpa	Megapascal
PEH	Ponto de equilíbrio higroscópico
PMS	Peso de mil sementes
PRODEM	Programa de Desenvolvimento Energético
%G	Porcentagem de germinação
%/h	Porcentagem por hora
Scs	Sacos
UBG	Unidade de Beneficiamento de Grãos
UBS	Unidade de Beneficiamento de Sementes
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UR%	Umidade relativa
USDA	United State Departament Agriculture

1. INTRODUÇÃO

A moderna planta de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) é o resultado da intervenção do homem que a domesticou e vem, ao longo de séculos, sendo aperfeiçoada para atender as suas necessidades, o que a tornou uma cultura de grande importância econômica global. De origem africana, ganhou projeção mundial e hoje é o 5º cereal mais plantado no mundo, sendo que a produção mundial no período de 2003/2004 foi de 58.901 milhões de toneladas, em uma área de 40.390 milhões de hectare (Salvador, 2006; EMBRAPA, 2005; USDA, 2001).

No Brasil, após sua reintrodução em 1970, a cultura do sorgo se estabeleceu inicialmente nas regiões da fronteira e oeste dos estados do sul, mas expandiu-se a partir da segunda metade da década de 1990, como alternativa da sucessão da cultura de soja. Desta forma assegurou um lugar de destaque nos sistemas de produção, com impacto social e econômico, desde a agricultura familiar até o agronegócio. A repercussão foi tão grande que a necessidade de volumes regulares de sementes permitiu que produtores, indústria e pesquisadores se unissem em prol do desenvolvimento de novos híbridos (CONAB, 2004).

O estudo da maturação em sementes visa determinar o ponto exato da colheita, e quando atinge um determinado estágio onde a qualidade fisiológica é máxima, a colheita não pode ser procedida em função do alto teor

de umidade, em geral em torno de 30 a 40% . Logo, estando no campo de produção, as sementes alcançam o seu máximo tamanho, capacidade de germinar e produzir plantas vigorosas antes de estarem suficientemente secas para serem colhidas. Desta forma, torna-se necessário antecipar ao máximo o momento de colheita, obtendo sementes com teor de umidade quando as mesmas apresentarem em torno de 18-20%, teor em que deve ocorrer a secagem imediata (Carvalho & Nakagawa, 1983).

A secagem de sementes é um processo termodinâmico, no qual ocorre a redução da umidade dos materiais biológicos. Quando bem conduzida, seguida de um correto armazenamento, é determinante na garantia de sua qualidade obtida no campo de produção. Desde que observadas as características da espécie, volume de produção e do clima por ocasião da época de colheita pode-se utilizar tanto métodos naturais quanto artificiais de secagem.

A secagem natural é o método mais antigo e clássico utilizado pelo homem, tanto entre pequenos e médios produtores, limitado em grande parte, pela quantidade de sementes a serem secas. Assim, pela necessidade de secar maiores volumes, torna-se imperioso usar a secagem artificial, cujos custos operacionais estão na dependência do volume de material, do teor de umidade inicial, velocidade e temperatura do ar a ser empregado e do preço das fontes de energia empregadas.

Para a eleição de um dos métodos de secagem, o fator volume de produção é o mais limitante de todos mas outros devem ser considerados tais como, nível de instrução tecnológica do produtor, poder aquisitivo, velocidade de colheita, destinação final dos produtos a serem secos, tempo de secagem

e consumo de energia.

A secagem consome de 10-15% da energia total da etapa de pós-colheita, e quando conduzida de forma correta com equipamentos eficientes, pode contribuir significativamente para a redução deste custos, pela economia que propicia. No Brasil, a fonte de energia mais utilizada no meio agrícola para a secagem de sementes e grãos é o uso do sistema à lenha, em função do baixo custo de aquisição e sua facilidade de obtenção, apresentando-se como a melhor alternativa econômica até o momento.

Porém o consumo de madeiras não acompanha o ritmo de seu plantio, criando déficit, encarecendo o seu custo pelo transporte que fica cada dia mais distante dos centros de consumo, forçando os consumidores a buscar outras alternativas, com a mesma eficiência. Assim, para os diversos modelos de secadores, vem sendo empregadas outras alternativas como combustível: captação da radiação solar, uso do gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural (GN), e resíduos orgânicos diversos (casca de arroz, palhas, serragem) entre outros. Para a eleição de uma fonte energética, além do seu custo de aquisição e possibilidades de uso no secador, é importante consideramos o seu poder calorífico, além da sua eficiência de uso e simplicidade de operação e manuseio.

Na secagem artificial, parâmetros, tais como, umidade das sementes, uso final do produto e tipo de produto, associados entre si, determinam a temperatura do ar de secagem e esta tem efeito direto na qualidade física e fisiológica das sementes. Sob elevadas temperaturas de secagem, podem ocorrer danos físicos como quebras e trincas, descoloração do produto, redução da qualidade nutricional e morte do embrião.

Este trabalho teve por objetivos avaliar o desempenho de três métodos de secagem empregados no meio agrícola: energia natural, à lenha e a gás, como fontes energéticas, verificar os seus efeitos sobre a qualidade física e fisiológica das sementes de sorgo granífero e comparar, através do balanço energético, a energia empregada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caracterização do Sorgo

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) é uma gramínea anual, pertencente ao grupo de plantas com metabolismo C4, de estação quente, pertencente à tribo *Andropogoneae*, gênero *Sorghum*. Trata-se de uma planta ereta, com sistema radicular ramificado e profundo, altura variável de 0,4 à 2,00m, folhas largas, planas, parecidas com as do milho, de 40-60cm de comprimento por 4-7cm de largura, com colmo robusto e medula macia. Sua panícula é ereta, compacta, multiflora, ovalada a elíptica, de 10-30cm de comprimento por 4-10cm de diâmetro (Burkart,1969). A palavra “sorgo”, bem como sua origem, causa discussão entre diversos autores, porém é aceita que a expressão seja proveniente do vocábulo indiano *Sorgho*, e de onde teria se espalhado para as outras partes do mundo (Nobre & Kasprzykowski, 1975).

Botanicamente, a semente é um fruto denominado cariopse, em que o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dita. A tribo *Andropogoneae* apresenta as seguintes características: ráquila articulada abaixo das glumas, glumas mais rígidas que os antécios, sendo estes hialinos, com pilosidade intensa e branca geralmente nos pedicelos, espiguetas dispostas aos pares, geralmente uma séssil e uma pedicelada ou ambas pediceladas. No diásporo geralmente o par de espiguetas é conjunto com o artícuo da ráquis. Há dois antécios por espiguetas e geralmente são acrótonas.

As espiguetas pediceladas são desenvolvidas ou rudimentares e as espiguetas sésseis são geralmente bissexuadas (Burkart, 1969; Boldrini *et al.*, 2004).

O centro de origem é o continente africano, região do Planalto da Etiópia, local onde foi encontrado uma grande variedade de sorgo e segundo o qual houve inicialmente a dispersão para as outras regiões da África e posteriormente Oriente Médio, Extremo Oriente, Europa e finalmente o continente Americano (Doggett, 1970; Ribas, 2004; Silva, 2004). No Rio Grande do Sul, há registros de seu cultivo relatados na Estação Zootécnica de São Gabriel, em 1949 (Araújo, 1978).

Sua importância econômica diz respeito a sua vasta utilização. O sorgo é cultivado em áreas e situações de clima onde a produtividade de outros cereais é anti-econômica, razão de seu sucesso como cereal. Apresenta uma grande versatilidade, pois seus grãos podem ser usados como alimento humano ou animal, sendo este substituto do milho em rações, matéria-prima para a produção de álcool, bebidas alcoólicas, colas e tintas.

Suas panículas servem para a produção de vassouras e de seus colmos pode-se extrair açúcar, além de forragem para a nutrição de ruminantes (Ribas, 2004). Entretanto, as partes da planta em crescimento apresentam quantidades apreciáveis de durina (glicocídio cianogênico), o qual pode provocar envenenamento em animais, pela liberação de ácido cianídrico no rumem dos bovinos e ovinos, especialmente, mas quando conservados sob a forma de feno, diminui em 80% o conteúdo inicial do ácido.

Pela característica de suportar longos períodos de estiagem, a cultura pode ser cultivada em regiões com precipitações pluviométricas irregu-

larmente distribuídas e abaixo de $500\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$. Este caráter de xeromorfismo lhe permite uma maior tolerância a períodos de deficiência hídrica, com maior eficiência de uso de água comparativamente ao milho, razão pela qual é recomendado para as regiões da Campanha e Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, regiões consideradas marginais para a cultura do milho (EMBRAPA, 1983; Ribas, 1992; Silva, 2004).

As épocas de semeadura no Estado do Rio Grande do Sul devem ocorrer no período de primavera-verão, entre novembro a fevereiro, mas variável em função das condições climáticas locais. Entretanto, quando se deseja melhorar a produtividade com altos rendimentos, a melhor época de semeadura coincide com o início da primavera, de forma que o florescimento ocorra em dezembro e o enchimento de grão seja em janeiro e fevereiro. O melhor desempenho do sorgo granífero ocorre com temperaturas médias acima de 26°C com uma distribuição pluviométrica de $100\text{mm}\cdot\text{mês}^{-1}$ (EMBRAPA, 1982; EMBRAPA, 1983).

Os resultados de pesquisas mostram que as maiores produtividades de sorgo granífero variam conforme a cultivar e disponibilidade de água e nutrientes, obtidas nas populações em torno de 140 à 200mil plantas. ha^{-1} O espaçamento entre fileiras varia de 50 a 90cm com densidades de 14-19 sementes por metro ou então de 10-13 sementes, com uma tendência a se utilizar mais os espaços reduzidos (EPAMING, 1979; EMBRAPA, 1983; Mantovani, 2003).

A colheita pode ser manual ou mecânica, dependendo do tamanho da lavoura, volume de produção e das facilidades de utilizar mão-de-obra ou colhedora (EMBRAPA, 1983; Fonseca, 2002).

Ao optar por colheita manual, esta segue os mesmos princípios de sistemas adotados para outras gramíneas em pequena propriedade. O mais usual é colher apenas as panículas (corte a facão), sendo posteriormente levadas a um terreiro, para secagem e bateção.

Procurando a maior eficiência das colhedoras autopropelidas, as sementes de sorgo devem ser colhidas quando a sua umidade estiver entre 18 e 20%. Acima deste valor aumentam as possibilidades dos grãos não soltarem-se das panículas na trilha, e abaixo de 18% aumentam as perdas no momento desta. Portanto, os teores de umidade acima citados exigem que se execute a secagem artificial para baixar a umidade das sementes para a faixa de 12-13%, (EMBRAPA ,1983; Mantovani, 2003). Assim, sementes colhidas com elevados teores de umidade necessariamente devem passar por um processo de secagem, até atingirem teores de água compatíveis com o perfeito armazenamento.

A secagem e armazenamento para as sementes de sorgo são de vital importância, pois trata-se de um produto altamente higroscópico e que se deteriora facilmente. Para o sorgo granífero, a temperatura da massa das sementes dentro do secador não deve ultrapassar 43°C. Entretanto, se for um secador estacionário, a temperatura não deve ultrapassar 45°C, e se for um secador intermitente a temperatura média do ducto de entrada de ar quente, no máximo, deve atingir 70°C para que a massa das sementes não ultrapasse 43°C (EMBRAPA, 1983; GRUPO PRÓ-SORGO, 1989; Martins *et al.*, 1999; Lorini *et al.*, 2002; Fonseca, 2002).

2.2. A situação da cultura do sorgo no Rio Grande do Sul

A região da Campanha no Rio Grande do Sul é certamente uma das mais antigas e tradicionais áreas de cultivo de sorgo no país, com altos índices de produção, mas paradoxalmente, é a região onde são evidenciados os problemas de sua comercialização e seus efeitos se refletem no decréscimo anual de 2,5% em média, em área plantada (Coelho *et al.*, 2002; Ribas, 1992).

Os híbridos de sorgo granífero no Rio Grande do Sul foram introduzidos em fins de 1960, oriundos da Argentina e do Uruguai, de tal forma que as regiões da Fronteira Oeste e Campanha obtiveram um grande impulso econômico, elevando o Estado como maior produtor de grãos no começo da década de 1970. Somente o município de Bagé chegou a plantar de 20 a 25 mil hectares, mas hoje perdeu a hegemonia para o Centro-Oeste do Brasil a principal região produtora do país, hoje conhecida como “Sorghum-Belt”, com acréscimo de área, em torno de 2,75% ao ano (Coelho *et al.*, 2002; Ribas, 2004).

Dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) do IBGE (2000) indicam que as culturas de arroz, milho e soja ocupam em torno de 95% a área de plantio no Estado (5,870 milhões de hectares) e o sorgo apenas com 0,41% de área semeada. Esta tendência de pequena participação da cultura do sorgo permanece inalterável, conforme dados preliminares do mesmo levantamento em setembro de 2005¹ com área plantada de 21.672ha⁻¹ e colhido 21.413ha⁻¹, com um total de 27.372 ton⁻¹, o que corresponde a uma produtividade média de 1.278kg.ha⁻¹.

¹ Comunicação pessoal.

O Rio Grande do Sul é o quinto entre os estados brasileiros em área, produção e produtividade (IBGE, 1998; Coelho *et al.*, 2002). A produtividade histórica, em levantamentos de 1973 à 2000, variou de 1.500 a 2.500kg.ha⁻¹, no Brasil e o Rio Grande do Sul apresentou, nesta evolução histórica, o maior índice em torno de 2.119kg.ha⁻¹ (IBGE, 2000).

2.3. A situação da cultura do sorgo no Brasil

Desde a sua reintrodução em fins dos anos 60 e início dos anos 70, a cultura ficou restrita a áreas isoladas e regionais como a Campanha Gaúcha, Oeste de Santa Catarina e do Paraná, além do Semi-Árido Nordestino, em áreas tidas como marginais para a cultura do milho. Na década de 80, com a popularização do plantio direto, a cultura começou a ganhar mais espaço através do consórcio com outras culturas, em sucessão ao trigo e a soja.

Mas, a partir da década de 1990, com o desbravamento de novas áreas do Cerrado e oeste Baiano, de clima mais regular e crédito facilitado, a cultura começou a expandir-se como alternativa de sucesso, mediante sucessão a soja, milho e arroz. Hoje, os resultados são promissores, pois segundo a CONAB (2004), a região do Centro-Oeste é a principal área produtora de grãos, responsável por 56% do total que é plantado no país. Nesta área o sorgo detém 66% do que é produzido no país, sendo Goiás o estado recordista em produção e área plantada, seguida por Mato Grosso, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

Em 2004, a safra brasileira de sorgo atingiu 1.967 milhões de toneladas, o que constitui em um cereal altamente rentável e prático no perío-

do da “safrinha”, assim como para a região nordestina, onde a rusticidade e resistência à seca têm-se destacado, tanto para a produção de grãos, como para a ração animal (Ribas, 2004).

Tsunechiro *et al.*, (2002) e Ribas (2004) enumeram alguns aspectos para o aumento e expansão do sorgo na região do Cerrado e oeste do Semi-árido nordestino:

- Com o incentivo fiscal e crédito para novas áreas de fronteira agrícola, houve a migração das principais agroindústrias de carne do sul e sudeste para o Centro-Oeste em fins de 1980 e início de 1990;

- O aumento da produção animal na região demandou aumento do consumo de proteína, especialmente nas cadeias de bovinos de corte, suínos e aves;

- O sorgo tornou-se uma ótima alternativa, pois equivale em termos de preço a 80% do valor do milho, com um balanço nutricional bastante semelhante a este, o que dá ótimo resultado na composição energética das rações;

- A ação governamental para a divulgação e esclarecimentos sobre a cultura incentivaram os produtores e pesquisadores no desenvolvimento de híbridos;

- O desenvolvimento da técnica do plantio direto com o objetivo de promover cobertura no solo, e o plantio intercalado entre culturas das águas, “a safrinha”, proporcionou ingresso de receitas extras na propriedade.

2.4. Importância da secagem de sementes

Dentro de um ciclo de produção, a colheita de sementes representa a finalização de um processo que se inicia desde a semeadura até o momento de colheita. Assim, os investimentos realizados no campo de produção com suas estimativas de rendimento e qualidade final do produto não terão resultados satisfatórios caso não seja realizada a colheita em momento oportuno (Maia, 1995).

Mas, na produção de sementes forrageiras, o momento exato de colheita sempre foi um ponto crítico na tomada desta decisão, especialmente quando iniciá-la e o método a ser utilizado, pelas suas próprias características, quando se reflete em termos de quantidade e qualidade a ser produzida.

O momento de colheita é função de um conjunto de observações, os quais envolvem tamanho e/ou peso da semente, conteúdo de umidade, consistência do endosperma, alterações bioquímicas e abscisão das sementes. Estas alterações indicam que a semente atingiu o ponto de maturação fisiológica, e que está em condições de ser colhida (Griffiths *et al.*, 1967; Carâmbula, 1981). O termo maturação pode ser entendido como mudanças físicas, fisiológicas e funcionais que ocorrem na semente, atingindo peso máximo e onde se obtém o máximo de germinação e vigor (Razera, 1975; Popinigis, 1977).

Quando a semente atinge o ponto de maturação, o sistema vascular, que liga a semente à planta-mãe se rompe pelo nível de abscisão, ficando as trocas de nutrientes mínimas ou inexistentes, de forma que após este estágio a umidade da semente não apresenta relacionamentos com a planta, mas passando a ser influenciada pelas relações com o meio (Carvalho & Nakagawa, 1983).

O alto conteúdo de umidade na semente é a principal causa de perdas de germinação e vigor (Harrigton, 1959), pois as torna inadequadas para um armazenamento seguro. Antecipando o momento de colheita, é necessário secagem imediata, para que sejam mantidos os atributos fisiológicos de qualidade (Popinigis, 1977; Carâmbula, 1981; Carvalho & Nakagawa, 1983).

Portanto, o objetivo da secagem das sementes é retirar o excesso de umidade, até atingir níveis adequados que permitam obter elevada qualidade com alta porcentagem de germinação, vigor, longevidade e que possam ter um bom desempenho frente a ataque de insetos e doenças (Razera, 1975; Carâmbula, 1981; Cavariani & Baubet, 1982; Bounous, 1986). A secagem inadequada, bem como atrasos e/ou demora no processo, podem causar perdas irreversíveis na qualidade física e fisiológica da semente (Gianluppi, 1988; Maia, 1995).

Além da necessidade primordial de retirar o excesso de umidade das sementes, conforme anteriormente salientado, outros benefícios são citados por Rossi, 1980; Carâmbula, 1981; Delouche, 1981; Peske & Baudet, 2003; Biagi *et al.*, 1992, tais como:

- antecipação da colheita em espécies suscetíveis a debulha natural, com redução de perdas ocasionadas por ataque de doenças e insetos, intempéries e ação de pássaros;

- colheita o mais próximo possível ao ponto de maturação fisiológica;

- permite o planejamento da colheita com diferentes espécies, com emprego mais eficiente de maquinário e mão-de-obra;

-realização de colheitas em condições climáticas desfavoráveis, ou mais horas por dia;

- diminuição das perdas durante a armazenagem;
- liberação de áreas de lavoura antecipadamente;
- formação de estoques reguladores de mercado.

2.5.Fundamentos da secagem

Segundo Lasseran (1979) e Park (1988), a água no interior da semente pode estar ligada de diferentes formas nas estruturas orgânicas das sementes:

-“água livre”, é fracamente retida e ocupa os espaços intergranulares;

-“água de adsorção”, que é retida e adsorvida na superfície sólida, mantendo algumas substâncias dissolvidas nas células, tais como o amido, açúcares e ácidos;

-“água de absorção” que está fortemente retida e atraída por forças capilares nos interstícios do material sólido; está ligada à matéria de forma eletromagnética;

-“água de constituição”, que está quimicamente ligada às moléculas das sementes, sendo parte integrante da estrutura celular.

As relações de umidade com as forças que as retém na semente podem ser melhor exemplificadas em sementes de milho a uma temperatura

de 15°C: água livre acima de 27% de umidade, água adsorvida entre 13 a 27%, água adsorvida entre 5 a 13% e de constituição abaixo de 5% (Lasseran 1979).

Como no exemplo, as águas absorvida e a de constituição tem importância na conservação da semente, e teores acima de 13% não são desejáveis para um armazenamento seguro, regulado por uma relação de equilíbrio entre a pressão de vapor da semente e a pressão de vapor do ambiente que a rodeia. Quando esta relação entra em equilíbrio, temos o Ponto de Equilíbrio Higroscópico (PEH).

No processo de secagem, normalmente são removidas a água livre e a adsorvida, pois envolvem para sua retirada, um baixo nível de energia, chamado de calor latente de vaporização. Como é um processo de eliminação de líquido por evaporação, é necessário o fornecimento de calor para tal procedimento e um sorvedor para remover o vapor de água que se forma na superfície do produto a ser seco (Biagi *et al.*, 1992).

A água apresenta moléculas em estado contínuo de rápido movimento. Porém, quando a temperatura da água em estado líquido se eleva, ocorre um aumento no deslocamento de suas moléculas, o que acarreta no rompimento das ligações de pontes de hidrogênio entre estas, transformado-se em vapor de água (Gonçalves, 1974).

Park (1988) cita que a secagem pode ser realizada por três meios de transferência de calor: a) por convecção com a passagem de fluxo de ar aquecido, b) por condução através da superfície sólida e c) por irradiação. Dos três, a convecção é o meio mais empregado.

Um elemento particular da secagem com relação a remoção de água é que ela pode ser obtida por extração graças a diferença de pressão de vapor de água entre as superfícies do produto a ser seco e o ar que o rodeia (Lasseran, 1979). Assim, o ar de secagem possui quatro funções: a) levar a energia térmica para aquecer as sementes e promover a evaporação, b) reter o vapor de água liberado pela semente (sorvedor); c) transportar a umidade absorvida para fora do sistema de secagem d) provocar um novo vapor que possa ser evaporado (Kelly, 1960; Matthes & Rushing, 1972; Vianna, 1982).

A secagem de sementes é um processo que pode ser resumido como a transferência simultânea de massa de vapor de água e calor entre as sementes e o ar aquecido, como também nas sementes. A energia que é conduzida pelo aquecimento do ar mediante convecção eleva a temperatura das sementes, assim como da água que nelas está contida, fazendo com que a água líquida se transforme em vapor, ocupando os espaços vazios e desta forma gera pressão em todas as direções, do qual chamamos de “pressão de vapor”.

Quando esta pressão de vapor na superfície das sementes se torna maior do que a do ar que as envolve, ocorre então a transferência de massa, ou seja, o vapor de água que se encontrava internamente a superfície passa para o ar aquecido externamente. Contudo, internamente na semente há a transferência de massa, sendo que o mecanismo mais aceito para este tipo de movimento é o processo de “difusão” líquida ou vapor (Coates, 1960; Brooker *et al.*, 1974; Hall, 1980; Steffe *et al.*, 1980; Lasseran, 1978; Peske, 1991; Peske & Baudet, 2003).

Na prática, a umidade relativa tem sido utilizada como uma referência no processo de secagem, pois é a forma mais simples de aumentar o diferencial entre as pressões de vapor da semente e do ar de secagem, sendo que o aquecimento deste último diminui a umidade relativa, aumentando assim a capacidade de retirada de água (Peske & Baudet, 2003).

A capacidade do ar de secagem em reter umidade na forma gasosa é sempre proporcional a temperatura, ou seja, para um mesmo volume de ar, quando aumentar a sua temperatura, aumenta a capacidade de retenção de vapor de água. A quantidade de umidade que o ar pode reter é quase duplicada a cada 10°C de aumento na temperatura, sendo que a energia calorífica exigida para que ocorra a evaporação (calor latente de vaporização da água) de 1kg de água retida nas sementes com teores de umidade acima de 15% varia de 538kcal a 611kcal (Matthes & Rushing, 1972; Brooker *et al.*, 1981).

2.6.Métodos de secagem

Os métodos de secagem são classificados em naturais ou artificiais (Lasseran, 1980; Brooker *et al.*, 1981; Peske & Baudet, 1980,1984).

O método de secagem natural consiste na exposição do produto úmido ao sol ou à sombra em um ambiente seco a fim de que parte da água seja removida por evaporação, usando energia solar e eólica, disposto em eiras, tabuleiros perfurados ou peneiras. Esta prática vem sendo adotada quando as sementes são colhidas com uma baixa umidade e em regiões de clima mais seco, sem riscos de chuva repentinas, e orvalho intenso (Carâmbula, 1981).

Segundo Peske & Baudet (2003), a melhor secagem é aquela que se faz com as condições naturais, com o sol, o vento, sendo que para Reis (1990), é o procedimento mais utilizado no mundo e Puzzi (1977) informa que o método é amplamente difundido no Brasil. Martins *et al.*, (1999) acredita que 80% da produção nacional de cereais e grãos leguminosos são secadas de forma natural, pois é sabido que a maior parte da produção brasileira é proveniente de pequenos e médios produtores (cerca de 75%).

Este método empregado em nosso meio pode apresentar algumas vantagens: (Carvalho & Nakagawa, 1983; Biagi *et al.*, 1992; Peske & Baudet, 2003; EPAMING, 2004):

- a) apresenta baixo custo de instalação, associado ao emprego de fonte natural de aquecimento;
- b) não exige conhecimentos técnicos;
- c) usa energia limpa, barata, não deixando resíduos na natureza;
- d) aplicável para programas de melhoramento e sementes de hortaliças;
- e) baixo risco de danificação mecânica;
- f) diminui o armazenamento da semente a campo.

Por outro lado, apresenta alguns inconvenientes que limitam a sua aplicação:

- a) é um processo lento, sendo que para acelerá-lo, basta colocar as sementes em uma peneira a 0,5–1,00m do solo, possibilitando que o ar passe por cima e por baixo das sementes, abreviando o tempo de secagem;
- b) é totalmente dependente das condições climáticas (umidade relativa do ar e temperatura local), da espécie, das épocas do ano e regiões

onde é feita a secagem, refletindo-se em baixo rendimento qualitativo;

c) exige uma mão-de-obra exclusiva e em quantidade para as operações de revolvimento do produto;

d) utilizada somente com pequenas quantidades de sementes, com pequenos volumes a serem secos. Logo, atrasos na colheita ocasionam debulha natural com perdas de qualidade e quantidade.

Este método vem sendo adotado para secar sementes de espécies forrageiras na maioria das regiões produtoras do mundo, e em muitas delas nem sempre apresenta condições climáticas adequadas favoráveis, acarretando prejuízos na qualidade. No Rio Grande do Sul, este método é amplamente usado para a secagem de sementes de azevém anual [*Lolium multiflorum* (L) (Maia, 1995)].

O sucesso do método natural está associado a ambientes com baixa umidade relativa do ar, como relatado por Canode (1970), Favoreto & Rodrigues (1980) e Maia (1995). A Depressão Central/RS, segundo Bergamaschi *et al.*, (2003) apresenta um período de déficit hídrico de novembro a março, sendo janeiro e fevereiro os meses mais quentes do ano, apresentando médias das máximas em torno de 24,3°C e médias de umidade relativa do ar próximas de 70%, o que favorece a secagem de sementes neste período utilizando-se método natural.

O método de secagem artificial se caracteriza pela possibilidade de modificação e controle das propriedades físicas: temperatura e fluxo do ar de secagem (Peske, 1991). O princípio consiste em submeter as sementes úmidas a ação de uma corrente de ar que atravessa a massa, através de

estruturas especiais que possibilitem a secagem de maiores volumes em um curto espaço de tempo e independente das condições climáticas (Maia, 1995).

A secagem artificial apresenta outras vantagens em relação ao método anterior como:

a) rápida redução da umidade das sementes recém colhidas, permitindo a conservação da qualidade, evitando ações metabólicas e minimizando a ação de fungos e insetos;

b) possibilita o estabelecimento de um programa de operações entre o tempo de colheita e de secagem;

c) facilidade de operação, pois apenas um homem operando equivale a 25 homens em um terreiro.

O método apresenta alguns inconvenientes, ou seja:

a) o alto custo de aquisição de seus equipamentos e instalações;

b) é um processo dispendioso em termos de energia calorífica (para aquecimento de ar) e/ou mecânica (movimentação do ar de secagem);

c) exige uma mão-de-obra melhor qualificada tecnicamente (Puzzi, 1977; Biagi *et al.*, 1992).

Quanto à sua utilização em relação à temperatura do ar de secagem, é classificado em três tipos segundo, Andersen, 1954; Sonreson, 1960; Lasseran, 1980, Queiroz *et al.*, 1982 e Macedo *et al.*, 1989:

a) secagem em ar ambiente: utilizável quando a umidade relativa do ar é inferior a 70% e totalmente dependente das condições climáticas de cada região e época do ano;

b) secagem com ar aquecido suplementar: utilizável quando a umidade relativa do ar é maior do que 70% e se acrescenta uma pequena fonte de calor (aquecimento do ar de secagem variável de 4 a 8°C), o que provoca a redução da umidade relativa. Para cada 1°C de aumento na temperatura, a umidade relativa cai de 4 a 5%.

Com relação ao fluxo de sementes, o método artificial se divide em secagem estacionária e secagem de fluxo contínuo, tendo este último duas variações: contínuo e intermitente (lento ou rápido) em função do tempo de exposição das sementes ao ar aquecido e local onde se situam no secador (Brooker *et al.*, 1981; Teixeira *et al.*, 1980; Luz, 1986; Peske, 1991; Maia, 1995; Peske & Baudet, 2003).

O método estacionário consiste basicamente em forçar o ar através de uma massa de sementes que permanece sem se movimentar. Há quatro tipos básicos de secadores: a) de fundo falso perfurado; b) com tubo central perfurado; c) de bandeja; d) de sacos. Os dois primeiramente citados são mais utilizados.

Nos secadores de fundo falso perfurado e tubo central, a secagem ocorre em camadas, as quais secam parcialmente antes de continuar com as subseqüentes. Assim, forma-se inicialmente uma “zona de secagem”, chamada de frente de secagem, por estar mais próxima a entrada de ar, e esta seca até entrar em equilíbrio com a umidade relativa do ar, e o mesmo acontecendo com as demais, até a última camada. O deslocamento da frente de secagem é função da umidade do ar de secagem e do fluxo de ar (Roa & Villa, 1977; Luz, 1986; Peske & Baudet, 1981). Com fundo falso perfurado, a

secagem ocorre do nível inferior para o superior, enquanto que com tubo central, a secagem ocorre do centro para a periferia.

Com relação aos fluxos de ar utilizados, em geral são recomendados pela literatura que para a secagem estacionária as velocidades devem ser adaptadas de acordo com a espécie, mas variam de 4-7 a 11-17m³.min⁻¹.t⁻¹. de sementes. Não se aconselha usar fluxos inferiores a 4m³.min⁻¹.t⁻¹ pois o processo de secagem é muito lento, podendo comprometer a viabilidade das sementes, e também não se recomenda usar fluxos maiores do que 17m³.min⁻¹.t⁻¹ pois a potência exigida pelos ventiladores é muito alta, com grande consumo de energia. A umidade relativa a ser utilizada no fluxo de ar não pode ultrapassar 40%, pois abaixo deste ter-se-á uma supersecagem nas camadas mais próximas à entrada de ar, e acima de 70%, as sementes entram em equilíbrio higroscópico. A temperatura do fluxo de ar de secagem não deve ultrapassar em geral, a 40°C, para não causar danos à qualidade das sementes, uma vez que a temperatura da massa tende a se igualar com a temperatura do ar de secagem (Peske, 1991).

Um outro aspecto a considerar na secagem estacionária diz respeito a pressão estática e volume de ar de secagem. Assim, quanto mais alta for a camada de sementes, maior é a pressão estática e menor será o volume de ar através das sementes. A pressão estática varia em função da espécie, do teor de umidade, grau de pureza e distribuição das sementes no secador. A altura da camada é função da espécie a ser seca (maior para gramíneas e menor para leguminosas) e do teor de umidade da semente (maior para sementes mais secas do que para sementes mais úmidas).

Este método apresenta baixa capacidade de secagem em função da altura da camada ser regulada pela distância da entrada de secagem, fluxo de ar envolvido e da supersecagem que possa ocorrer, com objetivos de não prejudicar a qualidade das sementes.

A secagem com fluxo contínuo consiste em fazer passar as sementes uma única vez pela fonte de calor, de tal forma que ingressem úmidas no topo e sofram a ação do aquecimento, fluam continuamente no corpo do secador por gravidade e saiam secas na base do secador, o que vem a ser local de resfriamento da massa de sementes. Como a passagem é feita de forma única, é necessário que se eleve a temperatura do ar de secagem e controle o fluxo das sementes dentro da câmara de secagem.

Considerando a temperatura de secagem ou tempo de exposição não se recomenda o seu uso para sementes, pelos prejuízos que possam ocorrer na sua qualidade. De um modo geral, este método está associado a temperaturas do ar de secagem de 60 a 80°C com fluxos de ar de 40 a 160m³.min⁻¹.t⁻¹, com uma baixa na umidade relativa de 2 à 10%. A rápida remoção de umidade em apenas uma passada, podem provocar trincamentos, plântulas anormais e/ou a morte do embrião. Em função destas características, seu uso é muito limitado para sementes, sendo mais indicado para grãos (Maia, 1995).

Pode-se classificar este sistema pelo sentido do deslocamento das sementes e do ar de secagem, segundo Mackenzie (1960); Lasseran, (1979); Biagi *et al.*, (1992); Martins *et al.*, (1999):

- Concorrente: no qual o ar e o produto avançam paralelamente no mesmo sentido no interior do secador;

- Contracorrente: em que o ar e o produto avançam paralelamente, em sentidos opostos, no interior do secador;

-Corrente cruzada: o ar possui um deslocamento que é perpendicular ao das sementes, sendo que a maioria dos secadores possui este princípio.

Na secagem intermitente, as sementes sofrem a ação do calor (câmara de secagem) de forma alternada com períodos maiores de repouso (câmara de repouso), permitindo assim uma homogeneização da umidade e resfriamento, quando as mesmas fazem a volta pelas partes do sistema que não recebem ar quente (Rosa, 1966; Teixeira *et al.*, 1980; Peske , 1991).

Este sistema de secagem permite a retirada de água por unidade de tempo de secagem mais eficiente do que a alcançada com a secagem contínua, pois evita fissuras internas nas sementes, causadas pelos altos gradientes de umidade (Peske & Baudet, 2003). Logo, o sucesso deste sistema consiste em uma relação de intermitência, pois quando é empregado uma alta temperatura para a remoção da água superficial em um reduzido tempo, na maior parte do período restante sem a exposição ao calor, ocorre a migração de água do interior para a superfície, não danificando a qualidade fisiológica porque mantém a periferia da semente sempre hidratada (Puzzi, 1977).

A capacidade de secagem de sementes (kg de sementes secas por hora) é bastante alta quando comparada aos outros métodos, pois a movimentação da semente e a utilização do ar de secagem é mais intensa. Em contrapartida, dependendo da espécie e do número de voltas que as sementes dão, podem surgir danos mecânicos, o que prejudica a qualidade

das sementes. Por outro lado, o método pode ter baixa eficiência, uma vez que o ar, ao passar pelas sementes, tem baixa capacidade de reter a umidade (Peske & Baudet, 1981, 1984). Uma maneira de aumentar a eficiência é promover o aumento da temperatura do ar de secagem, fazendo com que a umidade relativa do fluxo de ar diminua, e assim aumente a capacidade de retenção de umidade.

Em função do tempo de exposição ao ar aquecido, a secagem intermitente pode ser lenta ou rápida.

A secagem intermitente lenta é uma adaptação do sistema contínuo, no qual as sementes são expostas mais tempo ao calor e à secagem, com um menor número de passadas pelo secador. Logo, quando as sementes atingem a base do secador, não completam a secagem, necessitando retornar para mais uma passagem e assim sucessivamente até atingir a umidade requerida. As câmaras de secagem e homogeneização são de tamanhos diferentes, e as relações mais usuais são de 1:2 ou 1:3 de tempo com ar aquecido e de homogeneização. Neste tipo, pode-se utilizar temperaturas de secagem do ar mais altas, variando de 60 à 70°C na câmara de secagem, para que a massa de sementes não ultrapasse 40-43°C (Cavariani & Baudet, 1982; Peske, 1991).

Com a movimentação das sementes e a utilização do ar com UR(%) bastante baixa (5-10%), a capacidade de secagem neste método é bastante alta, com a possibilidade de secar, dependendo do modelo de secador, 8 toneladas num período de 5 horas (Peske & Baudet, 2003). Na secagem intermitente rápida, o tempo de exposição em que a semente permanece exposta ao calor é menor que a anterior, a intervalos regulares e mais

freqüentes, expressos através de relações de 1:8 à 1:15 , ou seja 1 minuto sob a ação do ar aquecido e 8 à 15 minutos sem sofrer a ação do calor para equalizar a semente. Neste tipo de secagem, as temperaturas do ar de secagem podem ser mais elevadas, variável conforme a espécie. Segundo Bounous (1986) e Macedo (1989), as sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e de trigo (*Triticum spp* L.) podem secar a temperatura de até 80°C, e Cavariani & Baudet (1982) recomendam para soja (*Glycine max* (L) Merrill), a temperatura de 70°C. Peske & Baudet (2003), utilizando secagem intermitente rápida em arroz, concluíram que a relação é de 1:9, com a temperatura de 75°C, devendo-se ter cuidado com o excesso de circulação das sementes dentro do sistema de secagem, o que aumenta a possibilidade de danos mecânicos. Neste método, dependendo do modelo, consegue-se secar, em média 10, toneladas de sementes num período de 4 a 5 horas.

2.7. Matriz energética e fontes utilizáveis na secagem de sementes no setor agrícola do Rio Grande do Sul.

O balanço da energia pode ser definido como um sistema quantitativo que contabiliza e contrapõem oferta e demanda de energia. Sua importância reside em mensurar os seus usos e definir seus fluxos, uma vez que desta forma é possível organizar, sistematicamente, as ofertas e as demandas dentro de um determinado país, estado, região ou município, possibilitando a execução de planejamentos e a utilização para os mais devidos fins (RS, 2000).

De um modo geral, os fluxos de energia podem ser divididos em três grandes blocos principais:

- Oferta, que compõem a produção, a importação, o estoque inicial e final, perdas por transporte, usos dos não energéticos e as exportações;

- Consumo ou demanda, que compõem as mais diversas áreas como a agrícola, industrial, transporte, comércio, auto-consumo do setor de transformação, residencial, público e outros não computados;

- Transformação, compostas pelas refinarias de petróleo, pólos petroquímicos, unidades de beneficiamentos de alimentos em geral e de carvão mineral, as centrais termo e hidroelétricas, destilarias e carvoarias, e outros afins.

Atualmente, no Rio Grande do Sul são os seguintes os energéticos utilizados, segundo a Secretaria de Energia, Minas e Comunicação (RS,2000):

- Energéticos primários: são aqueles provenientes da natureza na sua forma direta, extrativa ou ainda residuais da biomassa tais como: petróleo, carvão mineral, energia hídrica e cana de açúcar, que são destinados aos centros de transformação, e o gás natural, lenha e casca de arroz que são consumidos diretamente.

- Energéticos secundários: que são aqueles que a partir de uma fonte primária ou até mesmo secundária, depois de sofrer um processo físico-químico ou bioquímico, modifica suas características iniciais, convertendo-a em energia mais adequada para ser consumida. São elas todos os derivados do petróleo (energético – óleo diesel e lubrificantes, gasolina automotiva, gás (GLP) – e não energéticos como as graxas, solventes, parafinas), o carvão mineral energético (coque que enriquece), os derivados da biomassa (álcool

etílico, anidro e hidratado; carvão vegetal e bagaço de cana) e eletricidade (oriunda das formas hidráulica, termoelétrica a carvão e a lenha).

O Rio Grande do Sul é um dos Estados da federação que tem sua economia fortemente baseada na sua agricultura de exportação, e se caracteriza pela alta mecanização, o que exige uma demanda de energia significativa através de dois caminhos da cadeia produtiva (RS, 2000).

A primeira demanda energética é originada pelas principais culturas anuais (grãos) como a soja, o milho, o arroz, o trigo, a cevada, o feijão e o sorgo, em função das operações de pré-plantio, plantio, tratos culturais colheita e transporte, sendo amplamente empregados os derivados do petróleo e em segundo plano os derivados da biomassa (álcool).

Para o atendimento da demanda de petróleo em todas as regiões do Estado há duas fornecedoras (PETROBRAS e COPESUL), que ingressam o produto por dois terminais que abastecem as duas principais refinarias (Alberto Pasqualini em Canoas/RS; pelo terminal Soares Dutra, em Tramandaí/RS, e Ipiranga em Rio Grande/RS, via porto). Uma vez refinados, os derivados líquidos são distribuídos por cinco empresas: ESSO S/A, IPIRANGA, PETROBRAS, SHELL e TEXACO, além de três distribuidoras regionais: CHARRUA, LATINA e MEGAPETRO. A distribuição dos derivados gasosos oriundos do refino é feito pelas seguintes empresas: AGIP do Brasil, COPAGÁS, MINASGÁS, NACIONAL GÁS, BUTANO GÁS, SHELL GÁS, SUPERGASBRAS e ULTRAGÁS.

A segunda demanda energética é proveniente da seqüência do segmento da cadeia que é a secagem e beneficiamento, que são realizados

em Unidades Produtivas, denominadas UBS/UBG, que no sistema são lançados no ramo alimentar, consumindo energéticos tanto primários (predomí nio de lenha e recentemente em menor escala o gás), como secundários (eletricidade).

O inventário florestal publicado pela Secretaria do Meio Ambiente (RS, 2001) informou que a cobertura de florestas no território gaúcho cresceu 197%, entre 1983-2001, representando 18,5% da área total, dos quais 17,53% são de florestas nativas (49.556km²) e 0,97% são de florestas plantadas (2.747km²). Analisando sob o ponto de vista energético, esse levantamento é importante, uma vez que a quantidade de lenha que é consumida na matriz energética é significativa. No ano de 2000, foram consumidos 21,5 milhões de metros cúbicos estéreos de lenha, o que equivale a uma área plantada de 555km² de acácia negra ou 773km² de eucalipto. Pela média entre as duas espécies, tal consumo representa cerca de 25% da área florestal plantada.

Este consumo é disseminado por pequenos agricultores em sua grande maioria, pulverizado em diversos segmentos econômicos: consumo agrícola (secagem de grãos e fumo); consumo industrial (fornos e caldeiras); comércio, serviços e residenciais (aquecimento de água, cocção, lareiras) e para demanda do setor de transformação (matéria prima para a produção de carvão).

O segmento gás, na forma de gás natural GN, ingressou na matriz energética do Estado em 2000 através dos acordos entre o Brasil, Bolívia e Argentina. Sua participação ainda é muito pequena, apenas 0,8%. O seu objetivo visa a substituição de alguns derivados do petróleo (óleo diesel), da lenha, carvão mineral, da eletricidade para o setor industrial (caldeiras,

secadores, estufas e geração de energia) em função da utilização direta do produto sem ser transformado (estado gasoso), além de queima total com diminuição de poluentes e maior rendimento térmico. Como é um elemento concorrente de grande potencial com os outros energéticos, ainda depende de alguns fatores como preço, investimentos na conversão da energia, disponibilidade de abastecimento e garantia de continuidade de fornecimento.

O energético eletricidade (RS, 2000) revelou que 37% se destinou ao segmento industrial, 32% para uso residencial, 15% para o segmento comércio, 5% para o segmento agrícola e o restante para os outros não computados (iluminação pública, setor público, geração de transformação).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido em três locais: no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre (30° 01' 53" S e 51° 13' 19" W), altitude de 10m do nível do mar; no Engenho Moinhos (30° 11' 29" S e 52° 22' 25" W), situado no km 146 da rodovia BR-290, em Pantano Grande, altitude de 110m do nível do mar; e na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (30° 05' 52" S e 51° 40' 08" W), situada no km 146 da rodovia BR-290, em Eldorado do Sul, altitude de 46m acima do nível do mar. Os três locais pertencem à região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul.

3.2. Caracterização do clima

A Depressão Central possui clima com classificação climática de Köppen (Mota, 1953) pertencente ao tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente). A radiação solar global é mais elevada no mês de dezembro, com média diária próxima de $509\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, enquanto que junho é o mês com a menor média diária, em torno de $206\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, sendo a média anual em torno de $350\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Os meses de janeiro e fevereiro são os mais quentes, com médias acima de 25°C e temperaturas máximas absolutas chegando a 40,2°C nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Junho e julho são meses mais frios, com médias aproximando-se de 9°C e mínimas absolutas de -3,8°C nos meses de julho e agosto.

Segundo os dados meteorológicos dos últimos 30 anos, a precipitação pluvial média anual é em torno de 1440mm apresentando com certa frequência, uma deficiência hídrica de aproximadamente 200,4mm (40,08mm.mês⁻¹) distribuída nos meses de novembro a março. A evapotranspiração (método Penman) demonstra que a demanda normal é elevada no verão, ficando em torno de 3,9 à 5,0mm.dia⁻¹.

Ainda com relação à curva normal, a umidade relativa do ar é maior nos meses de maio a junho, variando de 78,4 a 86%, e menor entre os meses de dezembro a março, de 70,7 a 78%. A média anual gira em torno de 75 a 80% (Bergamaschi *et al.*, 2003; IPAGRO, 1988)

Embora a região ecoclimática possua estas características, a época compreendida entre outubro de 2004 a maio de 2005 foi considerada anormal em relação à média histórica dos últimos 30 anos. O período em que a cultura do sorgo granífero foi implantada, inicialmente esteve marcado por uma precipitação regular em outubro/2004, seguida de uma forte e progressiva estiagem nos meses subseqüentes.

3.3. Caracterização do solo e histórico da área

A área onde a cultura do sorgo foi implantada situa-se no município de Pantano Grande, local denominado “Lagoão”, em solo pertencentes as clas

ses Argilossolo Vermelho Distrófico Latossólico unidade São Jerônimo (no topo e encosta) e Planossolo Hidromórfico Eutrófico, unidade Pelotas (várzea).

Os Argissolos caracteriza-se como um solo de ocorrência em relevos suave ondulados a fortemente ondulados e que apresenta limitações químicas devido a sua baixa fertilidade natural e forte acidez, exigindo investimento em corretivos e fertilizantes para que se alcance rendimentos satisfatórios.

Os Planossolo Hidromórfico caracteriza-se como um solo imperfeitamente ou mal drenado, que são encontrados em áreas de várzea em relevo plano a suave ondulado. Pela suas características são aptos para a cultura do arroz, e com sistemas de drenagem eficientes, podem ser cultivados com milho, soja e pastagens (Streck, 2002).

A área experimental onde foi cultivado o sorgo granífero, do qual foram obtidas as sementes para testar os diferentes tipos de secagem, vem sendo utilizada com plantio de soja no verão, e pastejo direto para gado vacum, consorciado com azevém, aveia e trevo branco no inverno e alternada com períodos de pousio, sendo que por questões de gerenciamento, optou-se em plantar sorgo na safra 2004/2005.

3.4. Condução da lavoura de sorgo

As sementes de sorgo granífero utilizadas no experimento, fornecidas pela Agropecuária São Domingos, são provenientes de uma lavoura de 35ha, distante 126km de Porto Alegre.

O preparo do solo foi convencional e realizado entre agosto e setembro de 2004, com controle das ervas daninhas com 4L.ha⁻¹ do produto

“Atrazinia”, com nova aplicação após 30 dias. A implantação da cultura ocorreu entre os dias 14 e 15/10/04, usando $10\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ da cultivar DKB 599 da DESKALB, em semeadora marca SEMEATO SAM 200, de 5 linhas, espaçamento de 45cm entre linhas, por 10cm entre as sementes, 10 sementes por metro linear e 1cm de profundidade. Utilizou-se $250\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de adubo na formulação 5-30-15, complementado com $200\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de uréia aos 45 dias após a semeadura. O controle de insetos e lagartas foi efetuado em 8 pulverizações, espaçadas de 30 dias, com o produto “Match” na dosagem de $300\text{mL}\cdot\text{ha}^{-1}$, com pulverizador marca Jacto (bico tipo leque) com capacidade de 200 litros.

3.5. Tratamentos

Os tratamentos utilizados neste experimento constam de 3 métodos de secagem:

- a) Secagem em eira, sob condições naturais (sol e vento);
- b) Secagem em secadores intermitentes, equipado com fornalha de combustão à lenha;
- c) Secagem em secadores estacionários, com fundo falso perfurado, equipado com queimadores a gás.

3.5.1. Tratamento secagem em ambiente natural

As sementes de sorgo granífero foram colhidas em 17 de março de 2005, sendo transportadas para o Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS. A secagem iniciou no dia seguinte com término dia 24 do mesmo mês, com duração de 7 dias ou 56 horas de secagem completa. A massa de sementes foi constituída de 300kg com teor de umidade médio de 18,9%. Foram inicialmente peneiradas em peneiras com malha 4mm

e após esparramadas em piso de 8m² (concreto), sob polipropileno telado, em 5 montes, cada um, de 60kg, e espaçadas em 0,5m, com 10cm de altura e expostas diretamente ao sol.

O tempo de exposição das sementes foi de 8 horas por dia, com início às 9h e término às 17h, sendo após recolhidas em sacos e armazenados em galpão no período noturno e novamente colocadas para secagem no dia seguinte. Este procedimento foi realizado até que as sementes atingissem o Ponto de Equilíbrio Higroscópico (PEH), ou seja, com a umidade entre 11 a 13%. A umidade final, após 56h foi de 12,60%.

Durante esta exposição diária, fez-se o revolvimento manual da massa, a cada uma hora, objetivando aumentar a capacidade de secagem, pela passagem do ar e incidência direta da radiação solar em um maior número de sementes.

O monitoramento do teor de umidade foi realizado diariamente, retirando-se amostras de 100g em aparelho digital da marca Multi Grain Wild. As mensurações, sem reposição, foram elaboradas em 3 horários: 9h, 14h e 17h, para verificar a evolução diária da perda do teor de umidade da massa de sementes.

Imediatamente após atingido o PEH, efetuou-se a coleta aleatória de 5 amostras de cada monte, perfazendo um total de 25 amostras, em torno de 1,0-1,5kg por mostra, acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas, sendo enviadas ao LAS/UFRGS para as determinações laboratoriais. Em função do experimento ter sido elaborado nas dependências da Faculdade de Agronomia da UFRGS, o qual se constitui microclima

“Campus do Vale”, utilizamos para este período o banco de dados da estação meteorológica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) (Apêndices 1 e 2).

3.5.2. Tratamento secagem à lenha

Foram utilizados no experimento dois secadores de fluxo intermitente lento, adaptado de fluxo contínuo, marca IMPASA 90 com capacidade estática cada um de 5.400kg, equipada com fornalha de combustão à lenha. Foi empregado como fonte de energia, uma pilha de lenha de eucalipto, na quantidade determinada de 2m³ no início da secagem. No término da secagem, foi registrado o consumo, chegando-se a 0,5m³ de lenha. O sistema é constituído de um secador propriamente dito (tipo bandeja) com depósito (câmara de repouso e equalização) para 4.320kg e câmara de secagem de fluxo cruzado para 10.80kg, de um sistema de descarga em calha por gravidade e por um elevador de canecas de 10m de altura, acionado por motor elétrico de 2HP e um silo pulmão de madeira de capacidade 2.700kg. Conjuntamente ao sistema há uma fornalha que aquece o ar, pela combustão da lenha, com guilhotinas para regulagem das misturas e velocidades de ar ambiente e ar aquecido e um sistema de tubulação de chapas de metal com 300mm de diâmetro, que distribui o ar, succionado por um ventilador marca REFRICON, com 7.300m³ de vazão, acionado por um motor elétrico marca EBERLE, de 4CV de potência.

Foram colhidos 10.800kg de sementes (a granel) em 01 de abril de 2005, com teor de umidade em torno de 18,1%. Após envio ao secador do “Engenho Moinhos”, em Pantano Grande, iniciando a secagem às 18h do dia

seguinte.

Ao chegar na UBS, foram descarregadas na moega, transportadas pelo elevador de canecas e passadas na máquina de ar e peneira tipo vibratória (tela superior R6 e tela inferior R2), para reduzir as impurezas e também reduzir a umidade da massa de sementes. Após a pré-limpeza, as sementes apresentaram 17,3% de umidade. Em seguida, a fornalha foi abastecida com lenha, sendo as toras dispostas de forma trançada, iniciando a combustão 15 minutos antes da secagem. Neste tempo foi realizada a carga do secador, o acionamento do ventilador, procedendo-se as regulagens: a) no registro de ar da câmara de combustão (em fornecer a quantidade de ar necessária para uma combustão eficiente); b) no registro do redemoinhador (que elimina as fagulhas da queima da lenha e constitui grande parte do ar de secagem); c) do registro da mistura de ar (que controla a temperatura ideal de secagem, mediante a mistura do ar ambiente com o ar proveniente da fornalha), mediante observação aos termômetros de haste, situados no corpo da câmara de secagem.

Testes preliminares de fluxos de ar foram realizados sendo adotado o de $67,00\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$. A temperatura do ar ambiente, antes do início do processo de secagem na UBS, era de 22°C sendo regulada para $50,3^\circ\text{C}$, para que a temperatura da massa de sementes ficasse em torno de 38°C . O monitoramento da temperatura de secagem foi feito por termômetro com revestimento de metal (sonda) no difusor, e a da massa de sementes, através de termômetro inserido no corpo do secador (termômetro de haste). A umidade relativa do ar de secagem foi monitorada através de termômetro (sonda) inserido no difusor.

Em seguida foi acionado o mecanismo de descarga começando o processo de secagem. Quanto ao número de passagens das sementes pelo sistema de secagem foi utilizado o tempo total de descarga por carga, que variou aproximadamente 50 minutos, sendo 10 minutos de permanência na câmara de secagem (relação de intermitência de 1:4). Assim, o número de voltas foi determinado pelo quociente entre o tempo de secagem e o tempo de descarga ou seja, 10 minutos na câmara de secagem e 40 minutos na câmara de equalização e monitoramento do teor de umidade, totalizando 4 passagens com o tempo total de secagem de 4 horas. Após, a massa de sementes foi encaminhada para o silo pulmão, para seu resfriamento, dissipação do calor e homogeneização dos teores de umidade, levando aproximadamente 30min, e com umidade final em torno de 12,30%. Ao término da secagem foram retiradas 25 amostras de 1,5kg cada, acondicionadas em sacos de papel, identificadas e enviadas ao LAS/UFRGS no dia seguinte.

Durante o processo de secagem e por ocasião de retirada de amostras na descarga foram feitas observações dos teores de umidade da massa de sementes previamente resfriadas na pesagem de 100g por amostra, mensurado em medidor digital Multi Grain Wild.

3.5.3. Tratamento secagem a gás

As sementes foram colhidas em 03 de maio de 2005 e transportadas no mesmo dia para os secadores estacionários localizados no Pólo de Tecnologia de Pós Colheita da Estação Experimental da UFRGS em Eldorado do Sul/RS, na quantidade de 5.400kg, com teor de umidade de 18,2%. Foram utilizados dois secadores de leito fixo, marca BARON (circular)

e BANDEIRANTE (retangular), ambos de 1,50m altura cada, com fundo falso perfurado de 0,50m (plenum) e chapa perfurada, com capacidade estática de 2.700kg cada, usando como fonte de energia gás GLP. O sistema de alimentação do gás é constituído por um reservatório tipo tubo hemisférico de 4.000L de capacidade (pressão de 2,24 Mpa), acionado por uma válvula e conectado por meio de uma tubulação de cobre, o qual se divide em dois queimadores, sendo que em cada um existe um anteparo de chapa metálica para evitar a entrada de fagulhas no sistema. Cada queimador é acionado conjuntamente através da abertura da válvula de combustível e por uma vela de ignição, mediante uma chave de comandos. Junto a cada secador, está acoplado um ventilador marca REFRICON, com vazão máxima de 7.300m³ acionado por motor marca EBERLE de 4CV, que insufla o ar aquecido.

O processo de secagem iniciou às 19h e 25min, e terminou às 00h e 30min, com duração de aproximadamente 5h. Na seqüência, o processo de resfriamento e homogeneização com insuflação de ar ambiente na massa de sementes foi de 4h, quando a semente atingiu o teor de umidade em torno de 12,90%.

O monitoramento das temperaturas do ar de secagem da massa de grãos, e fluxo da umidade relativa do ar de secagem foi feito com termômetro digital da marca Dry Eration, através dos termopares em perfurações existentes nas laterais do secador, tubulação do queimador e fundo falso perfurado (plenum) situados na base, 0,50 e 1,00m de altura, sendo feita a sua leitura após a estabilização. Quanto ao fluxo de ar, estando o secador em sua plena capacidade, foi utilizado a máxima vazão disponível pelo equipamento (17 m³.min⁻¹.t⁻¹).

Inicialmente, em ambos os secadores foi feito um pré-aquecimento para alterar a umidade relativa do fluxo de ar inicial de 55%, até atingir 23,5% com e temperatura do ar de secagem de 50,4°C, e temperatura da massa de sementes em torno de 34,6°C.

Foi procedido monitoramento, de hora em hora, do teor de umidade das sementes com amostragens regulares dos estratos frente de secagem, zona de transição e zona úmida, utilizando-se um calador tipo duplo, com 1,5m de comprimento, e 3,8cm de diâmetro com 6 janelas, inserido diagonalmente na massa de sementes. Para efeitos de caracterização, foi considerado frente de secagem aquela situada entre a entrada do fluxo do ar até uma altura de 0,50m; zona de transição, na altura de 0,50 a 1,00m e zona úmida, a altura acima de 1,00m.

Foram coletadas 100g de sementes por amostra para a leitura da umidade em medidor digital Multi Grain Wild. Quando as sementes situadas na frente de secagem atingiram pela primeira vez teores entre 11 à 13%, foi desligado o queimador, mantendo o ventilador insuflando ar ambiente para resfriamento da massa de sementes, evitando o superaquecimento das sementes e promovendo a homogeneização da umidade das camadas subseqüentes.

Após o término da secagem foram retiradas 25 amostras de ambos secadores (amostra de 1,0-1,5kg cada), homogeneizadas, acondicionadas em sacos de papel e identificadas. Concomitantemente, procedeu-se coletas estratificadas das camadas homogeneizadas, totalizando 15 amostras (5 por camada), sendo todas remetidas ao LAS/UFRGS para análises laboratoriais.

3.6. Velocidade de secagem da semente de sorgo

A taxa de secagem das sementes é representada pela umidade percentual (%) de retirada de água por hora de secagem (h). Foi calculada dividindo-se a umidade percentual de água retirada pelo número de horas de secagem. As curvas de secagem foram determinadas, portanto, através do ajustamento de curva relacionando-se o comportamento do teor de água das sementes e o tempo decorrido durante o processo de secagem.

3.7. Determinação da qualidade física e fisiológica das sementes

3.7.1. Teste de Pureza

Para a determinação da pureza foram recolhidas as 25 amostras de cada tratamento, consideradas amostras médias de trabalho, e enviadas ao LAS para serem submetidas a uma pré-limpeza inicial. As sementes foram peneiradas e passadas no soprador. Utilizou-se peneiras de malhas 4,0 e 2,0mm e soprador com tubo acrílico de 30cm de diâmetro e 1,00m de altura, com abertura calibrada em 6,5cm, sendo que o jogo de peneiras foi utilizado para a retirada de materiais maiores e menores do que a semente, em três passadas sucessivas. Na seqüência, utilizou-se o soprador por três minutos, para a retirada de materiais mais leves e mais pesados do que a semente de sorgo granífero.

De posse das sementes livres de impurezas uma nova pesagem foi executada, utilizando-se balança analítica com precisão de 0,01g, para a obtenção de amostras de 1kg aproximadamente. As sementes passaram pelo divisor de solo (mecânico), reduzindo-as em 5 subdivisões sucessivas, até

atingirem aproximadamente o peso mínimo determinado pela RAS (Brasil, 1992), que se constituiu na amostra de trabalho para análise de pureza, sendo avaliados: peso inicial, porcentagens de sementes puras, outras sementes e material inerte.

3.7.2. Peso de mil sementes

Conforme a RAS (Brasil, 1992), fez-se a pesagem de 8 subamostras de 100 sementes, da porção sementes puras obtidas da análise de pureza, calculando-se a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Se o coeficiente de variação não excedesse a 4%, o resultado era calculado multiplicando-se por 10 o peso médio das subamostras de 100 sementes.

3.7.3. Teor de umidade

Após a limpeza inicial, fez-se a determinação do teor de umidade das sementes, sendo utilizado o medidor digital Multi Grain Wild, com amostras de 100g em triplicata, calculando-se os resultados obtidos em média aritmética simples.

Para a determinação do teor de umidade dos tratamentos com secagem intermitente à lenha e estacionário a gás, foram coletados 25 amostras aleatórias. E para a determinação do teor de umidade do tratamento com secagem natural, foram coletados 25 amostras, sendo 5 amostras de cada eira.

3.7.4. Teste de Germinação

O teste de germinação seguiu o recomendado pela RAS (Brasil, 19

92), com 25 repetições de 100 sementes por tratamento de secagem, em temperatura de 25°C, utilizando-se um germinador de câmara, e papel filtro como substrato previamente esterilizado em exposição a luz violeta por uma hora. A duração do teste foi de 10 dias. As plantas foram consideradas normais quando apresentaram crescimento proporcional entre a parte aérea e o sistema radicular, plúmula com 1cm de comprimento e não apresentando deformações ou deteriorações.

3.7.5. Teste de Vigor

a) Primeira contagem

A primeira contagem foi realizada conjuntamente com o teste de germinação no 4° dia com tolerância de ± 1 dia. Esta contagem serviu como teste de vigor baseado no princípio que amostras com maior porcentagem de germinação na primeira contagem são mais vigorosas (Brasil, 1992).

Para os tratamentos secagem natural e secagem intermitente à lenha, o teste foi realizado entre os dias 6/04 a 11/04/05. Para o tratamento secagem estacionária a gás, o teste foi realizado entre os dias 08/05 a 13/05/05.

b) Índice de velocidade de germinação (IVG)

O teste foi estabelecido conjuntamente com o teste de germinação até o 5° dia. As contagens das sementes germinadas foram diárias. Este teste serviu para validar a primeira contagem e baseia-se no princípio de que amostras de sementes que apresentam maior velocidade de germinação são mais vigorosas (Brasil, 1992). O teste foi realizado no mesmo período conforme o item anterior.

3.8. Análise estatística

O delineamento experimental foi completamente casualizado. Os dados foram analisados estatisticamente com a ajuda do software SANEST (Zonta *et al.*, 1984; SAS, 2001), usando o Teste de Duncan para a comparação das médias, a 5% de probabilidade.

3.9. Avaliação do balanço energético

Em virtude da carência de dados de pesquisa, parte do trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho dos três métodos de secagem empregados, ou seja, usando-se energia solar, lenha e gás GLP como fontes energéticas e estabelecer parâmetros econômicos de consumo e custos finais. O balanço energético leva em consideração a energia necessária empregada para o processo de secagem. A partir das medições e conversões realizadas (Apêndices 3 e 4), foram calculados os seguintes parâmetros:

a) Determinação do peso final da massa de sementes: obtido pela fórmula $P_i \times (100 - U_i) = P_f \times (100 - U_f)$, (Milman, 2002) onde:

P_i = peso inicial da massa de sementes (kg);

P_f = peso final da massa de sementes (kg);

U_i = umidade inicial (%);

U_f = umidade final (%);

b) Perda de água: obtida pela subtração do peso inicial da massa de sementes (P_i) e peso final da massa de sementes (P_f) conforme a fórmula descrita no item a), em Kg;

c) Porcentagem de perda de água (%) calculada pela fórmula:

$$\frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

P_i

d) Energia solar utilizada: calculada, baseando-se na média de radiação solar global incidente no Campus do Vale (entre 18/03 a 24/03/2005) (Apêndices 1 e 2). Os resultados foram apresentados em $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

e) Energia térmica utilizada (secagem à lenha): obtida pela multiplicação da quantidade de lenha utilizada para secar 10.800kg (no caso 0,5m³ ou 360kg) pelo poder calorífico da lenha (eucalipto). Tendo em vista que 1kg de lenha (eucalipto) produz de 2.800 a 3.400kcal, utilizou-se o valor médio (3.100kcal/kg);

f) Energia térmica utilizada (secagem a gás): obtida pela multiplicação da quantidade de kg de gás GLP, utilizado para secar 5.400kg (no caso 12,36m³ ou 27,19kg) pelo poder calorífico do gás. (1kg de gás GLP produz 11.000 kcal.kg⁻¹);

g) Energia elétrica utilizada:

g.1) Lenha: para acionar o ventilador, utilizou-se 01 motor de 4CV e, para acionar o elevador, utilizou-se 01 motor de 2HP. Sabendo-se que a potência do motor do ventilador (4CV) e do motor do elevador (2HP), obteve-se 2,94kW de energia e 1,5kW de energia, respectivamente;

Para obter a energia elétrica utilizada, somou-se a energia do ventilador e do elevador e multiplicou-se pelo tempo de secagem (4h). Tendo em vista a utilização de 2 secadores, multiplicou-se por 2. O resultado foi apresentado em kWh;

g.2) Sistema a gás: para acionar o ventilador, utilizou-se 01 motor de 4CV, de potência. Tendo em vista que foram utilizados 02 secadores e 9h de secagem, obteve-se a energia elétrica utilizada na secagem a gás pela equação: $4CV \times 0,736 \times 2 \text{ secadores} \times 9 \text{ horas de secagem}$, totalizando 53,01kWh;

h) Custo da energia elétrica:

h.1) Lenha e gás obtido pela multiplicação da energia elétrica utilizada pelo preço público (CEEE, 2006)(Apêndice 3);

i) Energia térmica consumida (em kW):

i.1) Sistema à lenha: a energia térmica consumida na secagem à lenha foi obtida pela divisão da energia térmica utilizada (945.500kcal) pela equivalência do kcal em kW (1kW corresponde a 860,5kcal) (Milman, 2002);

i.2) Sistema a gás: a energia térmica consumida na secagem a lenha foi obtida pela divisão da energia térmica utilizada (24.530kcal) pela equivalência do kcal em kW (1kW corresponde a 860,5kcal) (Milman, 2002);

j) Custo da energia térmica (R\$): obtido pela multiplicação da energia térmica consumida pelo preço público (CEEE, 2006)(Apêndice 3);

k) Custo parcial da energia utilizada: obtido pelo somatório dos custos da energia elétrica com os custos da energia térmica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados está dividida em três partes: a primeira aborda a velocidade e perfil das curvas de secagem; a segunda, a qualidade das sementes em função do método de secagem e a terceira, engloba o balanço energético das fontes utilizadas.

4.1 Velocidade de secagem

Foi considerado o modo como ocorreu a perda de água das sementes de sorgo granífero. Elaborou-se as curvas de secagem, onde foi possível comparar a velocidade de secagem em cada um dos métodos (Figura 1, Tabelas 1, 2 e 3).

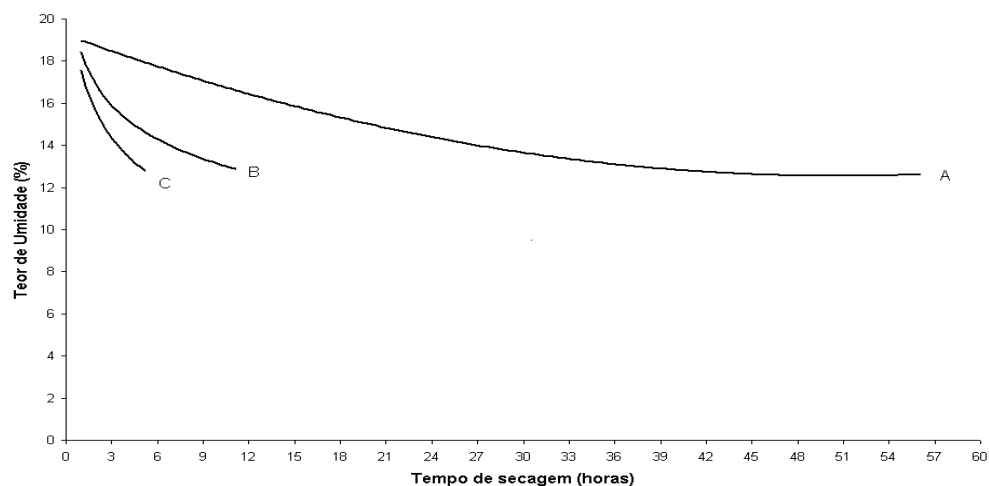


FIGURA 1. Curvas representativas dos teores de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem: A) em ambiente natural B) a gás e C) à lenha. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. Porto Alegre/RS – UFRGS, 2006.

TABELA 1. Teores de umidade de sementes de sorgo granífero por ocasião dos horários de mensuração das 5 eiras em secagem com ambiente natural. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS. Porto Alegre/RS, 2006.

Datas (dia)	Horários (h)	Eira 1	Eira 2	Eira 3	Eira 4	Eira 5	M Geral
		----- (%)-----					
médias	----	17,55	19,93	19,79	18,82	18,51	18,92
18/03/05	09h	16,70	17,48	18,99	17,90	16,85	
	14h	16,64	17,32	18,76	17,50	16,66	
	17h	16,00	17,27	18,12	17,41	16,65	
médias	-----	16,44	17,35	18,62	17,60	16,72	17,34
19/03/05	09h	14,04	16,00	16,60	15,71	15,89	
	14h	13,67	15,90	16,20	15,29	15,72	
	17h	13,27	15,86	15,90	15,00	15,34	
médias	-----	13,66	15,92	16,23	15,33	15,65	15,35
20/03/05	09h	13,01	15,59	15,67	15,64	14,34	
	14h	12,67	15,33	14,83	14,40	13,97	
	17h	11,30	12,12	14,05	13,26	13,78	
médias	----	12,32	14,34	14,85	14,43	14,03	13,99
21/03/05	09h	12,12	15,41	14,58	14,51	13,88	
	14h	12,04	14,03	14,10	14,10	13,60	
	17h	12,29	12,01	13,35	13,52	13,50	
médias	-----	12,15	13,81	14,01	14,04	13,66	13,53
22/03/05	09h	12,41	13,96	14,65	13,71	13,50	
	14h	11,82	13,85	14,08	13,53	13,41	
	17h	11,62	12,42	13,21	13,50	13,20	
médias		11,95	13,41	13,98	13,58	13,37	13,25
23./03/05	09h	12,49	13,71	14,23	13,30	13,20	
	14h	11,50	12,84	13,50	13,20	13,01	
	17h	11,35	12,36	13,01	13,10	13,00	
médias	-----	11,78	12,97	13,58	13,20	13,07	12,92
24/03/05	09h	12,30	13,16	13,26	13,12	12,84	
	14h	11,50	12,58	13,25	12,80	12,79	
	17h	11,00	12,05	13,00	12,45	12,71	
médias	----	11,60	12,59	13,17	12,79	12,78	12,58

TABELA 2. Valores da temperatura do ar de secagem e da massa de sementes, teores de umidade das sementes e umidade relativa do ar de secagem de sementes de sorgo granífero no tratamento secagem à lenha. Pantano Grande/RS, 2006.

Horas de secagem	Temperatura ar de secagem (°C)	Temperatura da massa ¹ (°C)	Teores de umidade da semente ² (%)	Umidade relativa secagem ¹ (%)
0	22,0	22,0	17,3	66,1
1	50,3	38,7	15,7	43,4
2	55,5	40,8	14,8	40,3
3	55,7	40,6	13,6	40,2
4	60,3	43,9	12,3	41,7

1- câmara de equalização 2- medidor manual

TABELA 3. Valores médios das temperaturas do ar de secagem, temperaturas da massa de sementes, teores de umidade por estrato e umidade relativa do fluxo de ar de sementes de sorgo granífero, no tratamento secagem a gás. EEA/UFRGS/RS, 2006.

Horas de secagem	Temperatura do ar de secagem (°C)	Temperatura da massa de sementes (°C)			Teor de umidade da massa de sementes****			Médias do teor de umidade da massa de sementes ¹	U.R ar de secagem (%)
		(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)		
0	25,0	25,0	25,1	25,1	18,2	18,2	18,2	18,2	55,0
1*	50,4	38,8	33,8	31,2	16,1	17,7	17,7	17,1	23,5
2*	50,2	47,9	41,8	34,5	14,7	17,0	17,3	16,3	22,5
3*	55,3	49,7	47,6	40,9	12,3	16,4	16,7	15,1	18,5
4*	54,3	51,2	47,4	43,2	12,4	14,8	16,5	14,5	18,5
5*	55,3	50,3	47,4	43,7	11,6	14,4	16,2	14,0	18,5
6**	20,1	47,1	39,8	38,1	11,8	14,3	15,5	13,8	35,5
7**	20,3	41,0	35,6	29,9	12,1	13,8	15,3	13,7	70,6
8**	20,7	33,3	25,8	24,1	12,2	13,5	14,8	13,5	69,0
9**	20,3	25,8	23,7	23,1	12,3	13,2	13,8	13,1	67,5
10***	20,4	22,2	22,5	22,7	12,3	13,0	13,2	12,8	68,4
11***	20,6	20,3	21,7	21,9	12,5	13,0	13,1	12,8	67,9

a = Estrato frente de secagem b= Estrato zona de transição c= Estrato zona úmida

* secagem ** resfriamento e homogeneização c/ ventilação *** resfriamento e homogeneização sem ventilação **** unidade: %/hora 1- unidade: %/hora

A análise comparativa das curvas de secagem permite observar que há diferenças entre os tratamentos, pois verifica-se que a água foi retirada numa taxa decrescente com o transcorrer do tempo, sendo mais lenta no método natural e mais rápida nos métodos de secagem à lenha e a gás. A velocidade e o modo como a dessorção da massa de sementes ocorreu, refletiu-se na elaboração das curvas. Há vários fatores que contribuíram para estas diferenças, entre os quais cita-se: a) escolha do método aplicado; b) tempo de exposição em que as sementes ficaram ao ar (aquecido ou não); c) temperatura do ar de secagem (altas e baixas); d) influência da umidade relativa do ar local (modificado ou não); e) vazão do ar de secagem (natural ou forçada); e) velocidade de emigração da umidade do interior da semente para a superfície. Estas observações estão de acordo com as informações de Hunt & Pixton (1974), Hukill (1974), Puzzi (1977) e Teixeira *et al.*, (1980) muito embora Brooker *et al.*, (1981) afirmam categoricamente que a secagem depende basicamente da umidade relativa e do fluxo de ar. Matthes & Rushing (1972) comentam que a velocidade de secagem depende exclusivamente de dois fatores: da velocidade com que o ar de secagem retira a água da superfície da semente e também da velocidade com que a água emigra para a superfície da semente.

A descrição do perfil das curvas de secagem deste estudo são semelhantes as encontradas nos trabalhos elaborados por Rosa (1966), Holman (1968), Hall (1980) e Puzzi (1977), pois a secagem processou-se com maior rapidez nas sementes com teores mais altos de umidade e tornou-se cada vez mais difícil à medida em que a semente foi secando. Nas sementes com alto teor de umidade, parte da água que foi retirada é livre, portanto fácil-

mente removida por um fluxo de ar seco.

A movimentação da umidade interna da semente tem relação com a sua composição química e podem influenciar na velocidade de secagem e na escolha do método a ser empregado. A força com que a água é atraída na semente pode variar de região para região, em função de seus constituintes químicos serem diferentes, e também em função das diferentes propriedades físicas como tamanho, forma, e estrutura. O fator mais determinante da maior ou menor capacidade de extração de água está na relação de afinidade da umidade interna com a composição química da semente, que podem ser, segundo Park (1988) higroscópicos ou hidrofóbicos.

Os produtos higroscópicos são os que apresentam maior capacidade de absorver água e incluem em sua composição maior teor de amido e proteína (arroz, milho, trigo, sorgo), ao passo que os hidrofóbicos apresentam o comportamento de repelir a água (soja, amendoim, linhaça, colza) em geral com maior teor de lipídeos e por sua vez são mais fáceis de secar, em função das propriedades físico-químicas e termodinâmicas das ligações de água nas estruturas sólidas das sementes (Biagi *et al.*, 1992). Quanto ao tamanho, as sementes diminutas como as gramíneas forrageiras e brássicas têm maior velocidade de secagem em função da menor distância de migração da água interna para a superfície do que sementes maiores, como trigo, cevada, milho e ervilha.

Portanto, a característica específica de cada produto, associado ao meio de transferência da fonte de calor adotado podem determinar quais as condições e o melhor método de secagem. Neste estudo, foi possível observar que a secagem com ar ao natural, em sementes de sorgo granífero,

apresentam velocidade de secagem mais lenta e função das limitações que o método apresenta, razão pela qual a curva foi mais extensa (56h). Nas secagens à lenha e a gás, a velocidade foi mais rápida (4h e 9h, respectivamente), em função da maior transferência de massa (água evaporada) para fora da semente pelas características das fontes utilizadas, combinações entre vários fatores psicrométricos e método usado. Embora os outros métodos tenham sido mais eficientes do que o natural, este último é amplamente utilizado no meio agrícola para a secagem de sementes forrageiras, mais por uma razão de redução no custo de secagem.

4.1.1. Curva de secagem das sementes de sorgo em ambiente natural

A relação entre o teor de umidade e o tempo de secagem das sementes de sorgo em ambiente natural é representada por uma função quadrática (Tabela 1 e Figura 2).

O tempo necessário para a redução da umidade de 18,92% para 12,58%, foi de 56 horas (7 dias, 8 horas cada). Em termos médios, as sementes perderam em torno de 0,11%/h (0,90%/dia de 8h).

Os dados de clima ocorridos no período experimental constam no apêndice 1 e 2. Neste perfil foi verificado que a variação na perda de umidade e seu comportamento é função das condições psicrométricas locais, o que denota que neste tratamento, a velocidade de secagem é totalmente dependente das condições climáticas.

Neste tratamento foi verificado uma acentuada perda de água do 1º ao 3º dia (24 h, 8h/dia)(Apêndice 2), em função das condições climáticas serem mais favoráveis para isso e menores do 4º ao 7º dia (32h, 8h/dia). Para o primeiro período, a média da dessorção ficou na ordem de 0,20%/h, e para o segundo período, a média foi de 0,04%/h. Assim ocorreu uma rápida perda de umidade em três dias em função do próprio processo de secagem, explicada pelo simples fenômeno de evaporação da água da superfície saturada da semente para o meio, determinando inicialmente uma alta velocidade de secagem. Na seqüência, as perdas foram reduzindo-se, tornando-se mais lentas do que a fase anterior, com tendência a estabilizar-se.

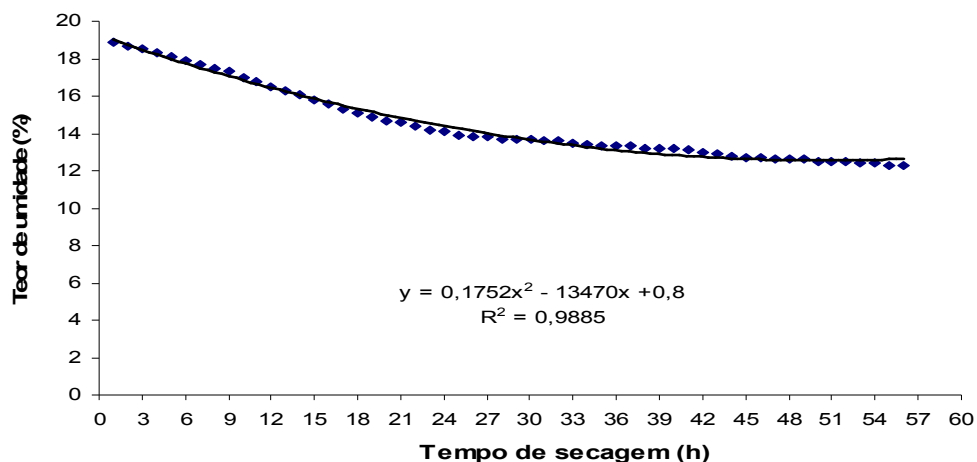


FIGURA 2. Curva representativa do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem em ambiente natural. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. Porto Alegre/RS - UFRGS, 2006.

As variáveis climatológicas, quando combinadas entre si, determinam maior ou menor velocidade de secagem como foi constatado neste estudo. O alto índice de radiação solar, ocasionando aumento da temperatura do ar e inversamente a redução da umidade relativa a níveis

abaixo de 70%, associado ao fator revolvimento periódico, aumentou a energia de entalpia nas sementes e acelerou o processo de dessorção da primeira fase, razão pela qual provocou a rápida evaporação da água. E na fase seguinte com radiação solar e temperaturas do ar mais baixas, e inversamente umidade relativa do ar mais elevada, mesmo com revolvimento da massa de sementes, a energia de entalpia foi menor, ocasionando baixa dessorção (Apêndices 1 e 2).

Entretanto o método secagem em ambiente natural apresentou uma velocidade de secagem muito baixa quando comparada com os outros tratamentos, em razão das limitações que este método apresenta. O tratamento com ar ambiente natural por definição, não permite que a massa de sementes fique em compartimentos totalmente vedados, associado ao uso da energia solar que apresenta um baixo poder calórico, e também pela dificuldade de poder modificar e permanecer constante as propriedades físicas do ar ambiente. Logo, a quantidade de calor distribuída na massa se dispersou muito facilmente, determinando uma baixa energia no sistema, explicando o porquê da secagem ser muito lenta e ocorrer em vários dias ao invés de horas como nos tratamentos à lenha e a gás.

A influência da temperatura no processo de secagem está relacionada principalmente na modificação da propriedade física da variável psicrométrica umidade relativa do ar, pois reduzindo o teor de umidade, aumenta-se a eficiência da capacidade do ar de retirar água da semente. Entretanto, analisando de um aspecto geral, a temperatura utilizada foi muito variável ao longo do dia e também durante todo o período da secagem. A

rápida dessorção inicial (até o 3º dia) somente ocorreu com temperaturas do ar mais altas (em média 26,6°C), com umidade relativa do ar em torno de 65,59% e uma velocidade dos ventos (vazão do fluxo de secagem) em torno de 2,47m.s⁻¹.(Apêndices 1 e 2 e Tabela 4), e da combinação destas variáveis, permitiu que ocorresse a dessorção.

TABELA 4. Temperatura do ar de secagem de sementes de sorgo granífero submetidas ao método de secagem ao natural. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS - 2006.

Dias	Temperatura do ar(°C)
1	28,8
2	24,1
3	27,0
4	29,8
5	20,9
6	18,0
7	22,3
Média	24,3

Na secagem de sementes de sorgo granífero pelo método artificial, se recomenda a adoção de temperaturas do ar de secagem acima de 45°C, para que a temperatura da massa de sementes esteja próximo a 43°C dentro do secador (EMBRAPA, 1983). Sabe-se que a partir desta temperatura há um aumento considerável na temperatura da água da semente, que provoca o acréscimo na pressão de vapor e, quando esta pressão é maior do que a do ar circundante, há a transferência de umidade da semente para o ar ambiente. Neste estudo, a máxima temperatura do ar atingida foi de 32,4°C, portanto bem abaixo do que é preconizado.

A baixa velocidade de secagem verificada pode ser perigosa, por permitir o desenvolvimento de microorganismos, pela menor capacidade de remoção de água na semente. Além de permanecer muito tempo com umidade, podendo provocar alterações na temperatura da massa de sementes, acelerando a respiração e acumulando gases fazendo com que seja considerado um risco. Logo, uma das maneiras encontradas para evitar esta situação e ao mesmo tempo aumentar a velocidade sem que ocorram prejuízos, foi a adoção do revolvimento periódico da massa de sementes, permitindo a homogeneização na distribuição da temperatura do ar e melhor passagem do ventos, pela renovação do ar nos espaços intergranulares.

O fluxo de ar empregado tem grande influência no processo de secagem pois conjuntamente com a temperatura do ar, permite maior eficiência na extração de água pois joga para fora do sistema (massa de sementes), ar parcialmente saturado com umidade. Como em secagem com ar ambiente natural não há uma especificação para a vazão de fluxo de ar, torna-se difícil mensurar uma vazão específica, como ocorrem nos métodos artificiais. Mas, neste estudo, podemos verificar que a velocidade utilizada foi muito baixa ($2,47 \text{ m.s}^{-1}$), o que é um fator limitante.

Segundo Lasseran (1978), há três elementos principais que limitam o método de secagem ao ambiente natural: a) lentidão na secagem e muito trabalho na sua execução, b) uma grande necessidade de mão-de-obra nas operações de carga e descarga, c) muitas perdas causadas por predadores, pássaros, insetos, roedores, fungos e insetos.

Apesar de suas limitações, a secagem com ambiente natural é um

método muito utilizado no meio agrícola, principalmente para secagem de pequenos volumes de sementes conforme aborda Puzzi (1977) e Naum (2004). No Estado do Rio Grande do Sul é muito utilizado principalmente para a secagem de espécies forrageiras como o azevém (Bounous,1986; Maia,1995), principalmente em épocas e regiões sem riscos de chuvas repentinas (Carâmbula, 1981).

4.1.2. Curva de secagem das sementes de sorgo pelo sistema à lenha

A relação entre o teor de umidade e o tempo de secagem de sementes de sorgo, submetidas à secagem à lenha, pode ser representada por uma função quadrática (Figuras 1 e 3 e tabela 2).

O tempo necessário para a redução da umidade de 17,3% para 12,3% foi de 4 horas, que em termos médios, representa uma perda de umidade de 1,25%/h. As sementes submetidas a secagem à lenha perderam umidade mais rapidamente que os demais tratamentos, em função de vários fatores conjugados: a) método utilizado; b) menor tempo de exposição das sementes a câmara de secagem e ao ar de secagem; c) ajustes na temperatura do ar, umidade relativa do ar de secagem e do fluxo de ar; d) sincronismo entre o tempo de exposição na câmara de secagem e tempo de equalização (1:4) e) homogeneização e dissipação do calor em silo pulmão.

Observa-se pela Tabela 2 que as variáveis fluxo de ar, temperatura do ar de secagem e da massa de sementes e umidade relativa do fluxo de ar influenciaram na perda de umidade, verificado pelo monitoramento da úmi-

dade da semente, e desta forma contribuíram para a elaboração da curva de secagem (Figuras 1 e 3).

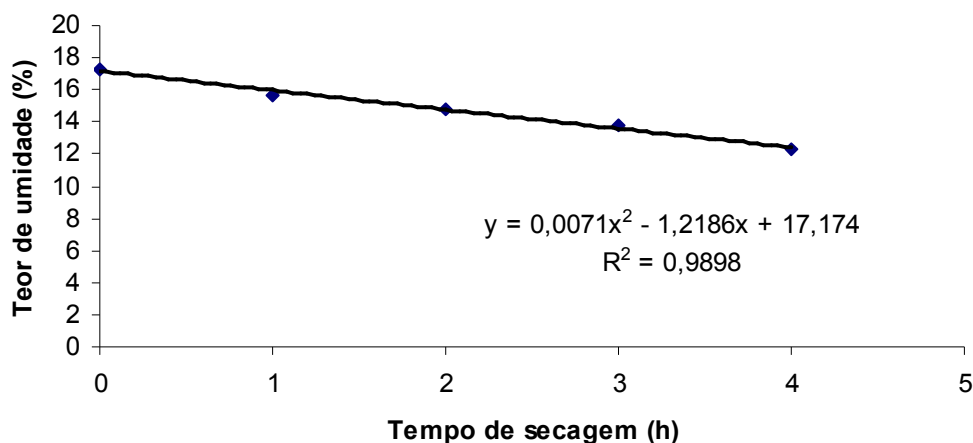


FIGURA 3. Curva representativa do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem pelo sistema à lenha. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. Porto Alegre/RS UFRGS, 2006.

A temperatura do ar de secagem seguiu o parâmetro estabelecido por Harrigton (1972), EMBRAPA (1983) e Peske & Baudet (2003) ou seja, determinou-se a temperatura pelos fatores: a) uso e destinação final do produto (produção de semente) e b) teor de umidade inicial. Assim iniciou-se a secagem com temperatura em torno 50,3°C ,ajustando-se ao longo do período, não ultrapassando o valor máximo de 60,3°C valor este que atingiu a temperatura máxima da massa de sementes recomendado que é de 43°C.

Quanto maior a temperatura, maior é a energia calorífica transmitida a semente, fazendo aumentar a pressão de vapor de água (energia de entalpia) acelerando a evaporação. Este fato ficou evidenciado pelo monitoramento do teor de umidade da semente a cada hora de secagem

(Tabela 2), demonstrando que a retirada da água na superfície da semente foi eficaz, quando da passagem do fluxo ar de secagem, período de exposição (fluxo de massa) e tempo adequado para que a migração da umidade de regiões mais internas na fase de equalização.

Estas observações são abordadas por Puzzi (1977) onde relaciona que sementes, quando secadas numa série de períodos curtos intercalados com períodos maiores de repouso, a quantidade de água retirada por unidade de tempo de secagem é consideravelmente maior. Logo, o sucesso deste sistema está na relação de intermitência, ou seja, no sincronismo dos dois tempos de exposição. Como parte da água migra de dentro da semente para a superfície, após a exposição é exigido um determinado tempo para que ocorra tal fenômeno, razão pela necessidade de homogeneização da massa, até que novamente a superfície fique saturada e assim sucessivamente até que semente atinja o seu PEH. Neste estudo a relação determinada entre os dois tempos foi eficaz para que ocorresse um bom desempenho na velocidade de secagem.

Outro aspecto que deve ser salientado é a relação entre a temperatura do ar de secagem, umidade relativa do fluxo de ar, vazão do fluxo de ar, tempo de exposição e movimentação das sementes, pois todos os fatores combinados entre si, são preponderantes e determinaram o bom desempenho da velocidade de secagem. O que se observou neste estudo foi uma estreita relação e sincronismo entre estas variáveis (Tabela 2).

O fluxo de ar de $67,00\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{t}^{-1}$ para cada secador está dentro da faixa estabelecida por Milmann (2002), cujas vazões variam de $32,84\text{m}^3.\text{min}^{-1}$

$1.t^{-1}$ a $72,44m^3.min^{-1}.t^{-1}$, suficiente para a extração da umidade do sistema, agindo como sorvedor. O aumento na temperatura do ar diminuiu a umidade relativa, aumentando assim a capacidade do ar em reter umidade da semente quando estas ficaram em contato com o ar insuflado (corrente fluxo cruzado) sendo posteriormente jogado para fora do sistema parcialmente saturado com umidade.

A secagem à lenha e a movimentação das sementes neste tratamento teve grande influência na velocidade de secagem, como ficou evidenciado neste estudo. A secagem intermitente permitiu a utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem do que nos outros métodos, sem contudo aumentar, excessivamente, a temperatura da massa de sementes devido ao período de equalização como verificado (Tabela 2). A movimentação das sementes neste método objetiva a homogeneização da secagem facilitando a passagem do ar pela menor pressão estática oferecida, aumentando a velocidade de secagem que foi verificada pelo decréscimo de ponto percentual a cada volta.

Os resultados obtidos apresentam comentários de alguns pesquisadores. Bounous (1996) ao elaborar as curvas de secagem de sementes de azevém, em secador intermitente lento e temperatura do ar de $50^{\circ}C$ e $80^{\circ}C$ com fluxo de ar de $86m^3.min^{-1}.t^{-1}$ verificou que velocidades de secagem alcançam, respectivamente, $1,7\%/h$ e $1,9\%/h$, enquanto que Luz (1986), trabalhando com sementes de arroz em secador intermitente lento à temperatura do ar de $70^{\circ}C$, variando fluxo de ar, teor de água inicial das sementes e o tempo de exposição ao ar aquecido, constatou que existe uma

relação linear entre a redução do teor de água e o tempo de secagem e que as velocidades de secagem alcançam 1,6%/h a 2,0%/h. Ahrens e Lollato (1995) avaliando lotes de feijão com teores entre 25 a 30% em secadores comerciais estacionário e intermitente a temperatura de 50 a 55°C, verificou que o secador estacionário apresentou uma velocidade de secagem mais lenta (1%/h) do que o intermitente (1,8%/h).

4.1.3. Curva de secagem das sementes de sorgo pelo método a gás

A relação entre o teor de umidade e o tempo de secagem das sementes de sorgo, submetidas a secagem a gás, pode ser representada por uma função quadrática (Tabela 3 e Figuras 1 e 4). O tempo necessário para a redução da umidade de 18,2% para 13,1% foi de 9 horas, representando uma perda de umidade média em torno de 0,55 %/h.

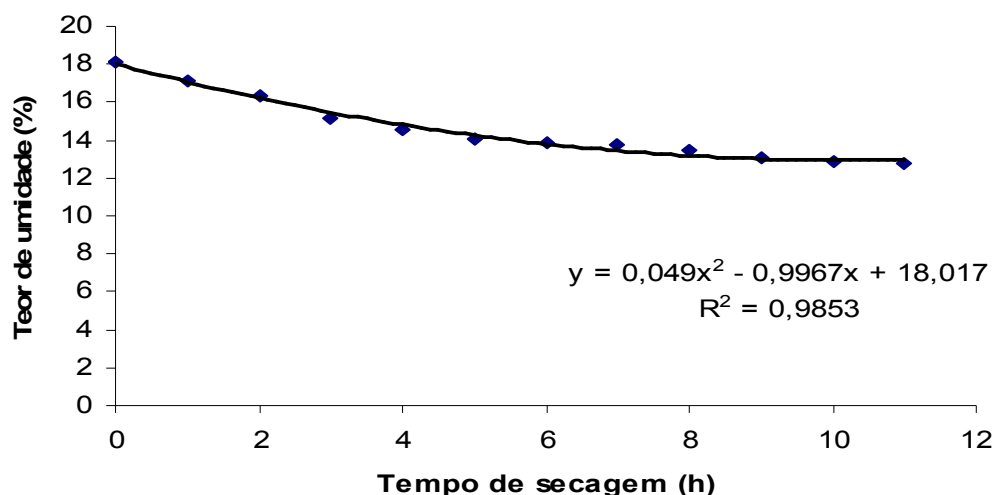


FIGURA 4. Curva representativa do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo de secagem pelo método a gás. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. Porto Alegre/RS - UFRGS, 2006.

Através da Tabela 3, observa-se que o processo de secagem foi elaborado em duas fases em função da perda de umidade da semente.

A primeira fase caracterizou-se pelo processo de secagem propriamente dito, ou seja com temperatura do ar de secagem entre 50,4°C (inicial) até 55,3°C (final) e temperaturas da massa de sementes (variável) inicialmente em torno de 34,6°C (média) chegando a 47,2°C (média), com teor de umidade de 14,0% (média), levando 5 horas na operação, determinando uma velocidade de secagem em torno de 0,84%/h. Os resultados das curvas de secagem por estrato nesta fase podem ser observados na Tabela 3 e Figura 5.

Verificou-se que nesta fase, a velocidade de secagem foi maior em função do sincronismo entre a alta temperatura do ar de secagem e a redução da umidade relativa do ar, aumentando a energia de entalpia na semente e assim promovendo a evaporação da umidade. Entretanto, pela Figura 5, observou-se também que em função da localização das sementes dentro do secador, a velocidade de secagem não foi uniforme, pois no estrato frente de secagem a operação se processou de forma mais rápida do que os outros estratos (curva mais acentuada). A velocidade foi maior neste estrato em função das sementes estarem mais tempo expostas diretamente ao fluxo de ar de secagem, provocando uma supersecagem, enquanto que os outros estratos houve uma sobresecagem.

Conforme citado na literatura, caso a velocidade de secagem se processe de forma muito rápida, pode haver trincamentos na semente, rachaduras no tegumento, no endosperma, nos cotilédones e até no embrião, em função da transferência de umidade na periferia ser maior do que a velocidade de migração interna, fazendo com que a superfície fique mais seca enquanto que o interior fica úmido. A consequência é o surgimento de forças

de compressão internas com forças de tração externas, e quando estas forças superam o cisalhamento, temos a ruptura dos tecidos da semente. Esta situação encontrada também foi observada nos trabalhos de Hall (1980) e Peske & Baudet (2003).

A segunda fase caracterizou-se pelo processo de resfriamento e homogeneização da umidade com insuflação de ar ambiente com temperatura inicial de 20,1°C até 20,3°C e temperaturas da massa de sementes inicialmente de 41,6°C (média) chegando a 24,2°C (média) com teor de umidade em torno de 13,1%, levando 4 horas, determinando uma velocidade de secagem em torno de 0,23%/h.

Durante o processo de resfriamento e homogeneização quando as sementes foram submetidas a temperatura e umidade relativa ambiente, o teor de umidade das mesmas aumentou no estrato frente de secagem, passando de 11,6 para 12,6% (Tabela 3). A absorção da umidade neste estrato é função de dois fatores conjugados: 1) a semente com teor de umidade entre 11 a 13% tende oscilar a sua umidade interna para atingir o equilíbrio do ar que a rodeia, 2) as condições psicrométricas são diferentes da fase anterior, e com insuflação de ar com umidade relativa próxima de 70% a semente absorveu parte da umidade do ar ambiente. As sementes nos estratos zonas de transição e úmida começaram a perder sua umidade para o ambiente (de 14,4 para 13,0% e 16,2 para 13,1% , respectivamente) em função da passagem de ar com umidade relativa mais baixa do que o estrato anterior promovendo a dessorção.

A homogeneização do teor de umidade se processou ao longo desta fase e, posterior a ela, pela migração de umidade, como se verificou nas

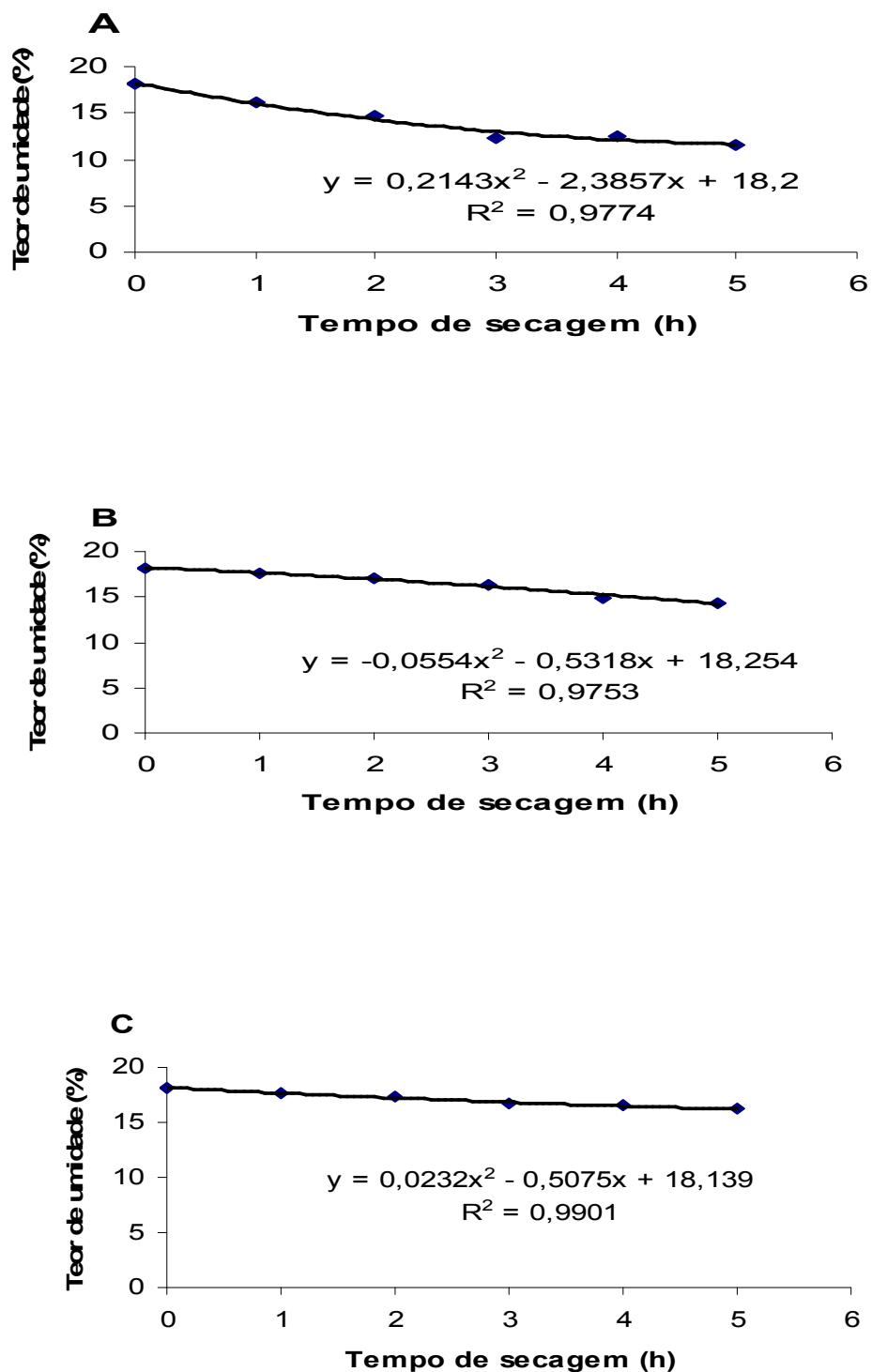


FIGURA 5. Curvas representativas do teor de umidade das sementes de sorgo granífero em função do tempo em diferentes estratos em secador a gás: A) Frente de secagem; B) Zona de transição; C) Zona úmida. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul/RS, 2006.

duas horas seguintes. Sua ocorrência provavelmente é função da relação da interface semente-ar com a diferença de temperatura da massa de sementes dos estratos, pois o ar intergranular não é estático como se supõe, mas em permanente movimento através de correntes de convecção de uma região mais quente para a mais fria (Sasseron, 1980).

Comparando o sistema a gás com os outros tratamentos, a velocidade de secagem foi maior que a secagem natural e menor do que o tratamento a lenha. Uma das explicações para esta diferença está relacionado com o método utilizado. O processo de secagem estacionária, segundo Queiroz & Pereira (1982), ocorre por camadas, sendo que cada camada é seca parcialmente antes de ir para a próxima. Forma-se inicialmente uma zona de secagem em que a primeira parte é a frente de secagem, onde efetivamente se produz o maior intercâmbio de umidade entre a semente e assim podem ocorrer diferentes temperaturas e teores conforme a posição em relação a frente de secagem.

Esta situação foi observada neste estudo, na medida em que a semente foi perdendo umidade, a migração da água do interior para a superfície foi mais rápida no estrato frente de secagem e mais lento nos estratos posteriores (zonas de transição e úmida), a uma vazão de ar de secagem constante. Mas em função da distância dos estratos em relação a entrada de ar, foi observado diferenças na temperatura e umidade da massa de sementes, gerando as desuniformidades na secagem. A resistência imposta pelo grande volume de sementes associado por camadas espessas e reduzido tamanho da semente e peso, gerou reduzido espaço intergranular

(arquitetura do dutos), oferecendo resistência a passagem do ar de secagem para as camadas superiores, fator determinante para as diferentes velocidades de secagem nos estratos.

A altura da camada foi um fator que influenciou no processo de secagem e sua velocidade, pois foi observado que quanto mais alta foi a camada de sementes, maior é a pressão estática, maior a temperatura de secagem e inversamente menor o volume de ar através das sementes. Neste estudo, foi constatado haver ultrapassado a temperatura recomendada para a massa de sementes nos estratos frente de secagem e em parte no estrato zona de transição, em função do maior tempo de exposição das sementes ao fluxo de ar de secagem, sendo máxima a temperatura no estrato zona úmida. A ultrapassagem é função das duas primeiras camadas situarem-se na região de entrada de ar de secagem, as quais sofrem a secagem em um primeiro momento, onde a desumidificação é mais rápida. Por conseguinte, a semente após algum tempo de exposição, adquirem temperaturas muito próximas a temperatura do ar de secagem. Logo é primordial o conhecimento do máximo tempo permissível para a secagem, sem que a temperatura ultrapasse a recomendação.

Sonreson (1958) recomenda para secagem estacionária com sorgo, uma camada de 25,4cm, com um fluxo de ar de $0,46\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, recomendando temperatura de 52 e 66°C, quando a umidade das sementes está entre 18 e 20% e 15 e 18%, respectivamente. Outros pesquisadores como Carâmbula (1981) e Cavariani & Baudet (1982) comentam que no método estacionário, a altura da camada deve ser regulada de forma que as

sementes próximas da entrada do ar não sofram excesso de secagem, e as mais distantes não demorem tanto a ponto de prejudicarem sua qualidade, sendo recomendado para as espécies forrageiras, a altura máxima de 0,5m.

Deve ser considerada que a resistência á passagem do ar também depende de outros fatores como forma, textura e tamanho das sementes. Neste aspecto, as sementes de sorgo granífero apresentaram uma redução de peso e tamanho em até 60% e podem ter contribuído para as diferenças nas velocidades. Segundo Pádua (1972) e Brooker & Baker (1974), sementes consideradas de superfície rugosa e/ou pequenas como arroz, trigo, alfafa, e trevos, por exemplo, oferecem maior resistência ao ar de secagem do que sementes de amendoim, milho, e soja, consideradas lisas e/ou maiores, para uma mesma vazão de ar. Farmer *et al.*, (1981) citam que a força do fluxo de ar para atravessar a massa de sementes é determinada pela pressão estática (decorrente da fricção), o que se deve ao teor de umidade, presença de materiais estranhos e arrumação das sementes, sendo que o fluxo de ar deveria ser de 4 a 20m³.min⁻¹.t⁻¹, a uma umidade relativa de 40% e a temperatura de 43°C.

4.2. Avaliação da qualidade de sementes

A avaliação da qualidade das sementes, submetidas aos métodos de secagem, foi verificada através da comparação das suas médias pelo Teste de Duncan a 5% e os resultados encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

As sementes apresentaram melhor qualidade fisiológica no tratamento à lenha (Tabela 5). Isso pode ser devido a vários fatores como: a)

TABELA 5. Teor de umidade, teste de pureza, germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem e peso de mil sementes (PMS) de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem, LAS/UFRGS, 2006.

Tratamentos	Umidade (%)	Pureza (%)	Germinação (%)	IVG	1ª contagem (%)	PMS (g)
Natural	12,2 a	99,5 a	84,4 b	36,7 b	81,2 b	25,3 b
Lenha	11,8 a	99,5 a	86,8 a	38,0 a	84,6 a	26,5 a
Gás	11,9 a	99,5 a	84,1 b	36,1 b	80,4 b	24,2 c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

TABELA 6. Teste de germinação (%) e índice velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento de secagem estacionária, em três estratos, LAS/UFRGS, 2006.

Estrato	Germinação (%)	IVG
1. Frente de secagem	81,69 c	35,43 b
2. Zona de transição	83,80 b	35,41 b
3. Zona úmida	89,80 a	39,49 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). C.V.= 1,47% para germinação e C.V.= 3,29% para IVG.

a realização de uma pré-limpeza inicial, pela eliminação de materiais inertes e redução de quase 1% de umidade da massa de sementes; b) alta vazão do ar de secagem, o qual permitiu maior extração de umidade, c) menor tempo de exposição das sementes a temperatura do ar na câmara de secagem, d) bom sincronismo entre o tempo de secagem e a equalização, aumentando a velocidade de secagem, d) movimentação das sementes. Estas observações são semelhantes com os trabalhos de Luz (1986) e Peske & Baudet (2003).

Com relação a secagem natural, o seu menor desempenho pode ser explicado por vários fatores: a) baixa vazão de secagem (dependência da velocidade dos ventos); b) baixo poder calorífico da fonte utilizada; c) dissipa-

ção da energia distribuída no sistema, o que provavelmente não permitiu uma melhor eficiência de secagem da massa; d) baixa velocidade de secagem, que pode ter contribuído para elevar a taxa respiratória na semente, afetando a germinação e o vigor. Logo na utilização da secagem natural para este estudo, houve limitações pelas condições climáticas e peculiaridades que o método exige. Como neste tratamento, as sementes foram dispostas em montes (enleiradas) e portanto são dependentes das condições ambientais, a secagem verificada foi muito lenta e desta forma pode ter influenciado na qualidade final da semente a ser obtida, assim como em semelhante trabalho elaborado por Bounous (1986).

A secagem a gás apresentou pior desempenho em relação a secagem a lenha, não diferindo da secagem em ambiente natural. Alguns fatores podem ter colaborado para isto tais como: a) não realização de uma pré-limpeza; b) mesmo com a utilização da máxima vazão de secagem, houve dificuldades do ar de secagem transportar a umidade das camadas mais distantes (estratos zona de transição e zona úmida) para fora da massa, em função da pressão estática e características das sementes utilizadas; c) a massa de sementes ficou muito tempo exposta ao fluxo de ar e promoveu uma supersecagem nos estratos frente de secagem e zona de transição, o qual refletiu-se em menores índices de germinação e vigor (IVG e primeira contagem; Tabela 5). Logo, na secagem a gás, pelo método estacionário, é importante ressaltar que se deve ter cuidados na supersecagem, no material a ser utilizado e no manuseio na operação.

O poder germinativo da semente é um importante indicativo de qualidade inclusive dando uma noção de como ela foi obtida. O processo de

secagem visa garantir esta qualidade e sua conservação por período determinado de armazenamento até a próxima semeadura.

Os fatores tempo de exposição ao calor e temperatura da massa de sementes em secagem parecem ser indicadores consistentes que afetam o potencial de germinação (Apêndices 5 e 6) em especial na secagem artificial, estando os resultados deste estudo, em parte, de acordo com os trabalhos de Welch (1967). Segundo este autor, sementes de soja secadas pelo método estacionário, em camadas finas, com ar de secagem de 24 a 41°C sofreram pequena redução na germinação, enquanto que na temperatura de 57°C, a germinação foi reduzida pela metade, e a temperatura de 74°C, ocasionou a morte das sementes. Entretanto Ahrens (2001), trabalhando com aveia branca com diferentes temperaturas de ar de secagem com secagem estacionária, verificou que a qualidade fisiológica das sementes não foi prejudicada quando a temperatura atingiu 55°C.

Arehns e Villela (1996), trabalhando com dois modelos de secadores comerciais, um intermitente lento, com a temperatura do ar de secagem a 60°C e a 65°C e outro rápido a 50°C, avaliaram a redução do teor de umidade de 20 para 13% e sua influência na qualidade fisiológica das sementes de tremço azul. Os autores concluíram que a germinação não foi afetada pelas altas temperaturas sendo verificado 97%, 98% e 97% de germinação respectivamente, e após seis meses, em um novo teste, acusou 96%, 97% e 96%.

Para a secagem em ambiente natural, os dois fatores anteriormente citados são relevantes, e o que pode causar alterações na germinação estão mais relacionados com o método e dependência das condições climáticas, sen-

do que os resultados obtidos neste estudo concordam em parte com os resultados de Bounous (1986). Este autor trabalhando com sementes de azevém colhidas com 35% de umidade (24 dias após a antese) com alta umidade relativa do ar na região de Pelotas/RS, com dois tratamentos de secagem: 1) natural (colhidas e expostas ao ar livre o tempo necessário); 2) enleirado (colhidas e dispostas em montes até atingir a umidade desejada) comprovou haver comportamentos distintos em termos de qualidade. Concluiu que na secagem natural da semente, obteve melhor desempenho com 91% de germinação e 85% de vigor, enquanto que enleirado, os resultados foram baixos, afetando o vigor das sementes (65%).

O vigor é uma característica importante e deve-se dedicar toda a atenção quando se pensa em sementes de qualidade, pois é através deste atributo que se determina quais os lotes mais adaptados as condições desfavoráveis (Apêndices 7,8 9 e 10).

Em secagem ao ambiente natural, a baixa velocidade de secagem verificada pode ter contribuído para elevar a taxa respiratória na semente, consumindo reservas e podendo afetar em parte a germinação e o vigor, pelo maior tempo de permanência de água livre na semente, formação de gases e vapor de água nos espaços intergranulares. O revolvimento periódico da massa de sementes ajudou a reduzir esta situação, pela homogeneização e maior tempo de exposição da massa as condições ambientais. O ideal seria a colheita e imediata secagem, e atrasos, retardamentos ou secagem muito lenta comprometem a qualidade conforme descreve Harrigton (1972).

No tratamento secagem à lenha o resultado do teste de vigor foi melhor em função de vários fatores conjugados. A particularidade do método

permitiu uma rápida velocidade de secagem, em função do menor tempo de exposição das sementes ao ar de secagem, ajustes na temperatura, vazão do ar de secagem e umidade relativa do ar, combinado com movimentação da massa de sementes. Como este sistema foi projetado para que parte do calor usado seja eliminado com água evaporada e jogado para fora do sistema, a qualidade fisiológica não chega a ser danificada, pois as sementes são secadas numa série de períodos curtos intercalados com períodos maiores de repouso. Os resultados deste trabalho são semelhantes com os de Arehns e Villela (1996), Arenhs e Lollato (1995) pelo teste de vigor em sementes de tremoço azul e aveia, respectivamente.

No tratamento secagem a gás, o resultado do baixo vigor encontrado pode ser explicado pela relação dos fatores tempo de exposição à secagem, temperatura utilizada, altura da camada de secagem e estrutura da semente que provocaram perdas na qualidade por injúria. A interação destes diversos fatores contribuíram para que houvesse desuniformidades na velocidade de secagem dentro da massa, afetando a qualidade fisiológica e assim determinando baixa emergência de plântulas. Este comportamento reafirma as conclusões de Berjak e Villier, (1972) onde comentam que uma semente, cuja a estrutura é morfo e fisiologicamente deteriorada por qualquer elemento externo, não tem mais capacidade de restaurar seus tecidos injuriados, sendo que a única possibilidade será quando ela absorve umidade e isto só ocorre em processo de germinação. Assim no reinício do processo germinativo, o metabolismo é ativado, com a liberação de energia para emergência, que não será inicialmente empregada para o processo de estabelecimento da nova plântula, mas será canalizada para ser gasta em

restaurar os tecidos injuriados, ou isolá-los. Dependendo do grau de injúria, poderão ser maiores os gastos energéticos e o tempo gasto para repará-los e inclusive nem ocorrer o processo germinativo. Somente após o término das reparações é que será retornado o processo de germinação. É desta forma que se entende o porquê das sementes de baixo vigor, apresentarem uma velocidade de emergência muito baixa como as encontradas.

A importância do peso de mil sementes esta na razão direta em ser um dos atributos físicos de um lote ou amostra de sementes que é utilizado para o cálculo da densidade de semeadura, inclusive dando uma noção do estado de maturidade, tamanho e sanidade das sementes produzidas conforme comentários de Tillmann & Melo (2003).

A análise de variância para peso de mil sementes (PMS) mostrou um efeito significativo entre os tratamentos sobre esta variável nas sementes de sorgo granífero (Apêndices 11 e 12). Os dados mostraram diferenças entre as médias pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). O menor peso verificado pode ser explicado em função da semente ter ficado exposta na secagem a gás, provocando uma supersecagem determinando assim um maior desgaste energético da semente pelo consumo de reservas (Maia, 1995) ao passo que no tratamento à lenha, o maior peso esteja relacionado com a relação de intermitência, ou seja menor tempo de exposição dentro do secador e maior tempo de equalização. As sementes em secagem ao natural apresentaram menor peso do que à lenha e maior a gás, provavelmente pela baixa velocidade de extração de água em função do método utilizado, embora tenha ficado maior tempo de exposição ao sol.

A análise de variância para o teste de pureza e teor de umidade pa-

ra o teste de pureza e teor de umidade demonstrou não haver diferenças entre as médias pelo teste de Duncan ($P < 0,05$) indicando que o procedimento de pré-limpeza (peneiradas e passadas no soprador), previamente executado no laboratório, foi eficiente no preparo das amostras de trabalho para os testes (Apêndices 13 a 22). Os resultados verificados foram: 99,54% para sementes puras, zero de outras sementes e 0,44% de material inerte. O monitoramento do teor de umidade da semente é muito importante pois é um fator que afeta a longevidade e viabilidade. Teores de umidade acima de 13% não são desejáveis para uma perfeita manutenção, armazenamento e conservação das sementes, sendo ideal uma faixa de umidade entre 11 a 13%, como abordam Peske, (1991) e Baudet (2003).

Os resultados apresentados na Tabela 6, demonstrou haver significância ($P < 0,05$) entre os diferentes estratos do tratamento secagem a gás, nas variáveis germinação e índice de velocidade de geminação (Apêndices 23 a 26) demonstrando que a secagem das sementes o estrato zona úmida foi melhor.

Observando os resultados, constata-se que as diferenças são provenientes do processo de secagem que neste método ocorre por camadas, influenciando na velocidade de secagem e na qualidade fisiológica da semente.

A altura da camada pode influenciar a qualidade. Embora tenha-se comentado que a melhor altura para a secagem de sementes de sorgo seja de 0,50m, Roa & Villa (1977) relatam que a secagem com ar ambiente forçado pode ser realizada em silos completamente cheios, com altura da camada de sementes de até 5m, e que nesse sistema, pode-se obter uma alta eficiência

térmica. Além de evitar o manuseio das sementes, reduz o risco de danificações mecânicas e contribui para a obtenção de sementes com alta qualidade fisiológica. Entretanto, Garcia *et al.*,(2005) trabalhando com sementes de trigo a 17,1% de umidade e em secagem estacionária com fluxo de ar muito baixos (de 0,7 a 1,3m³.min⁻¹.t⁻¹), em silos com 6m de altura, concluíram que a altura da camada de sementes de até 5,25m, não causou efeitos imediatos e prejudiciais à qualidade fisiológica das sementes.

A necessidade de movimentação da massa de sementes a intervalos regulares embora não prevista tecnicamente neste método, é comentada por Milman (2002) para evitar a desuniformidade na umidade final do produto e a supersecagem, embora Peske & Baudet (2003) informem que o uso de umidade relativa do ar de 40% e temperatura de 60°C seja a solução ideal para esta situação.

Neste estudo foi observado a ação da temperatura de secagem e tempo de exposição das sementes nos diferentes estratos. Como a semente sofre um certo aquecimento, que ocasiona a difusão da umidade interna para a superfície e um aumento na pressão parcial de vapor do líquido, resulta em um aumento na vaporização e a secagem se processa mais rapidamente. Mas em razão da semente permanecer muito tempo em contato com o ar de secagem até o momento em que estejam secas, deve-se tomar as preocupação com a temperatura do ar utilizada, pois as sementes tendem a ficarem com a mesma temperatura do ar de secagem e o aquecimento excessivo causa inativação de proteínas e morte do embrião.

Foi observado que temperaturas da massa de sementes acima de 43°C por períodos de 4h, (principalmente nos estratos frente de secagem e

zona de transição) prejudicou a qualidade (redução da germinação e vigor), confirmando não ser prudente usar valores acima do recomendado pela pesquisa, embora o teste de germinação apresente valores satisfatórios. Entretanto, há pesquisadores que não consideram tais argumentos, sob a alegação que tal explicação varia de acordo com a espécie, e dentro da própria semente. Benett e Marchbanks (1969) trabalhando com *Paspalum dilatatum* com temperaturas entre 38°C a 60°C verificaram que não houve diminuição na germinação e Grabe (1957) trabalhando com *Bromus spp.*, concluiu que a resistência a altas temperaturas é maior quando se trabalha com percentagens de umidade menores, e que o dano depende do conteúdo de umidade e da duração da secagem.

4.3. Balanço Energético

Os resultados do balanço energético dos três métodos de secagem de sementes de sorgo encontram-se na Tabela 7.

De acordo com a Tabela 7 é possível afirmar que a fonte energia solar pode ser utilizada para trabalhos de secagem de semente, a um custo zero em termos aquisição de energia, sendo limitado pela época do ano, condições climáticas locais, e volume de produção. A energia solar, apesar do seu baixo poder calorífico ($375,22\text{cal.cm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e baixa velocidade de secagem (0,11%/h) vem sendo ainda muito utilizada no meio agrícola, sob os mais diversos aspectos, por ser de menor custo, seja direta ou indiretamente, conforme comentam Puzzi (1977) e Reis (1990). Além disso, pelos resultados deste estudo, as sementes não ficam expostas a temperaturas muito elevadas,

TABELA 7. Custo energético parcial da secagem de sementes de sorgo granífero (ar natural, lenha e gás). Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, 2006.

Indicadores	Métodos de secagem		
	Natural	Lenha	Gás
a) Peso inicial (kg)	300	10. 800	5. 400
b) Peso final (kg)	278,31	10.184,26	5.083,08
c) Perda de água (kg)	21,69	615,74	316,92
d) Porcentagem de perda	7,2	5,7	5,8
e) Tempo de secagem (h)	56	4	9
f) Energia térmica utilizada (solar)	375,22cal.cm ⁻² .dia ⁻¹	-----	-----
g) Energia térmica utilizada (lenha)	-----	945.500kcal	-----
h) Energia térmica utilizada (gás)	-----	-----	299.1127kcal
i) Energia elétrica utilizada (kW)	Zero	35,52	53,01
j) Custo energia elétrica (R\$)	Zero	7,46	11,13
k) Energia térmica utilizada (kW)	Zero	1098,78	347,60
l) Custo energia térmica (R\$)	Zero	230,74	72,99
m) Total de energia (kW)	Zero	1133	401
n) Custo parcial energia utilizada	Zero	238,20	84,12

não causando danos mecânicos as mesmas, embora este método de secagem tenha demonstrado razoável redução na porcentagem de germinação e vigor (aspecto fisiológico) e seja limitada pelas condições psicrométricas do ar que determinam um tempo maior de secagem.

Entretanto a partir de 2000, estão sendo pesquisadas outras formas racionais de aproveitamento desta energia. Através do PRODEM - Programa de Desenvolvimento Energético – vem sendo desenvolvidos trabalhos de utilização de fontes renováveis de energia não poluentes, em comunidades da zona rural do Estado, e a energia solar isolada (na forma de fotovoltaica) ou associada (com energia eólica) vem ganhando projeção com a finalidade de produzir energia elétrica para iluminação, bombeamento de água, acionamento de pequenos aparelhos e frigoríficos de pescados (Praia do Farol da Solidão em Mostardas, RS) comprovando ser viável a sua eficiência e utilização quando alterada a forma de captação e armazenamento desta energia.

Comparando-se os três tratamentos, verifica-se que a melhor alternativa em termos de velocidade de secagem, foi o uso da lenha, em função de ter apresentado maior perda de água, em um curto espaço de tempo (1,25%/h), além de ter apresentado sementes com maior poder germinativo e vigor (Tabela 5).

A lenha é de combustão relativamente difícil e incompleta, em função do seu teor de umidade (30%), razão pela qual apresenta um poder calorífico menor (2.800 a 4.115kcal/kg). O gás, seja na forma de GLP, seja na forma de GN, apresenta além de uma combustão completa, um alto poder calorífico (11.000kcal/kg,9.000 -18.000 kcal/kg respectivamente), equivalente

de 3,2 - 3,9 a 4,3 vezes o poder calórico da lenha, o que lhe confere melhor eficiência de uso. Isto significa que é possível substituir por equivalência, grandes volumes de combustíveis sólidos, de menor poder calórico por combustíveis gasosos, estes de menor volume, maior poder calórico e também maior eficiência de combustão (queima total sem resíduos). Além disso o uso do gás como combustível, oferece vantagens como simplicidade na sua operação, com excelente controle da temperatura, favorecendo a automação da secagem. Outro aspecto é a liberação de fuligem, fumaça e produtos químicos que são liberados durante a queima. A combustão da lenha transmite cheiro, odor, cor e sabor característicos às sementes, os quais podem ser nocivos à saúde humana, destacando-se o alcatrão. Os combustíveis gasosos, por apresentarem combustão completa, não aumentam de maneira expressiva a contaminação dos grãos, muito menos odor e cor aos grãos durante a secagem.

Portanto, a combustão de diferentes materiais empregados na secagem e o método de secagem podem influenciar no custo final. Para este estudo, avaliando-se o balanço energético somente pelos custos do valor nominal do produto (combustível) e energia elétrica consumida, o tratamento a lenha mostrou-se mais elevado do que a gás.

Embora o uso do gás apresente-se como promissor entre os combustíveis, ainda falta tradição de utilização na secagem de grãos e sementes. Assim, deve ser mais pesquisado e divulgado entre os produtores, e estudos de sua operacionalidade e viabilidade devem ser ampliados para que se torne uma realidade nos segmentos agrícola e industrial. Infelizmente hoje, esta fonte está muito limitada a sua baixa distribuição a nível nacional,

além do alto custo na aquisição de suas instalações, e falta de crédito, razão pela qual opta-se por utilizar lenha.

Todavia o resultado da eficiência técnica verificada entre os três tratamentos estão relacionados com a praticidade e disponibilidade do uso, a adequabilidade do método ao processo de secagem e a compatibilidade de seu uso com a automação operacional, verificando os seus efeitos na qualidade das sementes conforme comentário de Milman, (2002). Neste estudo, o método a lenha foi mais o mais eficiente de todos os tratamentos como se visualiza pelos resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, e discutida nos trabalhos de Hall (1980), Rosa (1966) e Puzzi (1977), apesar de apresentar maior custo.

No processo de secagem a gás, como a secagem ocorreu por camadas, há necessidade de ajustes para melhorar sua eficiência do método, pois foi verificado desuniformidades nas velocidades de secagem, formando uma zona específica de maior intercâmbio de umidade (frente de secagem) com prejuízos na sua qualidade . Como a secagem se processa em camadas, o consumo de energia elétrica pode ser alto, como verificado neste estudo, onerando custo final de secagem. Da mesma forma podem ocorrer diferentes temperaturas e teores de umidade conforme a posição das sementes, sendo então aconselhável fazer a secagem em pequenas camadas a vazões muito baixas, permitindo assim aumentar a velocidade de secagem conforme comentários de Sonreson (1958), Carâmbula (1981) Cavariani & Baudet (1982).

No tratamento a ambiente natural como depende das condições climáticas e da época do ano, o aumento da velocidade de secagem só é

possível, se adaptarmos mecanismos que aproveitem melhor esta energia, através de coletores solares acoplados a ventiladores, para aproveitamento de ar aquecido em secagem de sementes (silo secador).

Tendo em vista a importância da secagem da semente, deve-se buscar métodos alternativos de secagem, como por exemplo, a combinação dos métodos discutidos, substituição de combustíveis na busca de menor preço e baixa degradação ambiental e melhorias nos sistemas atuais no que diz respeito ao aumento da velocidade de secagem, buscando reduzir os custos de operação de secagem com a máxima da eficiência da fonte energética e preservação dos recursos do meio ambiente.

A secagem da semente é um tema complexo e, na maioria das vezes, as instalações disponíveis são as possíveis e não as ideais. Em muitos casos, os métodos de secagem são obrigados a operar fora do seu regime normal para que a unidade de beneficiamento de sementes (UBS), como um todo, possa maximizar sua performance, com o mínimo de perdas.

5. CONCLUSÕES.

- Nas condições em que foi realizado o experimento, a velocidade de secagem interfere na qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero, pois na comparação entre os tratamentos de secagem o melhor resultado foi à lenha;

- A baixa velocidade de secagem de sementes de sorgo granífero em ambiente natural foi influenciada pela baixa energia calorífica aplicada, provocando uma lenta dessorção;

- A baixa velocidade de secagem de sementes de sorgo granífero em secadores a gás foi influenciada pela altura da camada de secagem, natureza do produto e tempo de exposição à temperatura e fluxo do ar de secagem;

- A alta velocidade de secagem no tratamento intermitente com combustão à lenha foi influenciado pela relação de intermitência, ou seja, períodos curtos de exposição ao ar de secagem intercalado com maiores períodos de equalização, determinando uma melhor qualidade fisiológica;

- Temperaturas de secagem acima da recomendada na massa de sementes reduz a qualidade fisiológica das sementes de sorgo granífero;

- O resultado do custo energético parcial demonstrou que a secagem a ambiente natural é a mais barata, porém é a que leva mais tempo

de secagem ao passo que os sistemas de secagem à lenha e gás são mais rápidos, apresentando maiores velocidades de secagem.

- A secagem de sementes de sorgo granífero em secadores à lenha, pelo custo energético parcial, apresentou um custo mais elevado que a secagem a gás, porém foi mais eficiente na extração de água da semente a menor tempo (4h).

- A secagem de sementes de sorgo granífero em secadores a gás, pelo custo energético parcial, apresentou menor demanda que a secagem à lenha, sendo viável economicamente a sua utilização, necessitando maiores estudos em termos de ajustes, para melhorar a sua eficiência técnica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, D.C.; VILLELA, F. A. Secagem intermitente e seus efeitos na qualidade fisiológica de sementes de tremoço azul. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.53, n. 2, p 59-71, Mai/Dez, 1996.

AHRENS, D.C.; LOLLATO, M.A. Eficiência de secadores comerciais e seus efeitos na qualidade de sementes de feijão. **Informativo ABRATES**, Brasília, v.5, n.2, p 43, 1995.

AHRENS, D.C. Temperatura limite para a secagem de sementes de aveia branca. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.2, 2001. (Open Journal Systems).

ARAÚJO, A.A. **Forrageira para ceifa**: capineira, pastagens, fenação e ensilagem. Porto Alegre: Sulina, 1978. 176p.

ANDERSEN, A.M. Some factors affecting the germination of 1 and 2 years old ryegrass (*Lolium Lam*) seeds. **Proceedings.**, Mississippi, v.19, n.1, p.5-13, 1954.

BAUDET, L. M. **Armazenamento de sementes**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. FAEM; Brasília: ABEAS, 2003. 45p. Curso de especialização por tutoria a distância.

BENETT, H.W.; MARCHBANKS, W.W. Seed drying and viability in Dallisgrass. **Agronomy journal**, New York, v.61, n. 2, p 175-7, 1969.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da estação experimental da UFRGS e região de abrangência**. Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, 2003. 77p.

BERJAK, P.; VILLIERS, T.A., Induce damage and its repair during early germination. **The new phyto**, Mississippi, v.71, p.135-144, 1972.

BIAGI, J.A.; VALENTINI, S.R.; QUEIROZ, D.M. Secagem de produtos agrícolas. In: **INTRODUÇÃO a Engenharia Agrícola**. Campinas, SP: Unicamp, 1992. p.245-66.

BOLDRINI, I. I.; LONGHI-WAGNER, H.M.; BORCHAT, S.C. **Família Poaceae (gramineae)**. Porto Alegre: Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da UFRGS, 2004. 70 p.

BOUNOUS, E.B. **Comparação de métodos de secagem de sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam)**. 1986.100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1986.

BURKAT, A. et al. **Flora ilustrada de Entre Rios – gramineae**. Buenos Aires, Argentina: INTA, 1969. p 442-738.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 1992. 365p.

BROOKER, D.B.; BAKER-AKRKEMA, F.W. **Drying cereal grains**. Connecticut: Impress Westport :The AVI publishing, 1974. 260 p.

BROOKER, D.B.; BAKER-AKRKEMA, F.W.; HALL C. W. **Drying cereal grains**. Connecticut: The AVI publishing, 1981. 265 p.

CANODE, C.L.; LAW, A.G.; MAGUIRE, J.D. Postharvest drying rates and germination of Kentucky bluegrass seeds. **Crop science**, Madison, v.10, n.3, p 316-18, 1970.

CARÂMBULA, M. **Produccion de semillas de plantas forrajeras** Montevideo: Hemisfério Sur, 1981. 518p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas, SP: Cargil, 1983. 326p.

CAVARIANI, C; BAUDET, L. Secagem de sementes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v.8, n.91, p 44-49, 1982.

CEEE. **Tarifas e custos de serviços**. Porto Alegre, 2006.

COATES, E.S. Grain and seed drying fundamentals In SHORT COURSE FOR SEEDMEN, 1960, Mississippi. **Proceedings**. Mississippi: Mississippi State University, 1960. p 111-18.

COELHO, A.; WAQUI, J.M.; KARAM, D.; RIBAS, P.M. **Seja Doutor do seu Sorgo**. Campinas, SP: [s.n.], 2002. 24p. (Encarte de informações agronômicas, 4).

CONAB. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília: Conab, 2004.

DELOUCHE, J.C. Metodologia de pesquisa em sementes: secagem, beneficiamento e armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.3, n.2, p 47-55, 1981.

DOGGET, H. **Tropical agriculture**. London, UK: [s.n.], 1970. 403p. (Série Sorghum).

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do sorgo**. Sete Lagoas, MG: CNPMS, 1982. 39p (Circular técnica 5).

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do sorgo granífero**. Sete Lagoas MG: CNPMS, 1983. 62 p (Circular técnica, 1).

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo e utilização do sorgo**. Pelotas, RS, 1983. 26 p (Circular técnica UEPAE, 18).

EMBRAPA. **Plano diretor da Embrapa milho e sorgo 2004/2007**. Sete Lagoas MG: CNPMS, 2005. 27p

EPAMING. Sorgo: uma opção para a agricultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v.5, n.23, p.2-7, 1979.

EPAMING. Secagem de sementes pelo método natural. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v.6, n.56, p. 2-6, 2004.

FARMER, G.S.; BRUSEWITZ, G.H.; WHITNEY, R.W. Resistance to air flow of bluestem grass seed. **Asae Paper**, Oklahoma, n.24, v.2, p 480-803, 1981.

FAVORETO, V.; RODRIGUES, L.R. de A. Efeito de diferentes épocas de colheita e processos de secagem sobre a viabilidade de sementes de capim colonião. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.9, n.2, p 271-80, 1980.

FONSECA, A. **Sistema de produção do sorgo para o cerrado: Secagem e Armazenamento**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA, 2002. 3p.

GARCIA, D.C. et al. Qualidade fisiológica de sementes de trigo submetidas à secagem estacionária com ar ambiente forçado. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, RS, v.27, n.1, p 107-110, junho/2005.

GIANLUPPI, V. **Influência do peso de mil sementes na qualidade fisiológica de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.)**. 1988. 103f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área Tecnologia de Sementes)- Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1988.

GONÇALVES, D. **Física**. Volume zero: mecânica, termodinâmica, ondas, ótica, eletricidade. Rio de Janeiro, RJ: Técnico, 1974. 324p.

GRABE, D.F. Significance of seedling vigor in corn. In: ANNUAL HYBRID CORN INDUSTRY-RESEARCH, 21., Iowa, 1957. [Proceedings]. [Iowa], 1957. p 39-44. (Conference publication, 21).

GRIFFITHS, D.J.; ROBERTS, H.M.; LEWIS, J. **Principles of herbage seed production** Aberystwith: Welsh Plant Breeding Station, 1967. 135p.

GRUPO PRÓ-SORGO SUL. **Sorgo granífero**: cultivo e utilização. Pelotas, RS: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1989. 40p

HALL, C.W. History and importance of drying In: DRYING and storage of agricultural crops. Connecticut: AVI publishing, 1980. p.1-15

HARRINGTON, J.F. Drying, storing and packaging seed to maintain germination and vigor, In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, 1959, Mississippi. **Proceedings**. Mississippi: Mississippi State University, 1959. p.89-107.

HARRINGTON, J.F. Seed Storage and Longevity. In: KOLOWSKI T.T. **Seed Biology**. New York: Academic Press, 1972. p.145-245,

HOLMAN, L.F. **Ventilación de granos en almacenamiento comercial**. México: USDA, 1968. 49 p.

HUKILL, W.V.; CRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains and their products**. 2 ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1974. v.2, p.481-508.

HUNT, W.H.; PIXTON, S.W. **Storage of cereal grains and their products**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1974. v.2 p.1- 55.

IBGE. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 1998.

IBGE. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, 2000.

IPAGRO **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1988. v.1 a 3.

KELLY, J.F. **Grain driers**: Seed drying and storage. Mississippi. Seed technology laboratory.of the Mississippi State College,1960. p.21-32.

LASSERAN, J.C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenagem**, Viçosa, MG, v.3, n.46, 1978.

LASSERAN, J.C. Princípios gerais da secagem. **Revista Brasileira de Armazenagem**, Viçosa, MG, v.4 ,n.1 p.17-46, 1979.

LASSERAN, J.C. Utilização e desempenho de secadores: possibilidades de aperfeiçoamento. **Revista Brasileira de Armazenagem**, Viçosa, MG, v.5, n.1, p. 50-80, 1980.

LUZ, C.A.S, da. **Secagem de sementes de arroz em secador intermitente lento**. 1986. 103f.Dissertação (Mestrado em Agronomia-Tecnologia de Sementes.)- Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1986.

LORINI, I.; MILKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Secagem de grãos para propriedade familiar**. Campinas, SP: Biogênese, 2002. p. 253-87

MACEDO A.F.; MAIA, M.S.; MELLO, V.P.C. **Efeito da temperatura sobre a velocidade de secagem e qualidade de sementes de azevém anual**. Brasília: ABRATES, 1989. p 103.

MACKENZIE, B.A.. Seleycing a grain drying methods. **Agricultural Engineering**, Lafayette, v.67, p.1-11, 1960.

MAIA, M.S; **Secagem de sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam) com ar ambiente forçado**. 1995.108f. Tese (Doutorado em Agronomia-Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1995.

MANTOVANI, E.C. **Plantio e colheita de sorgo**. Sete Lagoas, MG: CNPMS, 2003. 5p.(Comunicado técnico, 75).

MARTINS, R.R.; FRANCO; J.B.da R.; OLIVEIRA, P.A.V.de. **Tecnologia de secagem de grãos**. Passo Fundo, RS: EMATER-RS: EMBRAPA, 1999. 90p.

MATTHES, K.; RUSHING, K.W. Seed drying and conditioning. In SHORT COURSE FOR SEEDMEN, 1972, Mississipi. **Proceedings**. Mississipi: Mississipi State University, 1972. p 23-27.

MILMAN, M.J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas, RS: Universitária, 2002. 205p.

MOTA, F.S.da. Estudo do clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo o sistema de W. Koppen. **Revista Agrônômica**, Porto Alegre, v.8, n.193, p132-141,1953.

NAUM, F. **Energia solar: princípios e aplicações**. Recife, PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004. 32p.

NOBRE, J.M.E.; KASPRZYKOWSKI, J.W.A. **Mercado potencial para o sorgo no Nordeste**. Fortaleza, CE: Departamento de Estudos Econômicos do Nordeste, 1975. v.1 a 2.

PÁDUA, D.B. Drying. In: ARAULLO, D.B. et al. **Rice post-harvest technology**. Ottawa: Internacional Development Reserch Center, 1972. p-104-28.

PARK. K.J. **Os fundamentos da secagem**. Viçosa:UFV,1988. 26p. (Centreinar).

PESKE, S.T.: BAUDET, L.M. **Considerações sobre secagem de sementes**. Viçosa, MG:Centreinar, 1980.19p.

PESKE, S.T.; BAUDET, L.M. **Curso de tecnologia de sementes**. Pelotas, RS: Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. UFPEL, 1981. 23p.

PESKE, S.T.; BAUDET, L.M. **Curso sobre beneficiamento de sementes para encarregados de UBS: Secagem de sementes em secadores comerciais**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. FAEM, 1984. 42p.

PESKE, S.T. **Secagem de sementes**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, FAEM, 1991. 65p. Curso de especialização por tutoria a distância,

PESKE, S.T.; BAUDET, L.M. **Secagem de sementes**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. FAEM, 2003. 70p. Curso de especialização por tutoria a distância

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289p.

PUZZI, D. **Manual de armazenamento de grãos**. São Paulo: Ceres, 1977. 405p.

PROVESA, F. **Projetista de máquinas**. São Paulo: Escola Protec: Ed. Universidade São Paulo, 1985. 218p.

QUEIROZ, D.M. de; PEREIRA, M.J.A. **Secagem a baixa temperatura**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa : Centreinar, 1982. 30p.

RAZERA, L.F. Colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento de sementes. **O Agrônomo**, Campinas, v.27, p 124-43, 1975.

REIS, L.E.M. Secagem. **Revista Trigo e Soja**, Porto Alegre, v.111, n.5, p 9-14, 1990.

RIBAS, P.M. **From África to the world**: Brazilian Corn Yearbook. Santa Cruz do Sul, RS: Gazeta, 2004. p 90-111.

RIBAS, P. M. O sorgo no complexo produtivo brasileiro. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19, 1992, Porto Alegre, RS. [Anais...] Porto Alegre, 1992. 304p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Energia, Minas e Comunicação (SEMC). **Balanco energético consolidado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2000. 267p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. **Inventário florestal 2001**. Disponível em: <[http:// www.sema.rs.gov.br](http://www.sema.rs.gov.br)>. Acesso em : 30.01.2006.

ROA. G.; VILLA, L.G. **Secagem e armazenamento de grãos e sementes em silos mediante a utilização de ar ambiente e com auxílio de coletores solares**. Campinas, SP: Unicamp, 1977. 51p.

ROSA, O.S. Temperatura recomendada para secagem de sementes de trigo e arroz, utilizando o método intermitente. SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMENTES, 5., 1966, Maracay. **[Informações]**. [S.l], 1966. 28p.

ROSSI, S.J.; ROA, G. **Secagem e armazenagem de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: Aciesp, 1980. 295p.

SALVADOR, P. Sorgo, uma ótima opção para a safrinha. **Seed News**, Pelotas, v.10, n.1, p. 26-27, 2006.

SAS institute. **System for information, versão 8.2**. Cary, 2001, Disponível em <http://www.sas.com/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2005.

SASSERON, J.L. **Aeração de grãos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, MG: Centreinar, 1980. 54p.

SILVA, P.R.F.da **Cultura do Sorgo**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 2004. 5 f. Apostilas da disciplina de cultura de cereais (não publicado)

SONRESON, J.W. Drying and conditioning seeds, In :SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, 1958, Mississippi. **Proceedings**. Mississippi: Mississippi State University, 1958. p.1-12.

SONRESON, J.W. Drying and conditioning seed. In :SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, 1960, Mississippi. **Proceedings**. Mississippi: Mississippi State University, 1960. p.19-26.

STEFFE, J.F. et al. Harwest, drying and storage of rough rice. In: LUH, B.S. **Rice production and utilization**. Connecticut: The AVI publishing, 1980. p311-59.

STRECK, E. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2002. 125p.

TEIXEIRA, M.M; SINICIO, R.; QUEIROZ, D.M.de **Secagem de grãos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, MG: Centreinar, 1980. 61p.

TILMANN, M.A.; MELLO, V.D.C. **Análise de sementes**. Pelotas: UFPEL. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2003. 84p. Curso de especialização por tutoria a distância.

TSUNECHIRO, A.; MARIANO, R.M.; MARTINS, V.A. Produção e Preços do Sorgo no Estado de São Paulo, 1991-2001. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, São Paulo, v.1, n.1, 2002, p 15-24.

UFRGS. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Dados da Estação Meteorológica**. Porto Alegre, 2004 (não publicado).

USDA. **World Agricultural Production**. Washington, D.C., 2001.

VIANNA, I.C. **Maturação e efeitos do retardamento da colheita de sementes de sorgo sacarino**. 1982. 94f. Dissertação (Mestrado em Agronomia,-Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 1982.

WELCH, G. B. **Articles on Seed Drying**. Seedsmen's Digest. Mississippi: Mississippi State University, 1967. p. 1-15.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A..A. **SANEST- Sistema de Análise Estatística para microcomputadores**. Pelotas, RS: [s.n.], 1984. Registrado na Secretaria Especial de Informática sob nº 066060/categoria A.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Dados meteorológicos (médias dos valores) do microclima Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por ocasião dos horários de mensuração do teor de umidade das 5 eiras em secagem ambiente natural. IPH - UFRGS. Porto Alegre/RS, 2006.

Datas (dia)	Horários das mensurações (h)	Temperaturas (°C)	Radiação solar (cal.cm ⁻² dia ⁻¹)	Velocidade ventos (m.s ⁻¹)	U.R doar (%)
18/03/05	09h	22,0	491	3,22	92,0
	14h	31,4	879	3,23	56,3
	17h	31,2	319	4,81	54,1
19/03/05	09h	21,3	437	0,40	83,1
	14h	25,4	810	1,60	62,9
	17h	25,7	326	1,60	60,0
20/03/05	09h	22,1	489	-----	75,1
	14h	29,3	859	-----	52,3
	17h	29,8	297	-----	54,6
21/03/05	09h	22,6	462	-----	90,3
	14h	34,6	827	3,20	44,3
	17h	32,4	69	-----	53,8
22/03/05	09h	21,7	117	4,82	96,0
	14h	20,9	135	3,25	83,7
	17h	20,2	54	1,67	79,9
23/03/05	09h	17,9	37	4,81	97,0
	14h	18,0	181	1,60	96,4
	17h	18,2	117	1,61	95,8
24/03/05	09h	19,0	250	3,22	95,1
	14h	24,5	501	1,60	63,2
	17h	23,6	221	1,60	66,6

APÊNDICE 2. Dados meteorológicos (médias) do microclima no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no período 18 a 24 de março de 2005. IPH-UFRGS. Porto Alegre/RS, 2006.

Data (dia)	Temperaturas (°C)	Radiação Solar (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	Velocidade dos ventos (m.s ⁻¹)	U.R do ar (%)
18/03/05	28,2	563,00	3,75	67,46
19/03/05	24,1	524,33	1,20	68,66
20/03/05	27,0	548,33	-----	60,66
21/03/05	29,8	452,66	1,06	62,80
22/03/05	20,9	102,00	3,24	86,53
23/03/05	18,0	111,66	2,67	96,40
24/03/05	22,3	324,56	2,14	74,96
Médias	24,32	375,22	2,00	73,92

APÊNDICE 3. Tabela de tarifas de energia elétrica baixa tensão em R\$.
CEEE/RS, 2006.

Classe	Valor do kW.h	% ICMS	C/ICMS
Residencial < 50	0,310100	7	0,358488
Residencial > 50	0,310100	29	0,480759
Industrial	0,309650	17	0,404760
Comercial	0,309650	29	0,480061
Serviço público	0,263203	29	0,408053
Ilum. Pública	0,159530	29	0,247325
Rural sem CPR	0,213040*	29	0,330283**

* Cadastro de Produtor Rural com talonário

** Sem talonário

APÊNDICE 4. Indicadores técnicos utilizados na avaliação do balanço energético nos três tratamentos. UFRGS, Porto Alegre/RS, 2006.

Indicador	valor técnico
Equivalência do kcal em kW 860,5kcal ⁽¹⁾	1kW corresponde a
Peso médio de 1m ³ de lenha	610kg ⁽²⁾
Poder calorífico da radiação solar	0,43812kcal.cm ⁻² .dia ⁻¹ ⁽³⁾
Poder calorífico da lenha (eucalipto)	3.100kcal.kg ⁻¹ ⁽¹⁾
Poder calorífico do gás (GLP)	11.000kcal.kg ⁻¹ ⁽¹⁾
Fator de conversão HP	0,746 ⁽⁴⁾
Fator de conversão CV	0,736 ⁽⁴⁾
Preço do kWh (setor agrícola)	R\$ 0,21 * (CEEE)

(1) segundo Millman, (2) comunicação pessoal Emater (3) segundo apêndices 1 e 2, (4) segundo PROVESA (*) cadastro de produtor rural, valor para março/2006

APÊNDICE 5. Porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero, submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Tratamentos	Repetições (25)					Médias
	80	88	81	88	80	
Secagem	80	81	85	80	82	
ao	89	89	86	88	83	84,40 b
natural	81	82	85	88	84	
	85	88	84	84	89	
Secagem	82	82	84	90	90	
à	92	91	85	82	81	86,88 a
lenha	89	90	86	86	89	
	85	85	86	86	82	
	89	89	90	93	88	
Secagem	89	89	90	93	88	
a	83	84	85	84	83	
gás	87	90	92	91	89	84,12 b
	83	82	85	81	83	
	82	84	82	84	81	
Media geral						85,13

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P<0,05). C.V. = 3,90%

APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância da variável porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo submetidas a três tratamentos. Faculdade de Agronomia, LAS-UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	115,3866667	5,21 *
Erros	72	797,2800000	
Total	74	912,6666667	

* = significativo (P < 0,05)
C.V. = 3,90%

APÊNDICE 7. Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero, submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.

Tratamentos	Repetições (25)					Médias
	34,75	38,53	34,04	39,56	33,40	
Secagem	34,80	36,33	37,60	34,05	34,98	
ao	39,50	38,90	36,60	37,25	34,31	36,75b
natural	35,63	36,26	37,41	38,76	36,90	
	37,40	39,15	36,66	36,88	39,18	
	34,00	35,90	36,86	40,50	39,95	
Secagem	41,11	40,58	36,11	35,81	35,36	38,02a
à	38,98	40,20	36,86	38,33	39,43	
lenha	37,01	36,50	37,98	38,13	35,96	
	39,20	39,13	40,11	42,33	38,90	
	35,25	36,40	35,33	34,40	34,33	
Secagem	34,15	36,15	36,40	36,23	34,36	
a	37,28	39,68	41,28	40,36	38,85	36,13b
gás	35,23	36,15	36,43	34,42	34,35	
	34,11	36,38	35,31	36,22	34,32	
Média geral						36,97

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P<0,05).

C.V. = 5,43%

APÊNDICE 8. Resumo da análise de variância da variável índice velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	46,4421307	5,75 *
Erros	72	290,6623280	
Total	74	337,1044587	

* = significativo (P<0,05)

C.V = 5,43%

APÊNDICE 9. Primeira contagem de sementes de sorgo granífero, submetidas a três tratamentos de secagem, Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Tratamentos	Repetições (25)					Médias
	75	87	77	86	73	
Secagem	79	81	82	76	75	
ao	88	88	78	88	81	81,24 b
natural	77	79	80	85	82	
	83	86	79	80	86	
	76	80	83	90	88	
Secagem	91	91	79	79	76	84,60 a
à	87	89	85	86	86	
lenha	82	80	84	85	78	
	88	84	89	93	86	
	81	80	76	79	76	
Secagem	76	80	79	82	77	
a	81	87	91	90	85	80,40 b
gás	81	80	79	79	76	
	76	81	82	80	76	
Média geral						82,08

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). C.V. = 5,52%

APÊNDICE 10. Resumo da análise de variância da variável primeira contagem de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	260,82667	6,35 *
Erros	72	1479,120000	
Total	74	1739,946667	

* = significativo ($P < 0,05$) C.V = 5,52%

APÊNDICE 11. Peso de Mil Sementes (PMS) de oito sub-amostras de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.

Sub-amostras	Tratamentos		
	Nº	Natural	Lenha
1	25,803	26,365	24,013
2	25,457	26,613	24,380
3	25,758	26,622	24,379
4	25,271	26,630	24,336
5	25,092	26,319	24,200
6	25,138	26,662	24,229
7	25,149	26,805	24,111
8	24,850	26,03	24,143
Médias	25,31 b	26,50 a	24,22 c

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$).

Média geral: 25,347g
C.V = 0,99%

APÊNDICE 12. Resumo da análise de variância da variável peso de mil sementes (PMS) de oito sub-amostras de sementes de sorgo granífero submetido a três tratamentos. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	20,86367408	6,35 *
Erros	21	1,33934725	
Total	23	22,86367408	

* = significativo ($P < 0,01$) C.V = 0,99%

APÊNDICE 13. Resultado das amostras média e de trabalho, porcentagem de sementes puras, porcentagem de materiais inertes e teor de umidade final da análise de pureza das sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento secagem ambiente natural. LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.

Repetições	A. média (g)	A. de trabalho (g)	Sementes puras (%)	Material inerte (%)	Umidade (%)
	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)
1	1105,45	99,264	99,39	0,60	11,2
2	1174,32	98,644	98,55	1,44	12,3
3	1298,77	90,324	99,63	0,36	11,7
4	1239,56	96,077	99,63	0,36	11,9
5	1324,23	97,886	98,85	1,14	12,6
6	1327,98	98,345	99,57	0,42	12,1
7	1379,89	94,864	99,11	0,88	13,1
8	1488,42	91,234	99,84	0,15	13,1
9	1509,34	98,123	99,68	0,30	13,1
10	1567,46	92,367	99,58	0,41	11,0
11	1610,41	92,001	99,35	0,64	11,9
12	1633,44	93,776	99,31	0,68	11,1
13	1678,23	95,473	99,51	0,41	12,8
14	1630,78	90,102	99,82	0,17	12,4
15	1597,90	93,020	99,52	0,47	12,1
16	1532,83	95,673	99,71	0,28	12,7
17	1493,23	94,981	99,58	0,41	12,6
18	1394,81	97,998	99,56	0,43	13,2
19	1334,99	99,397	99,57	0,42	13,0
20	1325,87	105,753	99,57	0,42	11,7
21	1250,83	99,521	99,60	0,39	11,8
22	1234,73	98,749	99,82	0,17	11,1
23	1211,87	96,519	99,68	0,31	12,2
24	1105,73	93,752	99,83	0,16	12,7
25	1098,87	98,361	99,89	0,10	12,9
Médias	1381,99	96,098	99,52	0,46	12,2

APÊNDICE 14. Resultados das amostras média e de trabalho, porcentagem de sementes puras, porcentagem materiais inertes e teor de umidade final da análise de pureza das sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento secagem à lenha. LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.

Repetições	A. média (g)	A. de trabalho (g)	Sementes puras (%)	Material inerte (%)	Umidade (%)
1	1327,87	97,962	99,68	0,31	13,1
2	1427,88	97,624	99,52	0,47	12,8
3	1089,64	93,404	99,78	0,21	11,6
4	1725,56	91,289	99,78	0,20	11,3
5	1619,31	93,407	99,68	0,31	11,2
6	1093,76	90,334	99,32	0,67	11,5
7	1237,47	92,643	99,56	0,43	11,4
8	1839,12	98,123	99,60	0,39	11,3
9	1567,34	106,72	99,17	0,82	11,7
10	1237,66	101,45	99,10	0,89	11,8
11	1237,94	92,332	99,64	0,36	11,9
12	1103,54	98,732	99,53	0,46	12,1
13	1604,75	98,762	99,48	0,51	11,7
14	1582,92	93,456	99,64	0,35	12,1
15	1536,98	94,721	99,79	0,20	12,1
16	1678,93	100,97	99,02	0,97	12,0
17	1209,03	91,119	99,73	0,24	12,2
18	1110,32	93,713	99,45	0,54	13,1
19	1098,87	92,786	99,29	0,70	11,9
20	1298,15	99,475	99,62	0,37	11,2
21	1487,92	99,723	99,51	0,48	11,8
22	1896,78	102,562	99,57	0,41	12,5
23	1361,34	101,872	99,56	0,43	12,4
24	1255,87	95,674	99,42	0,57	11,3
25	1199,37	99,459	99,82	0,17	11,6
Médias	1393,13	96,73	99,53	0,45	11,8

APÊNDICE 15. Resultado das amostras média e de trabalho, porcentagem de sementes puras, porcentagem materiais inertes e teor de umidade final das sementes da análise de pureza das sementes de sorgo granífero submetidas ao tratamento secagem a gás. LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.

Repetições	A. média (g)	A.de trabalho (g)	Sementes puras (%)	Material inerte (%)	Umidade (%)
1	1348,98	92,212	99,77	0,22	12,3
2	1239,76	90,354	99,72	0,27	12,1
3	1347,64	96,317	99,67	0,32	13,0
4	1211,66	107,631	99,62	0,37	11,1
5	1348,78	91,984	99,42	0,57	11,4
6	1566,22	98,345	99,77	0,22	11,6
7	1634,84	90,567	99,57	0,42	11,7
8	1298,65	99,987	99,27	0,72	11,8
9	1345,90	97,305	99,69	0,30	12,4
10	1312,45	99,765	99,48	0,51	12,8
11	1234,77	102,398	99,72	0,28	12,1
12	1103,21	103,961	99,35	0,64	11,9
13	1236,06	98,286	99,73	0,26	11,5
14	1672,94	99,876	99,47	0,52	11,3
15	1452,96	93,296	99,78	0,21	11,2
16	1532,97	92,451	99,62	0,37	12,0
17	1325,69	91,256	99,69	0,30	12,6
18	1397,25	98,662	99,48	0,51	12,7
19	1220,24	96,731	99,37	0,62	12,9
20	1128,54	97,996	99,27	0,72	13,1
21	1328,63	91,873	99,18	0,81	11,1
22	1624,73	95,561	99,52	0,47	11,6
23	1329,82	94,495	99,67	0,32	11,5
24	1199,32	103,055	99,74	0,25	11,9
25	1865,11	99,183	99,69	0,31	12,6
Médias	1372,28	96,94	99,57	0,42	11,9

APÊNDICE 16. Comparação das amostras médias da análise de pureza de sementes de sorgo granífero submetidas aos três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006

Tratamentos			
Repetições	Natural (g)	Lenha (g)	Gás (g)
1	1105,45	1327,87	1348,98
2	1174,32	1427,88	1239,76
3	1298,77	1089,64	1347,64
4	1239,56	1725,56	1211,66
5	1324,23	1619,31	1348,78
6	1327,98	1093,76	1566,22
7	1379,89	1237,47	1634,84
8	1488,42	1839,12	1298,65
9	1509,34	1567,34	1345,90
10	1567,46	1237,66	1312,45
11	1610,41	1237,94	1234,77
12	1633,44	1103,54	1103,21
13	1678,23	1604,75	1236,06
14	1630,78	1582,92	1672,94
15	1597,91	1536,98	1452,96
16	1532,83	1678,93	1532,97
17	1493,23	1209,03	1325,69
18	1394,81	1110,32	1397,25
19	1334,99	1098,87	1220,24
20	1325,87	1298,15	1128,54
21	1250,83	1487,92	1328,63
22	1234,73	1896,78	1624,73
23	1211,87	1361,34	1329,82
24	1105,73	1255,87	1199,32
25	1098,87	1199,37	1865,11
Médias	1387,59 a	1403,64 a	1372,15 a

Médias seguidas pela mesma letra, na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P<0,05)
M.Geral = 1387,79g CV = 14,53%

APÊNDICE 17. Resumo da análise de variância da variável amostra média das sementes de sorgo granífero submetida a três tratamentos. Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	6197,609	0,15 N.S.
Erros	72	40701,762	
Total	74	46899,371	

N.S. =não significativo C.V = 14,43% Média Geral: 1387,79g

APÊNDICE 18. Comparação das amostras de trabalho da análise de pureza de sementes de sorgo granífero submetidas aos três tratamentos de secagem. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.

Amostras			
Repetição	Natural	Lenha	Gás
1	99,264	97,962	92,212
2	98,644	97,624	90,354
3	90,324	93,404	96,317
4	96,077	91,289	107,631
5	97,886	93,407	91,984
6	98,345	90,334	98,345
7	94,864	92,643	90,567
8	91,234	98,123	99,987
9	98,123	106,72	97,305
10	92,367	101,45	99,765
11	92,002	92,332	102,398
12	93,776	98,732	103,961
13	95,473	98,762	98,286
14	90,102	93,456	99,876
15	93,001	94,721	93,296
16	95,673	100,97	92,451
17	94,981	91,119	91,256
18	97,998	93,713	98,662
19	99,397	92,786	96,731
20	105,753	99,475	97,996
21	99,521	99,723	91,873
22	98,749	102,562	95,561
23	96,519	101,872	94,495
24	93,752	95,674	103,055
25	98,361	99,459	99,183
Médias	96,103 a	96,718 a	96,822a

Médias seguidas pela mesma letra, na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P< 0,05) Média geral: 96,547g C.V = 4,17%

APÊNDICE 19. Resumo da análise de variância da variável amostra de trabalho das sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos.Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	3,778529	0,22 N.S.
Erros	72	17,427492	
Total	74	21,206021	

N.S. = não significativo Média geral = 96,547 g C.V.= 4,17%

APÊNDICE 20. Impurezas retidas na pré-limpeza das amostras médias de sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos de secagem. LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.

Tratamentos			
Repetições	Natural	Lenha	.Gás
1	28,72	29,89	53,63
2	29,86	29,66	128,31
3	34,56	30,19	112,99
4	35,75	35,61	98,07
5	35,97	31,12	112,73
6	33,73	32,91	123,98
7	32,64	42,98	97,31
8	30,99	27,17	104,75
9	28,21	33,64	105,66
10	31,45	41,34	96,99
11	36,14	26,89	98,74
12	26,88	23,67	95,74
13	36,78	32,71	117,93
14	34,43	33,17	105,76
15	31,37	29,93	107,75
16	32,92	34,35	103,34
17	32,52	33,31	106,08
18	28,59	27,74	99,97
19	29,36	28,28	95,25
20	31,32	31,32	99,69
21	37,53	34,35	98,54
22	31,37	31,66	97,35
23	27,43	38,87	104,06
24	35,92	35,37	107,32
25	30,89	36,28	108,03
Médias	32,13 b	32,49 b	103,22 a

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P<0,05) Média Geral = 55,95g CV = 14,93%

APÊNDICE 21. Resumo da análise de variância da variável impureza das sementes de sorgo granífero submetidas a três tratamentos. Faculdade de Agronomia,LAS/UFRGS 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	41902,01802	600,41 **
Erros	72	69,78951	
Total	74	41971,80753	

** = significativo(p<0,01) Média geral = 55,95 g C.V= 14,93%

APÊNDICE 22. Resumo da análise de variância da variável teor de umidade de sementes de sorgo granífero submetida a três tratamentos. Faculdade de Agronomia, LAS/ UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	0,60088133	1,45 N.S.
Erros	72	0,415208000	
Total	74	1,01608933	

N.S. = significativo Média geral = 12,03% C.V= 4,32%

APÊNDICE 23. Porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero em três estratos da secagem a gás. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS.Porto Alegre,2006.

Estrato	Repetições (5)					Médias
Frete de secagem	81	82	81	82	82	81,69 c
Zona de transição	85	84	83	83	84	83,80 b
Zona úmida	90	91	89	88	92	89,80 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P<0,05). Média geral: 85,06 % C.V = 1,47%

APÊNDICE 24. Resumo da análise de variância da variável porcentagem de germinação (%G) de sementes de sorgo granífero submetida ao tratamento secagem a gás em três estratos. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Tratamentos	2	180,1333333	57,49 **
Erros	72	18,8000000	
Total	74	198,9333333	

** = significativo(P<0,01) C.V= 1,471%

APÊNDICE 25. Índice de velocidade de germinação de sementes de sorgo granífero em três estratos da secagem a gás. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS. Porto Alegre, 2006.

Estrato	Repetições (5)					Médias
Frente de secagem	35,27	35,61	34,43	34,32	36,08	35,14 b
Zona de transição	36,40	36,31	34,35	34,11	35,90	35,41 b
Zona úmida	39,78	40,25	38,91	38,13	40,38	39,49 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($P < 0,05$). Média geral: 36,68 C.V = 3,29%

APÊNDICE 26. Resumo da análise de variância da variável índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de sorgo granífero submetida ao tratamento secagem a gás em três estratos. Faculdade de Agronomia, LAS/UFRGS, 2006.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G. L.	Q. M.	VALOR F
Locais de coleta	2	59,32144000	20,30 **
Erros	21	17,53520000	
Total	23	76,85664000	

** = significativo ($P < 0,01$)

C.V = 3,29%

8. VITA

Miguel Ângelo Peixoto Torres, filho de José Luiz Pires Torres e Cleonilza Rosa Peixoto Torres (*in memorium*) nasceu em 20 de julho de 1967, no município de Porto Alegre/RS.

Realizou seu estudos de primeiro grau no colégio Marista Assunção, em Porto Alegre. Em 1982 iniciou o seu estudo de segundo grau no CePrep/BM-Centro Preparatório para Cadetes, hoje Colégio Tiradentes, unidade de ensino da Brigada Militar, concluindo com êxito em 1984, também em Porto Alegre. No ano seguinte, em 1985, ingressou no Curso de Agronomia da Pontifícia da Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) situado em Uruguaiana/RS onde graduou-se Engenheiro Agrônomo em 1989,

Em março de 1990 começou a exercer sua profissão participando nos quadros de pessoal da Justiça Estadual como Perito Oficial Nomeado e em 1993, nos quadro de pessoal da Justiça Federal , atuando nos cartórios cíveis e agrários em diversas áreas do setor agrícola, pecuário, florestal e meio ambiente

Em 2003 iniciou e concluiu o Curso de Especialização em Ciência e Tecnologia de Sementes na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), e em março de 2004 iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), trabalhando no Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, sob orientação da Prof^a Dr^a Lúcia Brandão Franke.

É casado com a Eng^a Agr^a Esp. Patrícia Garcia Vilar Torres, desde 1995, de cuja união tem uma filha – Nice Vilar Torres.