

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA SECAGEM DE SEMENTES DE EMBAÚBA EM LEITO  
FLUIDIZADO**

**Luciano Jacob Corrêa**

**Orientador: Prof. Dermeval José Mazzini Sartori**

**São Carlos - SP**  
**Março de 2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA SECAGEM DE SEMENTES DE EMBAÚBA EM LEITO  
FLUIDIZADO**

**Luciano Jacob Corrêa**

**Orientador: Prof. Dermeval José Mazzini Sartori**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos

**São Carlos - SP**

**Março de 2012**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C824es

Corrêa, Luciano Jacob.

Estudo da secagem de sementes de embaúba em leito fluidizado / Luciano Jacob Corrêa. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

72 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Engenharia química. 2. Leito fluidizado. 3. Secagem. 4. Sementes. I. Título.

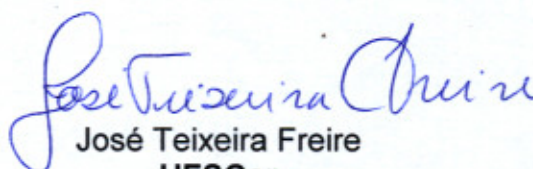
CDD: 660 (20<sup>a</sup>)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE  
**LUCIANO JACOB CORRÊA** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SÃO CARLOS, EM 08 DE MARÇO DE 2012.

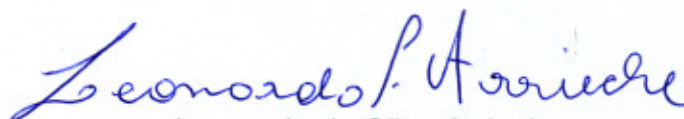
BANCA EXAMINADORA:



Dermeval José Mazzini Sartori  
**Orientador, UFSCar**



José Teixeira Freire  
**UFSCar**



Leonardo da Silva Arrieche  
**UFES**

Aos meus pais Airton e Naza que estão  
em “algum lugar” me iluminando  
SEMPRE!

## AGRADECIMENTOS

À minha irmã Denise pelo constante apoio, carinho, amizade e incentivo incondicional na realização dos meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dermeval José Mazzini Sartori, pelos ensinamentos, orientações, amizade, carinho e incentivo constantes.

Ao Prof. Dr. José Teixeira Freire pelos seus ensinamentos, apoio, e conselhos importantíssimos ao longo deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Leonardo da Silva Arrieche, pelas fundamentais ensinamentos através de seus trabalhos de grande valia, os quais este trabalho foi baseado.

Aos Professores do Centro de Secagem / UFSCar, Prof<sup>a</sup> Dra. Ana Maria da Silveira, Prof. Fábio Bentes Freire, Prof<sup>a</sup> Dra. Maria do Carmo Ferreira e Prof. Dr. Ronaldo Guimarães Corrêa, pelas contribuições que deram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Técnicos do DEQ – UFSCar, especialmente ao Sr. Oscar, Sr. Adilson, Sr. Dorival e ao Sr. Marcos pela constante ajuda na montagem do equipamento e realização de alguns experimentos específicos.

Ao Prof. Eduardo Cassel do DEQ – PUCRS, que me proporcionou e ensinou os primeiros passos da pesquisa científica e pelos incentivos tanto na vida profissional como na vida pessoal.

A minha namorada, Renata de Aquino, pelo constante apoio, incentivo, amor e carinho na realização deste trabalho e no meu dia a dia.

Aos meus amigos da República Chico Lopes pela amizade, pelos momentos de descontração e por terem me acolhido de uma forma incrível em São Carlos.

Aos meus amigos do DEQ – UFSCar, em especial aos amigos do Centro de Secagem.

Ao CNPq, CAPES e PRONEX/FINEP pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Devido à importância da conservação dos ecossistemas e tendo a *Cecropia glaziovii* S como uma das espécies pioneiras das Matas Tropicais, esta planta torna-se indispensável em reflorestamentos de áreas silvestres alteradas. A operação de secagem é fundamental no beneficiamento de suas sementes, uma vez que não se trata de uma semente recalcitrante. Atualmente, existe interesse em estudos sobre a secagem convectiva destas sementes em leitos móveis, pois em buscas anteriores demonstrou-se que em leito fixo podem ocorrer canais preferenciais e aglomerações das partículas. O objetivo deste trabalho consiste no estudo do leito fluidizado capaz de realizar a secagem de sementes de plantas pioneiras com a manutenção das propriedades físicas e fisiológicas. A comparação entre os métodos de decomposição e escarificação das infrutescências via úmida e via seca demonstrou que a extração via úmida é a mais indicada para esta espécie de sementes. A fluidodinâmica do contato entre as sementes e o fluido foi estabelecida a partir das medidas da queda de pressão e vazões de ar crescentes e decrescentes no leito. Através do método de SOGAB, demonstrou-se a uniformidade da distribuição de velocidade e temperatura na região de entrada da célula de medida. A análise fluidodinâmica permitiu obter as informações sobre as curvas características de fluidização, enquanto que, os testes de secagem possibilitaram o conhecimento dos efeitos da temperatura e da velocidade do ar de secagem sobre as propriedades das sementes. Os dados obtidos foram comparados com equações empíricas e semi-empíricas advindas da literatura. Sendo que a equação de Page entre as equações analisadas é a que melhor representa os dados experimentais de acordo com os critérios estatísticos adotados. A avaliação da germinação, independente dos substratos utilizados, quais sejam papel germitest, cubas germibox e solo, demonstrou que as sementes são adequadas para o replantio. Foi possível obter, após a secagem, sementes com valores de umidades adequadas para a armazenagem e com qualidades fisiológicas que contribuem para a perpetuação e disseminação destes embriões de plantas superiores na natureza.

## ABSTRACT

Due to the importance of conservation of ecosystems and having *Cecropia glaziovii* as a pioneer species of the Tropical Forests, this plant becomes indispensable in reforestation areas altered wild. The drying operation is fundamental in the improvement of seeds, since it is not a seed recalcitrant. There is currently interest in studies of convective drying of the seeds on bed furniture, as in previous search has been shown to occur in fixed bed preferential channels and agglomerations of particles. The objective of this work is to study the fluidized bed capable of carrying out the drying of seed of native plants with the maintenance of physical and physiological properties. The comparison between the methods of decomposition and scraping the inflorescences wet and dry extraction showed that the wet method is more suitable for this kind of seed. The fluid dynamics of the contact between the seed and the fluid was drawn from measurements of pressure drop and air flow rates increasing and decreasing the bed. Using the method of SOGAB, demonstrated the uniformity of velocity and temperature in the entrance region of the measuring cell. The analyze the fluid allowed to obtain the information on the fluidisation characteristics curves, while the drying tests enabled the knowledge of the effects of temperature and velocity of the drying air on the properties of the seeds. The data obtained were compared with empirical equations and the resulting semi-empirical literature. Since the Page equation is analyzed between the equations that best represents the experimental data according to statistical criteria adopted. Assessment of germination, regardless of substrates, which are germitest paper germibox tanks and soil showed that the seeds are suitable for replanting. It was possible to obtain, after drying, seed with adequate humidity values for the storage and physiological qualities contribute to the perpetuation of these embryos and dissemination of higher plants in nature.



## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>v</b>
<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>vi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1 ASPECTOS ANTRÓPICOS .....	5
2.2 EMBAÚBA, PLANTA PIONEIRA DE MATAS TROPICAIS .....	7
2.3 EXTRAÇÃO DE SEMENTES DAS INFRUTESCÊNCIAS .....	8
2.4 CARACTERIZAÇÃO DA SEMENTE .....	8
2.4.1 Propriedades físicas .....	8
2.4.2 Propriedades fisiológicas .....	9
2.5 SECAGEM DE SEMENTES .....	11
2.5.1 A importância da secagem .....	11
2.5.2 Métodos de secagem .....	12
2.5.3 Umidade de equilíbrio .....	13
2.5.4 Cinética de secagem .....	16
2.5.5 Influência da secagem na fisiologia da semente .....	17
2.5.6 Seleção de secadores .....	18
2.6. LEITO FLUIDIZADO .....	19
2.6.1 Avaliação fluidodinâmica do leito .....	21
2.6.2 Transferência de calor e massa em leito fluidizado .....	25
2.6.3 Estudos de secagem de sementes em leito fluidizado .....	26
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
3.1 MATERIAIS .....	28
3.2 PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS .....	28
3.2.1 Coleta e preparação das infrutescências .....	28
3.2.2 Extração das sementes das infrutescências .....	29
3.2.3 Umidade e reumidificação das sementes .....	29
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SEMENTES .....	30
3.4 EQUIPAMENTO .....	31
3.4.1. Unidade experimental de secagem em leito fluidizado .....	32
3.4.2 Célula de secagem .....	34
3.5 AVALIAÇÃO DA FLUIDODINÂMICA DO LEITO .....	36
3.5.1 Medidor da placa de orifício .....	36
3.5.2 Determinação das distribuições da velocidade e da temperatura do ar ...	37
3.5.3 Determinação da curva característica de fluidização .....	37
3.5.4 Velocidade mínima de fluidização .....	38
3.5.5 Condições operacionais do fluido .....	39
3.6 CINÉTICA DE SECAGEM .....	40

3.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES.....	41
3.8 CRITÉRIO DE ANÁLISE DE REPRODUTIBILIDADE .....	42
3.9 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS .....	42
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
4.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS INFRUTESCÊNCIAS .....	44
4.2 EXTRAÇÃO DAS SEMENTES.....	45
4.3 REUMIDIFICAÇÃO DAS SEMENTES .....	47
4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS SEMENTES .....	47
4.5 AVALIAÇÃO DA FLUIDODINÂMICA DO LEITO.....	48
4.5.1 Análise das distribuições de temperatura e velocidade do ar .....	49
4.5.2 Determinação das características fluidodinâmicas .....	50
4.6 TESTES DE SECAGEM .....	51
4.6.1 Cinética de secagem .....	52
4.6.2. Influência do processo nas propriedades físicas das sementes.....	57
4.7 ANÁLISE DOS DADOS ATRAVÉS DE EQUAÇÕES DA LITERATURA .....	57
4.8 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES.....	60
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>66</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cachos de infrutescências maduras de <i>Cecropia glaziovii</i> S. ....	7
Figura 2 - Fluxograma da seleção de secadores .....	19
Figura 3 – Perda de carga em função da velocidade do ar. ....	21
Figura 4 - Log da queda de pressão em função do log Reynolds.....	23
Figura 5 - Representação esquemática para a obtenção da velocidade de mínima fluidização. ....	25
Figura 6 - Representação esquemática do reumidificador utilizado .....	30
Figura 7 - Representação esquemática do leito fluidizado utilizado.....	33
Figura 8 - Representação esquemática da célula de secagem. ....	34
Figura 9- Vista explodida do adaptador .....	35
Figura 10 - Perspectiva do prendedor (a) e vista do prendedor fixado na célula de secagem (b). ...	35
Figura 11 - Representação esquemática das posições das medidas no método de SOGAB .....	37
Figura 12 - Curva característica de fluidização.....	38
Figura 13 - Infrutescências de embaúba em sucessivos estágios de desenvolvimento .....	44
Figura 14 - Infrutescência bicada por pássaros. ....	45
Figura 15 - Corte da infrutescência de embaúba em estado de maturação. ....	45
Figura 16 - Detalhes da centrifugação das sementes.....	46
Figura 17 - Imagem das sementes de embaúba através do IMAGE PRO-PLUS 7 <sup>®</sup> .....	48
Figura 18 - Adimensional da temperatura do ar de entrada em função de $R_d/R_c$ . ....	49
Figura 19 - Adimensional da velocidade do ar de entrada em função de $R_d/R_c$ . ....	50
Figura 20 - Queda de pressão no leito (Pa) em função da vazão volumétrica ( $m^3/min$ ) .....	51
Figura 21 - Adimensional de umidade em função do tempo.....	53
Figura 22 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem .....	53
Figura 23 - Adimensional de umidade em função do tempo.....	55
Figura 24 - Adimensional de umidade em função do tempo.....	55
Figura 25 – Verificação da influência da velocidade na cinética de secagem .....	56
Figura 26 - Ajuste da equação de Page (1949) na condição de 30°C e 2,5 m/s. ....	59
Figura 27 - Ajuste da equação de Page (1949) na condição de 40°C e 2,5 m/s. ....	59
Figura 28 - Ajuste da equação de Page (1949) na condição de 50°C e 2,5 m/s. ....	59
Figura 29- Tipos de germibox: (a) com tela e (b) sem tela. ....	61
Figura 30 –TPG típico em estufa das sementes de embaúba. ....	62
Figura 31 - TPG típico ao ar livre das sementes de embaúba, .....	62
Figura 32 – Teste de germinação em campo de embaúba .....	65

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados obtidos na caracterização físicas das sementes úmidas .....	48
Tabela 2 - Reprodutibilidade dos dados de cinética.....	54
Tabela 3 - Dados obtidos das propriedades físicas após o processo. ....	57
Tabela 4 - Valores dos parâmetros das equações analisadas e parâmetros estatísticos.....	58
Tabela 5 - TPG das sementes antes do processo de secagem.....	63
Tabela 6 - TPG das sementes após o processo de secagem. ....	63
Tabela 7 - Percentual de germinação de sementes de embaúba antes e após a secagem .....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Determinação das propriedades físicas das sementes .....	31
Quadro 3 - Testes da qualidade fisiológica das sementes .....	41
Quadro 2 - Equações utilizadas para representação da cinética de secagem.....	43

## NOMENCLATURA

a, b, c, d	parâmetros adimensionais	[-]
$A_p$	Área projetada	[L <sup>2</sup> ]
$D_A$	Diâmetro da esfera equivalente	[L]
$D_C$	Diâmetro do cilindro	[L]
$D$	Diâmetro da partícula	[L]
$d_{EQ}$	Diâmetro da esfera de mesmo volume da partícula	[L]
$d_L$	Diâmetro linear máximo da partícula	[L]
$MR$	Adimensional de umidade, $MR = (X_{bu} - X_{eq}) / (X_{b0} - X_{eq})^{-1}$	[-]
$m_p$	Massa da partícula	[M]
$P$	Pressão total	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$P_p$	Perímetro projetado	[L]
$r$	Raio	[L]
$Re$	Número de Reynolds de partícula $Re = DU\rho / (\mu_{ar})^{-1}$	[-]
$Re_{mf}$	Número de Reynolds na mínima fluidização $Re_{mf} = DU\rho / (\mu_{ar})^{-1}$	[-]
$t$	Tempo de secagem	[T]
$T_A$	Temperatura do ar de secagem	[Θ]
$U$	Velocidade do ar de secagem	[LT <sup>-1</sup> ]
$U_{mf}$	Velocidade mínima de fluidização	[LT <sup>-1</sup> ]
$X_{bs}$	Umidade em base seca	[-]
$X_{bs0}$	Umidade inicial em base seca	[-]
$X_{eq}$	Umidade de equilíbrio em base seca	[-]

## SÍMBOLOS GREGOS

$\varepsilon$	Porosidade	[-]
$\mu_{ar}$	Viscosidade do ar	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> ]
$\rho_{ar}$	Massa específica do ar	[ML <sup>-3</sup> ]
$\rho_s$	Massa específica do sólido	[ML <sup>-3</sup> ]
$\varphi$	esfericidade $\varphi = d_{eq}/d_i$	[-]
$\Delta P$	Queda de pressão no leito	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$\Delta P_{mf}$	Queda de pressão na mínima fluidização	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]

**SUBSCRITOS**

a	Amostra
eq	Equilíbrio
ES	Esfera equivalente
EQ	Equivalente
L	Linear
MAX	Máximo
MED	Médio
MIN	Mínimo
mf	Mínima fluidização
p	Projetado, partícula
S	Sólido
sec	Secagem
0	Estado inicial ou seco

**ABREVIATÖES**

bs:	base seca	massa de água no material/massa material seco
bu:	base úmida	massa de água no material/massa total de material
Eq.	Equação	
Fig.	Figura	

## 1. INTRODUÇÃO

A fragmentação florestal, no Brasil, tem sido intensa nas regiões mais desenvolvidas. Há necessidade de ações do poder público, bem como, de órgãos não governamentais no sentido de buscarem uma restauração de áreas florestais degradadas para uma condição próxima ao ecossistema florestal original. (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2003).

Segundo Davide *et alii* (2006) a necessidade de conservação das florestas tropicais. O fortalecimento da política ambiental promoveu um aumento de demanda de sementes de espécies nativas, que constituem um insumo básico nos programas de recuperação de conservação de ecossistemas.

Neste sentido, é muito importante o estudo de espécies arbóreas que tenham as características necessárias que ajudem na recuperação de áreas degradadas e reflorestamentos, seja por meio de programas de incentivos privados ou governamentais (PICELLI, *et alii*, 2010).

As pesquisas sobre secagem das infrutescências e sementes de espécies pioneiras são motivadas por ajudarem a minimizar os danos causados pela ação humana e com o objetivo de acelerar a restauração da função auto-sustentável das matas, conceito central desse trabalho. As informações atinentes aos fenômenos de transferência de calor e massa envolvidos no processo e a preservação das qualidades do produto necessitam de determinações experimentais.

Entre as principais etapas de beneficiamento de sementes tem-se a operação de secagem traz inúmeras vantagens para obtenção de um melhor produto após o processo, pois promove boas condições de armazenamento e replantio, o que facilita o controle da revitalização de áreas degradadas.

O motivo pelo estudo da *Cecropia glaziovii* Snethlage, popularmente conhecida como embaúba, se deve à importância desta espécie na recuperação do equilíbrio dos ecossistemas de áreas alteradas, que se estabelece nos estágios iniciais de sucessão da floresta, por suas infrutescências e sementes servirem de alimento para animais, como pássaros e o bicho-preguiça (ARRIECHE *et alii*, 2009).

A sementes de embaúba por serem de pequeno tamanho são propícias a uma maior dispersão em habitats abertos. Deve-se enfatizar ainda que a *C.glaziovii* figura



entre as espécies recomendadas pela Resolução SMA nº. 47 de 26 de novembro 2003 para o plantio em áreas alteradas.

E a escolha da utilização do leito fluidizado neste estudo é devido a este equipamento apresentar uma maior transferência de calor e de massa, por evitar aglomerações das partículas e por evitar canas prerenferenciais, problemas verificados em estudo com leito fixo. Um problema que poderá ocorrer com a utilização do leito fluidizado para a secagem de sementes é devido aos impactos mecânicos afetarem a poder germinativo das sementes, ocasionando uma redução do índice de germinação.

Realizou-se uma investigação preliminar sobre a secagem de sementes de embaúba, utilizando leito fluidizado, e segundo Arrieche *et alii* (2009) a fluidização das sementes ocorria com alguma dificuldade, devido à alta aderência entre as sementes. Para dar continuidade aos experimentos tiveram que realizar diversas lavagens das sementes durante a etapa de centrifugação. Este procedimento retirou os vestígios da polpa das infrutescências, reduzindo a aderência e permitindo assim, a fluidização.

Portanto, com o conhecimento de estudos recentes de secagem de sementes de embaúba e com um estudo mais aprofundado neste tipo de fluidização, será possível contribuir com a secagem de sementes silvestres pioneiras, fazendo com que, ao final do processo, as sementes se encontrem com características físicas e fisiológicas adequadas para o armazenamento e utilização posterior em programas de reflorestamento.

Entre os estudos recentes sobre secagem em leitos fluidizados realizados no Centro de Secagem, tem-se:

- Rizzi Jr (2008), que utilizou sementes de gramíneas (*Brachiaria brizantha*), e observou uma excelente uniformidade térmica e mássica quando comparados às operações em leito fixo;

- Fumagalli (2007), constatou uma forte influência da temperatura do ar de entrada, caracterizando assim o processo como sendo predominantemente difusivo, e

- Pereira (2010) utilizando sementes de painço observou que o leito fluidizado foi mais adequado do que leito fixo, devido à intensa mistura que evitou a formação de gradientes de temperatura e umidade.

Pode-se desta maneira, apresentarem-se duas visões sobre o estudo que se pretende conduzir, sob os pontos de vista científico e tecnológico (ARRIECHE *et alli*, 2008).

- Do ponto de vista científico

Sob o ponto de vista científico, tem-se a necessidade da realização de pesquisas desta natureza para que se obtenha a fundamentação para o processo de secagem de sementes florestais, através da aplicação dos princípios de engenharia química, dos fenômenos de transporte em sistemas particulados, para possibilitar a compreensão de seus efeitos sobre atributos de qualidade fisiológica, e sobre os aspectos físicos da sementes.

- Do ponto de vista tecnológico e ambiental

Sob o ponto de vista tecnológico, a promoção do método de secagem de sementes de espécies arbóreas pioneiras se justifica pelo suprimento das exigências práticas dos programas de recuperação de áreas florestais alteradas. Necessitam-se de determinações experimentais, resultando em uma contribuição para uma maior qualidade no produto final, possibilitando assim, uma maior produção de sementes, ajudando na eficácia do reflorestamento de áreas degradadas e servindo para nutrientes à fauna.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste no estudo do leito fluidizado capaz de realizar a secagem de sementes de plantas pioneiras com a manutenção das propriedades físicas e fisiológicas de sementes de *C.glaziovi*.

Tendo em vista atingir estes objetivos, foi necessário o cumprimento das seguintes etapas:

- atualização da revisão bibliográfica sobre o tema;
- coleta de infrutescências em campo, avaliação do processo de extração das sementes através de diferentes técnicas, via seca e via úmida, e preparação das amostras de sementes;
- projeto, construção e operação de uma unidade de secagem em leito fluidizado;

- determinação e avaliação das características fluidodinâmicas do leito fluidizado;
- condução de testes de secagem das sementes de embaúba e avaliação da cinética de secagem das sementes;
- caracterização física, tais como, diâmetro da partícula, esfericidade e massa específica, bem como, fisiológicas das amostras, antes e após o processo de secagem;
- análise da influência do processo de secagem nas qualidades das sementes, e
- análise dos dados a partir da comparação dos resultados obtidos com dados e equações empíricas e semi-empíricas existentes na literatura.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica apresentada consiste em uma abordagem que busca mostrar os aspectos gerais da situação que se encontram as plantas pioneiras da Mata Atlântica, bem como as legislações atuais que abordam a preservação e reflorestamento das matas ciliares e de formação de reservas permanentes. Também terá enfoque no objeto de estudo deste trabalho que são as sementes de embaúba, bem como são feitas as colheitas, extração, separação e beneficiamento destas sementes.

Também traz uma abordagem nos fundamentos da operação de fluidização entre o gás e o sólido. As principais características desde tipo de contato, os diferentes tipos de fluidização, a natureza das partículas que podem ser utilizadas e os principais parâmetros físicos desta operação, como a queda de pressão e a velocidade mínima de fluidização também são abordados.

### **2.1 ASPECTOS ANTRÓPICOS**

O processo de ocupação do Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e conseqüente destruição dos recursos naturais, particularmente das florestas tropicais. Ao decorrer da história do país, a cobertura florestal nativa, vem sendo fragmentada, cedendo espaço para as culturas agrícolas e as cidades (MARTINS, 2001).

Outro problema é o desmatamento, com posterior abandono do solo, sujeito ao empobrecimento e à erosão. Felizmente, observa-se que nas últimas décadas a conscientização enfocando a conservação dos bens naturais vem crescendo e é cada vez maior, o número de entidades e pessoas trabalhando na preservação e recuperação de ambientes naturais. É sabido que o manejo sustentável dos recursos naturais pode gerar renda, sem a necessidade de destruir as florestas nativas.

De acordo com o artigo 1º da Lei Federal nº 4771, de 15 de setembro de 1965, institui que: as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do país, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelece.

Atividades agropecuárias podem ser desenvolvidas de forma conservacionista se forem integradas a sistemas florestais, promovendo uma melhor proteção do solo e das águas, preservando a fauna e ainda gerando renda extra ao agricultor. No entanto, para aqueles que ainda insistem em alterar as áreas destinadas à reserva legal e às consideradas de preservação permanente, a fiscalização realizada pelos órgãos ambientais, como o IBAMA e Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, os têm obrigado a recompor a vegetação nativa local. A tendência é que seja exigido, cada vez mais, o cumprimento da Lei sobre a manutenção dos recursos naturais (KALIFE *et alii*, 2009).

De acordo com o Artigo 10, da resolução SMA n° 47 de 26 de novembro de 2003, que altera e amplia a resolução SMA n°21 de 21 de novembro de 2001, faz orientação para reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas e dá providências para: As Secretarias de Meio Ambiente, de forma integrada com outras Secretarias de Estado, Universidades, Instituições Científicas, Ministério Público, outras esferas de governo e organizações não governamentais, que estimula o desenvolvimento de pesquisas e extensão, bem como o aprimoramento do conhecimento científico das medidas estabelecidas nesta resolução, visando;

- I - Ampliar os conhecimentos sobre ecologia das espécies e formações florestais, e sobre tecnologia de produção de sementes e mudas;
- II - Estabelecer modelos alternativos, visando à obtenção de maior eficiência e menor custo, para recuperação de áreas degradadas;
- III - Capacitar proprietários rurais e produtores de mudas e/ou sementes para práticas de restauração e produção, com diversidade florística e genética, de sementes e mudas de espécies nativas, e
- IV - Estimular processos de certificação de viveiros florestais, que garantam a produção de mudas com diversidade florística e genética.

Portanto, o aumento da demanda por sementes e mudas de espécies arbóreas nativas é premente em todo o território nacional. Infelizmente, na maior parte do país, o setor produtor de sementes e mudas ainda são pequenos e incipientes, não atendendo de maneira satisfatória essa demanda.

Com base nisto, na seqüência, será apresentada uma revisão sobre a *Cecropia glaziovii* Sneathlage – embaúba, espécie pioneira da Mata Atlântica e objeto de estudo deste trabalho, de como são feitas a extração e secagem das sementes, como ocorre a

transferência de calor e massa no processo, bem como uma revisão sobre o leiteo fluidizado, equipamento de secagem no qual será realizado este estudo.

## 2.2 EMBAÚBA, PLANTA PIONEIRA DE MATAS TROPICAIS

Embaúba é uma designação comum a várias espécies de árvores, principalmente do gênero *Cecropia*, pode alcançar de 4 a 7 m de altura, com tronco de 15 a 25 cm de diâmetro. Sua madeira é leve, superfície lisa ao tato e de baixa durabilidade natural. É considerada uma espécie pioneira que ocorre na mata Atlântica, principalmente em borda da mata ou em matas secundárias (TAKAKI e GODOI, 2005).

É também chamada de árvore da preguiça, animal que aprecia e se alimenta de suas folhas. Planta muito procurada por diferentes espécies de aves devido à grande produção de frutos.

Diante da facilidade de dispersão de suas sementes após nascerem e da rapidez no crescimento, esta planta é indispensável em reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas, além disso, pode também ser utilizada em paisagismo urbano, devido à beleza de suas folhas e copa.

As embaúbas são árvores leves, característica de solos úmidos em beira de matas e em suas clareiras. Como possuem caule e ramos ocos, vivem em simbiose com formigas especialmente as do gênero *Azteca*, que habitam no seu interior e que as protegem de animais herbívoros, daí seus nomes castelhanos de hormigo ou hormiguillo. Floresce em diversas épocas do ano, dependendo da região. A Figura 1 mostra as infrutescências maduras com partes consumidas por pássaros, indicando o estado inicial de maturação fisiológica das sementes.



**Figura 1 - Cachos de infrutescências maduras de *Cecropia glaziovii* S.**

### 2.3 EXTRAÇÃO DE SEMENTES DAS INFRUTESCÊNCIAS

Em muitas espécies arbóreas são coletadas as infrutescências para obtenção de sementes. Por isso, geralmente é necessário extrair as sementes das suas infrutescências.

A extração consiste na retirada das sementes do interior destas infrutescências. O método a ser usado depende do tipo de semente, mas se deve escolher aquele no qual se obtenham sementes de alta qualidade e que mantenha a sua integridade física, sanitária e fisiológica (NOGUEIRA e MEDEIROS, 2007).

No caso das sementes de *Cecropia*, são extraídas de infrutescências frescas, através de decomposição e métodos de escarificação, conforme Arrieche *et alii* (2008). É recomendado por pesquisadores como Carvalho e Nakagawa (1980) que se deve avaliar os dois métodos de extração: via úmida e via seca.

O método via seca consiste na extração das sementes por escarificação e decomposição, sem a utilização de água e pelo método via úmida as sementes são extraídas por imersão em água e filtradas por centrifugação. As amostras das sementes extraídas são submetidas ao processo de secagem convectiva via leito fluidizado a fim de se obter sementes secas para a determinação da influência da secagem sobre as propriedades da espécie.

### 2.4 CARACTERIZAÇÃO DA SEMENTE

As propriedades das partículas presentes no leito (diâmetro, massa específica, esfericidade, porosidade, entre outras) são fatores determinantes do regime de operação do sistema gás-sólido.

#### 2.4.1 Propriedades físicas

As propriedades físicas das sementes são importantes para o dimensionamento de secadores, de sistemas de armazenamento e avaliação de processos envolvendo

transferência de calor. A caracterização das propriedades físicas das sementes é bastante importante na aplicação do processo de secagem.

O tamanho da semente é uma característica física determinada pelo genótipo e influenciada pelas condições ambientais durante sua formação (WOOD *et al.*, 1977 *apud* NOGUEIRA 1996).

A caracterização do tamanho e forma de partículas sólidas é de fundamental importância na análise de problemas na área de sistemas particulares (PEÇANHA e MASSARANI, 1986). Este tipo de caracterização pode ser realizado através da análise de imagens. Entre os trabalhos existentes na literatura, tem-se Arnosti (1997) que utilizou o analisador de imagens GALAI<sup>®</sup> para caracterizar sementes de gramínea de *Brachiaria brizantha*.

A forma de partículas é expressa através dos denominados fatores de forma. A esfericidade tem sido o parâmetro mais usado para expressar a forma de partículas sólidas (MCCABE et alii, 1993).

Prado e Sartori (2002) utilizaram as medidas obtidas para o diâmetro linear médio e máximo da partícula, determinadas através do software Image Pro-Plus<sup>®</sup>, para determinação da esfericidade de sementes de mamão com e sem revestimento natural de sarcotesta. Além destas propriedades físicas tem-se de igual importância, as propriedades fisiológicas das sementes, como a germinação e o vigor.

#### **2.4.2 Propriedades fisiológicas**

Atualmente, existe uma grande preocupação por parte dos pesquisadores e analistas de sementes, sobretudo os que trabalham com espécies florestais, em conduzir estudos que forneçam informações sobre a qualidade das sementes, especialmente no que diz respeito à padronização, aperfeiçoamento e estabelecimento dos métodos de análise.

#### **Avaliação germinativa das sementes**

A germinação é um fenômeno biológico que pode ser considerado pelos botânicos como a retomada do crescimento do embrião, com o subsequente rompimento do tegumento pela radícula. Entretanto, para os tecnologistas de sementes, a germinação



é definida como a emergência e o desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, manifestando a sua capacidade para dar origem a uma planta normal, sob condições ambientais favoráveis (NASSIF *et alii*, 1998).

Marcos Filho (1999) destaca que, no processo de germinação ocorre uma série de atividades metabólicas, baseadas em reações químicas e que cada uma delas apresenta determinadas exigências quanto à temperatura, principalmente porque dependem da atividade de sistemas enzimáticos complexos, cuja eficiência é diretamente relacionada à temperatura e à disponibilidade de oxigênio.

Estudo de espécies florestais, com enfoque na análise de sementes, tem merecido atenção no meio científico, visando à obtenção de informações, que hoje em dia são bastante escassas. No entanto, poucas espécies florestais nativas do Brasil, entre elas a embaúba, estão incluídas nas Regras para Análise de Sementes (RAS), o que dificulta a realização dos testes de germinação (BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, 1992).

As sementes, em geral, apresentam um desempenho variável, quanto à germinação, em diferentes temperaturas e substratos, que são componentes básicos do teste de germinação. Assim, o conhecimento da influência desses componentes na germinação de cada espécie é de importância fundamental. No estudo realizado por Takaki e Godoi (2005), concluiu-se que a *C. glaziovii* é uma espécie pioneira que germina somente em locais abertos da mata, com características que indicam a presença do fitocromo B, controlando o processo.

As espécies pioneiras estão sujeitas às flutuações de temperatura e, portanto, pode-se sugerir que a capacidade que suas sementes tem de germinar dentro dessa extensa gama de temperatura seja de grande importância. Os teste de avaliação de qualidade mostram que sementes de *C. glaziovii* apresentam germinação espalhada no tempo, mesmo na temperatura ótima de 30°C. Nesta temperatura, as sementes germinaram do quinto ao vigésimo segundo dia. (TAKAKI e GODOI, 2005).

Segundo Arrieche *et alli* (2007) recomenda-se a realização de testes de germinação para a verificação dos efeitos latentes do processo sobre a qualidade fisiológica das sementes de embaúba.

## 2.5 SECAGEM DE SEMENTES

Neste ítem serão revistos de forma sucinta, os principais conceitos e tecnologias sobre secagem, bem como sua importância e seus mecanismos.

### 2.5.1 A importância da secagem

Após a extração das sementes, a primeira etapa do beneficiamento é a secagem das mesmas, uma vez que as sementes não podem ser armazenadas com teor inadequado de água.

A operação de secagem das sementes é fundamental no sistema de produção, pois, além de reduzir o teor de água, para permitir a preservação de sua qualidade fisiológica durante o armazenamento, possibilita a antecipação da colheita evitando perdas de natureza diversa. Na escolha do método de secagem, o fator quantidade de sementes é limitante e, quando se necessita secar grandes quantidades, é imprescindível a utilização de secagem artificial, cujos custos de operação estão relacionados, principalmente, com volume, velocidade de secagem e temperatura do ar (GARCIA *et alii*, 2004).

De acordo com Nakagawa *et al* (2000), a realização da secagem de sementes exige a compatibilização entre os procedimentos operacionais relativos ao rendimento físico do processo e os voltados à preservação fisiológica das sementes.

A secagem envolve os processos de transferência simultânea de calor e massa entre a fase sólida e fluida do leito. O calor requerido para evaporar a umidade que flui da superfície do produto até um meio secante externo, normalmente o ar (RIZZI JR, 2008).

O processo de secagem é uma operação necessária, pois o alto valor da umidade é uma das principais causas da queda do poder germinativo e do vigor para a maioria das sementes. Portanto, a secagem visa reduzir a umidade das sementes em níveis que possibilitem uma melhor adequação das sementes para o seu armazenamento e a manutenção do vigor e do poder germinativo por mais tempo.

A secagem de sementes se processa em duas etapas: evaporação da água da superfície dos grãos e das sementes para o ar que os circunda; e no transporte da água do interior para a superfície do grão (EPAGRI, 2008).

A primeira etapa consiste, basicamente, na diferença da pressão de vapor d água do grão em relação ao ar. A água é transferida do grão e se dissipa no ambiente que envolve a partícula a uma determinada temperatura. A secagem da semente ocorre, portanto, quando houver um gradiente de pressão de vapor da partícula para o ar.

A segunda etapa é mais lenta, processando-se gradativamente do interior do grão para a periferia, em função de movimentos capilares, difusão de umidade e gradientes de pressão de vapor. Quanto mais alta a temperatura do ar, maior quantidade de água retém o ar, secando melhor a superfície da semente.

A semente pode ganhar ou perder umidade para o ambiente até atingir um equilíbrio (denominado de equilíbrio higroscópico). De acordo com a composição química das sementes, estas apresentam diferentes valores de umidade no estado de equilíbrio termodinâmico (BARROZO, 1995).

O tamanho da semente também pode influenciar a velocidade de secagem, bem como o teor de água inicial, composição química e área superficial (NAKAGAWA *et al.*, 2000)

Segundo Carvalho e Nakagawa (1980), o processo de secagem para as espécies florestais nativas deve ser lento e gradativo, com utilização de temperaturas variando de 30 a 40°C. O período de secagem depende da espécie, da temperatura usada durante a secagem, do conteúdo de umidade inicial e das condições desejadas para o armazenamento. A redução do conteúdo de umidade das sementes durante o armazenamento é necessária para diminuir o ataque dos insetos e incidência dos microorganismos e para reduzir a velocidade de deterioração das sementes. Neste caso, o termo deterioração se refere a toda e qualquer alteração degenerativa que ocorre com a qualidade das sementes em função do tempo e da perda do poder germinativo.

### **2.5.2 Métodos de secagem**

Os métodos de secagem são classificados quanto ao uso de equipamentos (natural ou artificial), à periodicidade no fornecimento de calor (contínuo ou intermitente) e à movimentação da massa de sementes (estacionário ou contínuo).

A secagem natural é baseada nas ações do vento e do sol para a remoção da umidade das sementes. Tal processo é limitado pelo clima, quando as condições de umidade relativa do ar e temperatura não permitem, ou quando se trata de maiores

volumes de sementes. Apesar de apresentar baixo custo, é um método lento, e as sementes não devem ser expostas em camadas superiores a 4 e 6cm, com revolvimento periódico, de acordo com Cavariani (1996).

Segundo Rizzi Jr (2008), esse tipo de secagem vem se mostrando inadequada ao longo dos anos, por apresentar diversos problemas como uma necessidade grande de mão de obra, também apresenta baixa qualidade no produto final e uma baixa produtividade, devido ao difícil controle das condições de secagem.

Na secagem artificial, a fonte térmica pode ser variável. O método artificial é caracterizado pelo fato de que o processo é executado com o auxílio de alternativas mecânicas, elétricas ou eletrônicas, juntamente com o ar, que escoia a massa de sementes é forçado. É um método mais rápido e independente das condições climáticas. (CAVARIANI, 1996).

Dentre os métodos de secagem artificial, tem-se a técnica de fluidização que é empregada por apresentar altas taxas de transferência de calor e massa devido ao bom contato entre as partículas e o gás percolante. Secadores em leito fluidizado destacam-se por apresentarem grande eficiência em virtude da alta mobilidade e intensa mistura dos sólidos, que promovem, por sua vez, altíssimas taxas de transferência de calor e massa, assim como uma uniformidade de temperatura no interior do leito (ALMEIDA, 1993).

### **2.5.3 Umidade de equilíbrio**

Por serem de natureza higroscópica, as sementes estão constantemente num processo dinâmico de troca de umidade com o ar circundante (NOVAIS, 1990). O equilíbrio termodinâmico é atingido quando a energia de troca para o material é zero, o que evidencia a dependência da umidade do material em função da temperatura e umidade relativa do ar.

O sólido não pode perder uma quantidade de água maior que aquela que tem em equilíbrio com o fluido de secagem, ou seja, não pode ter uma umidade menor que o referente à umidade de equilíbrio. Segundo Carvalho e Nakagawa (1980), o efeito de histerese é um dos fatores mais importantes a se considerar. As sementes e muitos outros materiais higroscópicos apresentam maior valor de umidade de equilíbrio quando este é obtido por perda de umidade do que quando por adsorção de umidade. Este

fenômeno também foi observado por Picelli *et alii* (2010) para o caso de sementes de embaúba.

Diante da grande importância dos dados de equilíbrio para o desenvolvimento do processo de secagem, muitos pesquisadores têm se dedicado ao estudo das isotermas de equilíbrio. Há duas técnicas clássicas para determinação das isotermas de equilíbrio: o método estático e o método dinâmico. No método estático, o grão atinge o equilíbrio com o ar úmido sendo simplesmente colocado em ambiente controlado. No método dinâmico, o ar é movido mecanicamente. A vantagem do método estático se deve a maior facilidade de se obter condições termodinâmicas constantes. (BARROZO, 1995)

A fim de se estudar a cinética de secagem das sementes de *Cecropia glaziovii*, é necessário o conhecimento das isotermas de desorção de umidade das sementes, representadas matematicamente por meio de equações de modelos advindos da literatura. Estes relacionam a umidade de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar.

Dentre os métodos usuais para a determinação da umidade de equilíbrio, para o caso de sementes de embaúba, Picelli *et alii* (2010) empregou o método gravimétrico estático. Neste método direto, a temperatura e a atividade da água presente no ar são mantidas constantes até que o conteúdo de umidade da amostra atinja o valor de equilíbrio. O uso de soluções salinas saturadas, em relação a substâncias ácidas, é mais comum devido à segurança no manuseio, bem como, pela maior facilidade em manter a umidade relativa constante em relação aos métodos dinâmicos (BARROZO, 1995).

As isotermas foram determinadas por Picelli *et alii* (2010), em quatro temperaturas, 35, 40, 45 e 50°C. Utilizaram-se sete soluções salinas saturadas que proporcionaram diferentes valores de umidade relativa do ar na faixa de 0,111 a 0,843 a cada valor de temperatura. Fez-se uso dos seguintes sais: NaCl, NaNO<sub>2</sub>, KCl, LiCl, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K.

Após atingir o equilíbrio termodinâmico, a umidade das amostras foi determinada pelo método da estufa a  $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$ , por 24 horas (BRASIL, MINISTERIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRARIA, 1992). Os experimentos foram conduzidos em triplicatas para que a reprodutibilidade dos dados obtidos fosse avaliada.

Os dados experimentais obtidos por Picelli *et alii* (2010) foram ajustados a equações empíricas e semi-empíricas advindas da literatura. Foi determinada, assim, com auxílio de uma análise estatística, a equação que melhor os representa. Os ajustes

foram realizados, com auxílio do *software* ORIGIN®, versão 7, com quatro equações advindas de modelos da literatura comumente utilizados para materiais orgânicos, conforme relacionadas a seguir.

– **Henderson:**

$$X_{eq} = \left[ \frac{\ln(1-UR)}{-a.T} \right]^{1/b} \quad (1)$$

– **GAB:**

$$X_{eq} = \frac{a.b.c.UR}{(1-c.UR)[1+(b-1)c.UR]} \quad (2)$$

– **BET modificada:**

$$X_{eq} = \frac{a.b.UR}{(1-c.UR)[1+(b-1)c.UR]} \quad (3)$$

– **Peleg:**

$$X_{eq} = a.\exp[\ln(UR).b] + c.UR^d \quad (4)$$

Para se avaliar qual a equação, dentre as utilizadas, que melhor representava os dados experimentais obtidos, foi realizada uma análise estatística. Os parâmetros estatísticos avaliados foram os descritos por Basu *et al* (2006), como o coeficiente de correlação do ajuste ( $R^2$ ), a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), o erro padrão (EP) e o desvio relativo da média (DRM), além da análise dos gráficos dos resíduos de cada ajuste.

Com base na análise estatística, a equação de GAB foi escolhida para representar as isotermas de umidade de equilíbrio das sementes de embaúba. As temperaturas utilizadas neste trabalho, foram no domínio de umidade relativa de aproximadamente 0,111 a 0,843.

#### 2.5.4 Cinética de secagem

A obtenção da cinética de secagem é de fundamental importância para a modelagem matemática da operação e projeto de secadores.

É através deste estudo que se estabelecem as equações da umidade em função do tempo de secagem para os diferentes períodos de taxa de secagem. Sendo que podem ser período de aquecimento, período a taxa de secagem constante e período a taxa de secagem decrescente, dependendo do material submetido à secagem e das condições operacionais do secador.

A cinética de secagem permite determinar a quantidade de água evaporada, o tempo de secagem, consumo de energia, entre outros, devem ser calculados e são determinados em grande medida pelas propriedades físico-químicas do material.

No entanto, a alteração da umidade e a temperatura do material, geralmente são controlados por transferência de calor e massa entre a superfície do corpo, nas mediações e no interior do material de secagem. a intensidade de secagem que denota a dependência da umidade em função do tempo é influenciada pelos parâmetros do processo de secagem, tais como temperatura, umidade, a velocidade do ar, ou pressão total.

A secagem de um determinado material pode ocorrer em dois ou mais períodos distintos. Inicialmente, para materiais com umidade elevada, há um período durante o qual a secagem ocorre à taxa constante. Este período pode ser observado em condições onde a resistência externa de remoção do vapor d'água da superfície. Em seguida, são observados um ou mais períodos em que a taxa de secagem decresce continuamente (BARROZO, 1995).

O período de secagem a taxa decrescente pode ser bem mais amplo que o período a taxa constante, podendo ser subdividido em dois ou mais períodos. A vazão do fluido que influencia a taxa de secagem constante torna-se menos importante à medida que a velocidade de secagem diminui. O período a taxa decrescente termina quando se atinge a umidade de equilíbrio, ou seja, a umidade do material está em equilíbrio termodinâmico com o vapor contido no meio de secagem.

A secagem é um processo de transferência simultânea de calor e massa. Alguns produtos biológicos, quando secam como uma partícula individual sob condições externas constantes, exibem uma taxa de perda de umidade constante durante o período inicial de secagem, seguido por uma taxa decrescente de secagem (RIZZI, JR, 2008).

Segundo Strumillo e Kudra (1986) as cinéticas de secagem são relacionadas com as alterações do valor de umidade e temperatura média ao longo do tempo, ao contrário de secagem dinâmicas que descrevem as mudanças na temperatura e perfis de umidade em todo o processo de secagem.

### **2.5.5 Influência da secagem na fisiologia da semente**

De modo geral, o teor de água das sementes florestais é bastante elevado por ocasião do ponto de maturação fisiológica, quando ocorre a coleta. Este fato conduz à necessidade de secagem das sementes de algumas espécies tolerantes à dessecação, como forma adequada para o seu armazenamento seguro.

A operação de secagem das sementes se dá, segundo Nakagawa *et al* (2000), em duas fases, sendo a primeira a transferência de água da superfície das sementes para o ar que as circunda e a segunda, o movimento da água do interior para a superfície da semente, conforme já mencionado.

A redução do teor de água em sementes retarda os processos fisiológicos, como a respiração das sementes e o consumo de substâncias nutritivas armazenadas em seus tecidos de reserva, prevenindo a proliferação de fungos e bactérias (MEDEIROS e EIRA, 2006).

Entre os primeiros pesquisadores que estudaram a condição fisiológica das sementes têm-se Roberts (1973) *apud* Medeiros e Eira (2006) o qual classificou as sementes em ortodoxas ou recalcitrantes, de acordo com o comportamento no armazenamento. Esta classificação está relacionada com a tolerância à redução do teor de água na semente. Esta redução poderá causar ou não a interrupção do desenvolvimento embrionário da semente.

O aspecto fisiológico está relacionado com o grau de tolerância das sementes à desidratação, deve-se classificá-las como ortodoxas ou recalcitrantes e ainda as intermediárias, cujo comportamento durante a secagem e armazenamento apresenta ora características semelhantes às ortodoxas ora às recalcitrantes.



São consideradas como ortodoxas aquelas sementes que podem ser desidratadas a valores muito baixos de umidade entre 5% e 7% (base úmida), sem perderem a viabilidade. Essas sementes são geralmente pequenas, tendo como exemplo a embaúba.

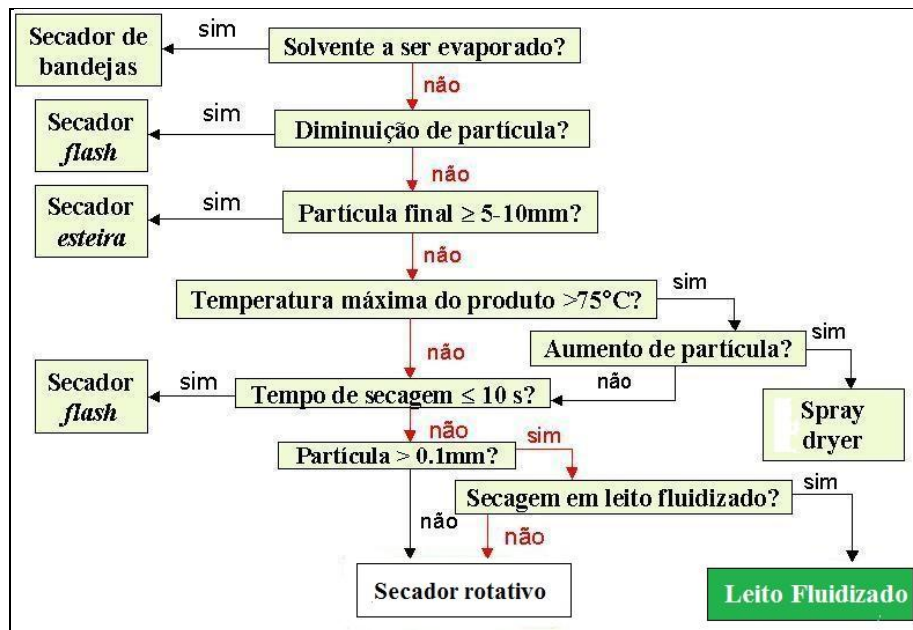
As sementes chamadas recalcitrantes são aquelas que, de forma oposta às sementes ortodoxas, são muito sensíveis à dessecação (ROBERTS, 1973 *apud* MEDEIROS E EIRA, 2006). Sementes recalcitrantes possuem elevado teor de água ao se desprenderem da planta-mãe, no final da maturação, e morrem quando seu grau de umidade é reduzido a valores abaixo do seu nível crítico de umidade (entre 15 a 50% base úmida).

### **2.5.6 Seleção de secadores**

A seleção de um tipo de secador apropriado para a secagem de sementes é uma das mais complexas e discutidas áreas de conhecimento na tecnologia da secagem de sementes, devido as dificuldades encontradas nas descrições quantitativas.

A escolha do secador apropriado provém da análise de vários fatores, como a temperatura de secagem, o tipo de material a ser seco, o tamanho das partículas no caso de material sólido e o tempo de secagem entre outros.

Na Figura 2, é apresentado um procedimento de seleção de secadores proposto por Van't Land (1991), destacando-se a seleção do secador de leito fluidizado para secagem de sementes de embaúba, o qual será utilizado nesse trabalho.



**Figura 2 - Fluxograma da seleção de secadores**

FONTE: (VAN'T LAND, 1991)

Com base na seleção de secadores de Van't Land (1991) pode-se proceder a escolha para a secagem de sementes utilizando o leito fluidizado. O item a seguir relata a técnica do leito fluidizado, bem como alguns trabalhos realizados utilizando este tipo de leito para secagem de sementes.

## 2.6. LEITO FLUIDIZADO

A operação de fluidização é conhecida desde 1926 e foi inicialmente concebida para a gaseificação de carvão. Porém, somente na década de 40 esta técnica foi difundida com a construção do primeiro leito fluidizado para o craqueamento de carvão (ROCHA, 2002).

Atualmente, os leitos fluidizados apresentam diversas aplicações industriais, como sínteses e reações catalíticas, a regeneração catalítica, a combustão e gaseificação do carvão. Além do emprego em processos não reacionais, como é o caso na secagem de partículas, recobrimento e granulação de sólidos entre outros processos.

Em um secador de leito fluidizado, o leito de partículas sólidas oferece uma resistência ao escoamento do fluido escoando através dele e, à medida que se aumenta a vazão de ar, aumenta-se também a força de arraste exercida pelo fluido sobre as partículas. Quando esta força de arraste se torna igual ao peso das partículas no leito, as mesmas são suspensas pelo fluido, a separação das partículas aumenta e o leito torna-se fluidizado.

Este equipamento pode ser operado em batelada ou de forma contínua, onde que a primeira é mais indicada para produção em pequena escala, sendo a outra mais usada em grandes proporções. Os leitos fluidizados gás-partícula apresentam importantes aplicações na indústria química, em função de proporcionarem um excelente efeito de mistura entre as fases.

A ampla utilização desse mecanismo de contato deve-se, principalmente, a alta mobilidade e intensa mistura dos sólidos que proporcionam, por sua vez, altíssimas taxas de transferência de calor e massa, e uma uniformidade de temperatura no interior do leito (COULSON e RICHARDSON, 1968; GELDART, 1986).

As principais vantagens dos leitos de sólidos fluidizados encontram-se resumidas em (GOMIDE, 1988):

- rápida mistura de sólidos, tem-se condições quase isotérmicas;
- facilidade de controle da temperatura;
- taxas de transferências de calor e massa entre o gás e o sólido são altas comparadas a outros tipos de contato;
- a área específica do sólido exposta ao fluido é muito maior do que em leitos fixos;
- facilidade de automação, operação e manutenção;
- grandes velocidades de reação são conseguidas em leitos fluidizados, e
- apropriado para operações em grande escala.

Apesar das vantagens que oferecem os leitos de sólidos fluidizados apresentam algumas desvantagens, entre as quais encontram-se (GOMIDE, 1988):

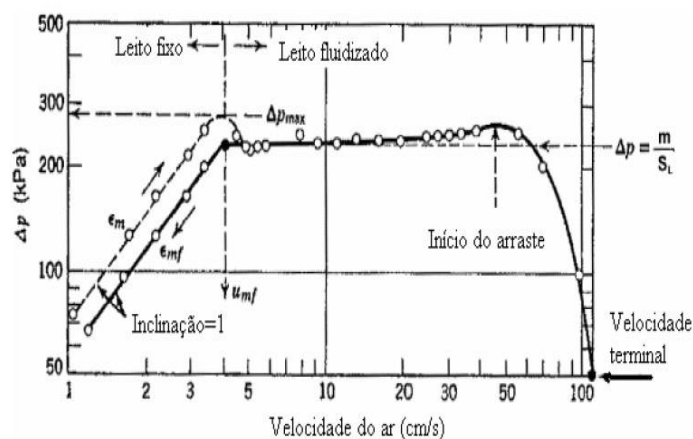
- Pode ocorrer erosão severa no equipamento devido a grande energia cinética;
- Alta perda de carga, e

- O consumo de energia é maior do que em leitos estático, devido à maior perda de carga.

### 2.6.1 Avaliação fluidodinâmica do leito

Para o estudo da caracterização de um determinado tipo de leito, é necessário ter preliminarmente a sua curva característica, conforme mostrado na Figura 3. Esta curva trata da variação da queda de pressão no leito em relação à vazão com que o fluido percola o leito.

As principais características da fluidodinâmica do leito fluidizado são: velocidade mínima de fluidização ( $U_{mf}$ ), a queda de pressão na velocidade mínima de fluidização ( $\Delta p_{mf}$ ) e a porosidade média do leito ( $\epsilon_{mf}$ ).



**Figura 3 – Perda de carga em função da velocidade do ar.**

FONTE: (Adaptado de KUNII e LEVENSPIEL 1991).

### - Queda de pressão em um leito fluidizado

No final da década de 40, Ergun unificou as expressões de Blake - Kozeny e Burke-Plummer, mostrando que a queda de pressão em leitos era composta de duas contribuições: uma associada aos atritos viscosos, que predominava na região laminar, e outra, associada aos efeitos de inércia, que predominava no regime turbulento. Na realidade, a queda de pressão do fluido ao longo de toda a faixa de regimes de escoamento pode ser expressa pela soma das equações de Blake - Kozeny e Burke - Plummer (LINDEMANN e SCHMIDT, 2010).

Logo, tem-se

Equação de Blake - Kozeny:

$$\Delta P = \frac{150 \cdot \mu \cdot v' \cdot L}{D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \quad (5)$$

Equação de Burke - Plummer:

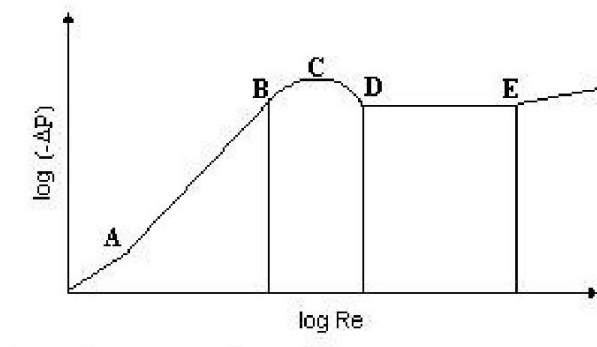
$$\Delta P = \frac{1,75 \cdot \rho \cdot (v')^2 \cdot L}{D_p} \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \quad (6)$$

Somando-se as Equações (5) e (6), obtém-se a Equação de Ergun (7). Mas como nem todas as partículas tem forma esférica, nas indústrias se usam partículas feitas especificamente para aumentar a área superficial para favorecer o contato entre fases na troca de massa e/ou calor. Através da razão entre o diâmetro equivalente de uma esfera de mesmo volume da partícula e o diâmetro linear da partícula, pode-se calcular o fator denominado esfericidade ( $\phi_s$ ). Na equação de Ergun, neste caso é incluída a esfericidade, multiplicando ao diâmetro da partícula, portanto:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \cdot \frac{\mu \cdot v'}{\phi_s^2 \cdot D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} + 1,75 \cdot \frac{\rho \cdot (v')^2}{\phi_s \cdot D_p} \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \quad (7)$$

Através da relação entre a queda de pressão do leito e a velocidade do fluido pode-se determinar a curva fluidodinâmica. Este é chamado um método experimental que é empregado para se obter a velocidade de mínima fluidização.

A partir da Figura 4, pode-se interpretar melhor o que ocorre com a queda de pressão no leito.



**Figura 4 - Log da queda de pressão em função do log Reynolds**

FONTE: Adaptado de (LINDEMANN e SCHMIDT, 2010).

Com base na Figura 4, a região compreendida pelo intervalo AB pode ser dita como leito fixo, ou estático. O regime é quase sempre laminar, com um Reynolds do escoamento menor que 10 e, portanto pode-se aplicar a equação de Ergun. No ponto B a perda de carga é igual ao peso dos sólidos. O leito se encontra quase em repouso contendo características de um fluido e é possível observar a fluidez do leito. Neste ponto as partículas mudam de posição e rearranjam-se.

Já no ponto C ocorre a mínima fluidização, ou seja, ocorre o início da fluidização. No intervalo compreendido pela curva CD, indica o movimento desordenado das partículas com freqüentes choques devido ao aumento da porosidade e menor perda de carga junto com o aumento da velocidade. Nos intervalo correspondido por BD o leito é dito em expansão.

No ponto D a perda de carga começa a ficar constante. No intervalo DE a velocidade varia linearmente com a queda de pressão até chegar no ponto E, neste intervalo pode-se chamar de “leito em ebulição” ou fluidização em batelada. No ponto E as partículas começam a ser carregadas pelo fluido e perde-se a funcionalidade do sistema. A fluidização é dita contínua ou em fase diluída. A partir daí ocorre o transporte pneumático das partículas (LINDEMANN e SCHMIDT, 2010).

#### - Velocidade mínima de fluidização

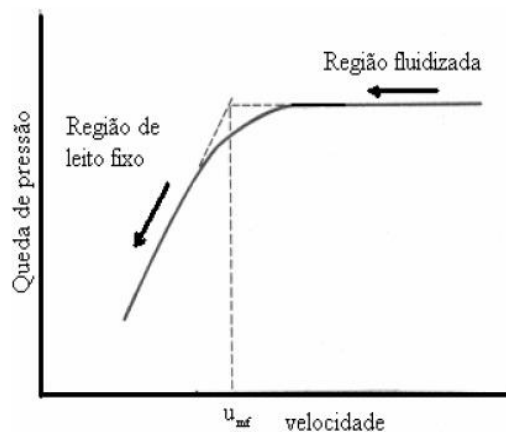
A velocidade de mínima fluidização é um parâmetro importante, pois caracteriza o início do regime de fluidização no leito. Na prática, é comum operar um leito fluidizado com velocidades de até duas a três vezes a de mínima fluidização de acordo com Rocha (2002).

Esta velocidade mínima corresponde à velocidade em que a queda de pressão se iguala ao peso aparente dos sólidos. Além disto, a velocidade mínima de fluidização marca o ponto de início da fluidização e a sua determinação é importante em cálculos de projeto de leitos fluidizados.

O sucesso na utilização de um leito fluidizado depende em primeiro lugar do conhecimento da velocidade mínima de fluidização. Abaixo desta velocidade o leito não fluidiza; e muito acima dela, os sólidos são transportados para fora do leito. Uma das formas de se obter a velocidade de mínima fluidização é por meio da curva fluidodinâmica, a qual relaciona a velocidade superficial do gás com a queda de pressão no leito.

Diversas equações estão disponíveis para predizer as condições de mínima fluidização, principalmente quando não se tem os valores de  $\varepsilon_{mf}$  e  $\varphi_s$ . A escolha da equação adequada depende da faixa de condições experimentais estudada, incluindo as propriedades das partículas, como diâmetro e massa específica, e do fluido (RIZZI JR, 2008).

A velocidade mínima de fluidização pode ser determinada experimentalmente pela interseção de duas retas traçadas tangencialmente à curva característica de queda de pressão em relação a velocidade superficial do ar, na região de leito fixo e na queda de pressão constante, na região de leito fluidizado, conforme mostra a Figura 5. Este ponto frequentemente é obtido na curva de velocidade decrescente do gás, pois o estado fluidizado prevê uma condição inicial de reprodutibilidade do leito, e a fração de vazio do leito,  $\varepsilon$ , tem seu valor máximo.



**Figura 5 - Representação esquemática para a obtenção da velocidade de mínima fluidização.**

FONTES: (LINDEMANN e SCHMIDT, 2010).

### - Porosidade mínima de fluidização

A porosidade mínima ( $\epsilon_m$ ) depende da forma e tamanho das partículas e geralmente diminui com o aumento do diâmetro das mesmas.

A porosidade de um leito pode ser encontrada experimentalmente e pode ser descrita pela Equação 8.

$$\epsilon = \frac{\text{volume de poros abertos e cavidades}}{\text{volume total do material}} = 1 - \frac{\rho_{\text{aparente}}}{\rho_{\text{real}}} \quad (8)$$

### 2.6.2 Transferência de calor e massa em leito fluidizado

Uma das grandes vantagens da técnica de leito fluidizado é a uniformidade de temperatura em todas as suas regiões. Isto se deve à alta condutividade térmica do leito. As partículas atuam como transportadores de energia térmica de um ponto a outro por causa de sua grande mobilidade no leito.



De acordo com Strumillo e Kudra (1986), no processo de secagem tem-se uma influência exercida tanto pelas condições externas e pela estrutura interna do material a ser secado. Durante o período de secagem constante, a taxa de transferência de calor e massa dependem, principalmente, do mecanismo de transporte na resistência ao transporte dentro do material a ser seco.

O calor pode ser fornecido ao material a ser seco por diferentes mecanismos, como radiação térmica de convecção, condução utilizando a absorção volumétrica de energia eletromagnética gerada em razão de frequência. Esta transferência de calor volumétrico pode acelerar o processo de secagem e oferece uma série de vantagens sobre os métodos convencionais.

### **2.6.3 Estudos de secagem de sementes em leito fluidizado**

Os estudos experimentais de secagem em leito fluidizado tem utilizado uma ampla gama de materiais particulados, normalmente inertes, tais como: resina e areia de acordo com Chandran *et al* (1990), serragem e farinha de peixe como Alvarez e Shene (1996).

No entanto, existem poucas informações sobre sua utilização na secagem de sementes, já que, a vigorosa mistura do material particulado pela corrente do ar ocasiona um alto atrito, o que pode ocasionar a perda do poder germinativo das sementes.

Alguns trabalhos foram feitos com sementes analisando a manutenção do poder germinativo após a secagem. Exemplo disto é o trabalho de Almeida e Rocha (2002) que encontraram um decréscimo de apenas 2% na germinação das sementes de brócolos após a secagem em leito fluidizado, viabilizando sua utilização para este tipo de material.

Já Drew (1987) em seu trabalho com sementes oleaginosas como é o caso da brassica *napus L*(canola), concluiu que o aumento na duração da fluidização acima de 30 minutos, para temperaturas superiores a 36 °C, reduziu significativamente o poder germinativo das sementes, sendo o uso do equipamento recomendado em condições restritas.

De acordo com o estudo de Rizzi (2008), com sementes de *Brachiaria brizantha* do gênero das gramíneas, constatou-se clara influência da temperatura do ar de entrada no tempo de secagem, e que o efeito da velocidade do ar não foi evidente.

Segundo Pereira (2010), na secagem de sementes de painço, também do gênero das gramíneas, foi verificado que o leito fluidizado foi mais adequada do que leito fixo devido a intensa mistura evitou a formação de gradientes de temperatura e umidade.

Entre os estudos com espécies pioneiras de matas tropicais, tem-se o trabalho de Arrieche *et alli* (2009) com sementes de *Cecropia glaziovii*, onde foi constatado que as sementes extraídas de infrutescências frescas, tiveram um bom estado de maturação, com índices de germinação em torno de 9 %, foi considerado um bom resultado, uma vez que com um grama de sementes foi possível obter até 140 mudas de *C. glaziovii*. Este índice mostrou que a técnica é promissora para a secagem desse tipo de sementes pioneiras e com isso pretende-se, através deste trabalho, continuar o estudo desta sementes pioneiras afim que possa auxiliar em reflorestamento de áreas degradadas.

Com base no que foi exposto na revisão bibliográfica e embora a secagem de materiais particulados via leito fluidizado seja amplamente utilizada há muitas décadas, nota-se que há necessidade de estudos específicos relacionados com a secagem de sementes, mais precisamente das espécies arbóreas florestais, utilizando leito fluidizado.

Devido a esta lacuna no que diz respeito à secagem de sementes silvestres e visando contribuir com a promoção de novos métodos de secagem deste tipo de sementes, se faz necessário o estudo da secagem de sementes de embaúba, em leito fluidizado, a fim de avaliar o efeito do processo de secagem nas propriedades físicas e fisiológicas destas sementes.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo, estão reunidos os materiais, equipamentos, metodologia de preparação dos materiais, os procedimentos que foram adotados para as determinações das propriedades físicas e fisiológicas das sementes, avaliação da fluidodinâmica do leite, bem como os métodos para a realização dos testes de secagem.

#### **3.1 MATERIAIS**

Neste estudo foram utilizados ar atmosférico aquecido e sementes de *Cecropia glaziovii* S., extraídas das infrutescências dessa espécie. Sementes essas, que foram colhidas nas florestas de São Carlos – SP, bem como cultivadas no Horto Municipal Navarro de Andrade deste município.

#### **3.2 PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS**

Neste ítem, serão abordados os procedimentos adotados durante os estudo, como coleta das infrutescências, preparação, caracterização e extração das sementes, avaliação da qualidade das sementes e por fim a operação de secagem.

##### **3.2.1 Coleta e preparação das infrutescências**

As infrutescências escolhidas para a coleta foram as que apresentaram uma maturação fisiológica propícia para a extração das sementes, bem como as infrutescências que estavam em decomposição.

A preparação das amostras consistiu em retirar materiais inertes, tais como, galhos e sujeiras, que vieram juntamente com as infrutescências. A massa desse material retirado junto das infrutescência pode ser considerado insignificante, uma vez que sua massa ficou, em média, em torno de 5% da massa total da mistura.

Após as infrutescências foram armazenadas sob refrigeração, na temperatura de aproximadamente 4°C por períodos em torno de um mês, até a etapa de extração das sementes (MOREIRA *et alii*, 2005). Essa armazenagem se faz necessária uma vez que a colheita é anual e realizada no verão, necessitando assim que as infrutescências sejam armazenadas.

### **3.2.2 Extração das sementes das infrutescências**

A extração das sementes das infrutescências se deu através dos métodos via seca e via úmida. O método via seca consiste na extração das sementes por escarificação e decomposição, sem a utilização de água. No método via úmida, as sementes são extraídas por imersão em água e filtradas por centrifugação. Após esse processo foi feita a determinação da umidade inicial.

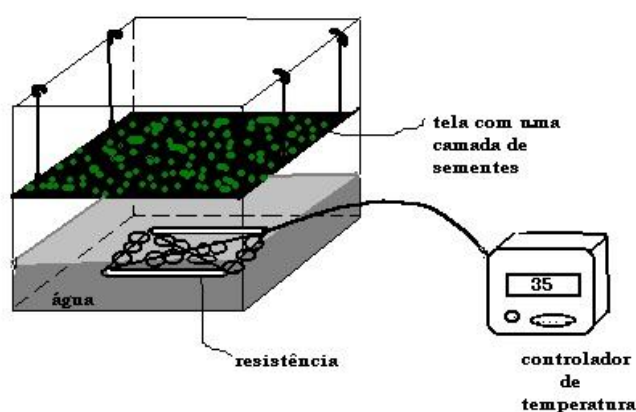
### **3.2.3 Umidade e reumidificação das sementes**

A umidade das sementes foi determinada através do método direto da estufa de acordo com o Ministério da Agricultura (1992), onde as massas das amostras foram determinadas e levadas a uma estufa da marca FANEM, modelo 315 SE por um período de 24 horas à temperatura de  $(105 \pm 3)^\circ\text{C}$ . Após este período as amostras foram retiradas da estufa e levadas a um dessecador por 20 minutos. Atingido o equilíbrio térmico entre as amostras e o ambiente realizou-se a quantificação da massa em balança analítica com precisão de  $10^{-3}\text{kg}$  então, determinou-se a porcentagem de umidade nas amostras em base úmida. A umidade do material em base úmida foi determinada através da razão da massa de água perdida, obtida através da diferença da massa inicial e da massa seca, pela massa inicial das sementes.

Antes das sementes serem colocadas para a reumidificação, realizou-se a homogeneização das amostras, a qual realizou-se em quarteador do tipo Jones, composto por 16 canais, com largura de 15 mm cada um; e possuindo uma “bandeja coletora” e uma outra bandeja “distribuidora”. As sementes foram colocadas na bandeja distribuidora e despejadas na região de entrada do quarteador, que as separou na bandeja coletora.

Após o quarteamento, as sementes foram dispostas em camadas, em torno de 1 cm de espessura de acordo com Carvalho e Nakagawa (1992).

No processo de adsorção do vapor d'água pelas sementes foi utilizado o procedimento de reumidificação de sementes, com base em Novais (1990) e Chicaroni *et al* (1998), de acordo com o esquema apresentado na Figura 6. Neste umidificador, ar e água são aquecidos por resistências elétricas, as quais se encontram acopladas a um controlador de temperatura para propiciar a saturação do ar à temperatura desejada, que nesse caso foi em torno de 35°C. A amostra de semente é, então, depositada em uma tela de sustentação e deixada repousar nesta atmosfera até atingir a umidade desejada.



**Figura 6 - Representação esquemática do reumidificador utilizado**

Fonte: Chicaroni *et al* (1998).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SEMENTES

As dimensões e a forma das partículas foram determinadas por meio de análise de imagens, com o auxílio do *software* IMAGE PRO PLUS 7<sup>®</sup>. Foram obtidos dados de área projetada, perímetro projetado (comprimento da linha que circunda a semente), diâmetro máximo (comprimento da linha mais longa unindo dois pontos contidos no perímetro da semente e passando pelo centróide), diâmetro mínimo (comprimento da linha mais curta unindo dois pontos contidos no perímetro da semente e passando pelo centróide), o diâmetro médio (comprimento médio dos diâmetros medidos a cada intervalo de 2° e passando pelo centróide da semente).

A massa específica real foi determinada por meio de um picnômetro a hélio (AccuPyc<sup>®</sup> 1330 V3.03-Micromeritics). A relação entre as medidas de massa e volume do leito particulado durante a secagem forneceu a densidade de empacotamento do leito.

Os métodos utilizados na determinação dessas propriedades físicas das sementes como diâmetro, área, perímetro, esfericidade, massa específica real e aparente e porosidade das sementes de *Cecropia glaziovii*, estão resumidas no Quadro 1.

**Quadro 1 – Determinação das propriedades físicas das sementes**

<b>PROPRIEDADE</b>	<b>NOTAÇÃO</b>	<b>MÉTODO</b>
Diâmetro linear mínimo, médio, máximo	$D_{\text{mín}}, D_{\text{méd}}, D_{\text{máx}}$	Análise de imagem - IMAGE PRO PLUS
Área Projetada	$A_p$	
Perímetro	$P_p$	
Esfericidade	$\phi$	$\phi = \frac{d_{\text{EQ}}}{d_{\text{L}}}$ <p>- <math>d_{\text{EQ}}</math> - diâmetro da esfera de mesmo volume da partícula.            - <math>d_{\text{L}}</math> - diâmetro linear máximo da partícula</p>
Massa específica real e aparente	$\rho_{\text{rp}}, \rho_{\text{ap}}$	Picnometria a Hélio, glicerina e água
Porosidade da semente	$\epsilon_p$	Porosimetria de mercúrio

Fonte: (PRADO e SARTORI, 2002; RIZZI JR, 2008; ARRIECHE, 2009)

Realizou-se a contagem das sementes de embaúba pelo método manual, afim de verificar a quantidade de sementes encontradas em uma grama.

### 3.4 EQUIPAMENTO

Foi realizado a construção, montagem e operação de um leito fluidizado. A seguir tem-se o detalhamento deste leito, bem como de toda a unidade experimental de secagem utilizado nesse estudo.

### 3.4.1. Unidade experimental de secagem em leito fluidizado

A unidade experimental, conforme representada na Figura 7 é constituída basicamente por um sistema de escoamento de fluido e por uma célula de secagem onde ocorre a transferência de calor e massa entre o sólido e o fluido. O sistema de escoamento de fluido é composto por um soprador (1), marca ZAULI de 10 HP de potência, com vazão máxima de  $0,25 \text{ m.s}^{-1}$  e altura manométrica de 1 m de coluna d'água, cuja vazão é regulada pela válvula tipo gaveta (2), de  $5,08 \times 10^{-2}$  m de diâmetro. O ar impelido pelo soprador chega ao aquecedor elétrico (3), constituído por um tubo de aço galvanizado de  $10,16 \times 10^{-2}$  m de diâmetro e 1 m de comprimento, envolvido com uma resistência elétrica de fio de níquel-cromo (KANTAL) de  $2,0 \times 10^{-3}$  m de diâmetro e recoberta com miçangas, permitindo fornecer uma potência máxima de aproximadamente 2500W, a 220 V. A regulagem da potência fornecida é realizada por um variador de voltagem (4), marca STP, de 0 a 240 V e 4,5 kW.

Após a saída do ar do aquecedor elétrico, este esco pelo umidificador do ar (6), que pode ser acionado caso seja necessário modificar ou manter a umidade do ar no decorrer do processo. Após o ar esco por um trocador de calor (tubo aletado) (7). A vazão do fluido é medida por meio de uma placa de orifício (8) para tanto foi aferida por Novais (1990) com um tubo Venturi de calibração conhecida e após o ar ingressa no leito poroso no interior da célula de secagem (13), sendo em seguida, descarregado para a atmosfera.

As medidas de umidade e temperatura do ar foram realizadas por meio de um psicrômetro (11) (medidas das temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco) e um termopar de cobre-constantan (12), respectivamente, que estavam ligados a um conjunto de chave seletora (15) e um milivoltímetro (14).

O isolamento térmico do equipamento foi feito através da aplicação de mantas e calhas de silicato de cálcio, fabricadas pela ROEKWOOLBRAS S/A e CARBORUNDUM. A proteção mecânica deste isolamento foi realizada com alumínio corrugado do tipo “cal-jack” preso com cintas e selos de alumínio.

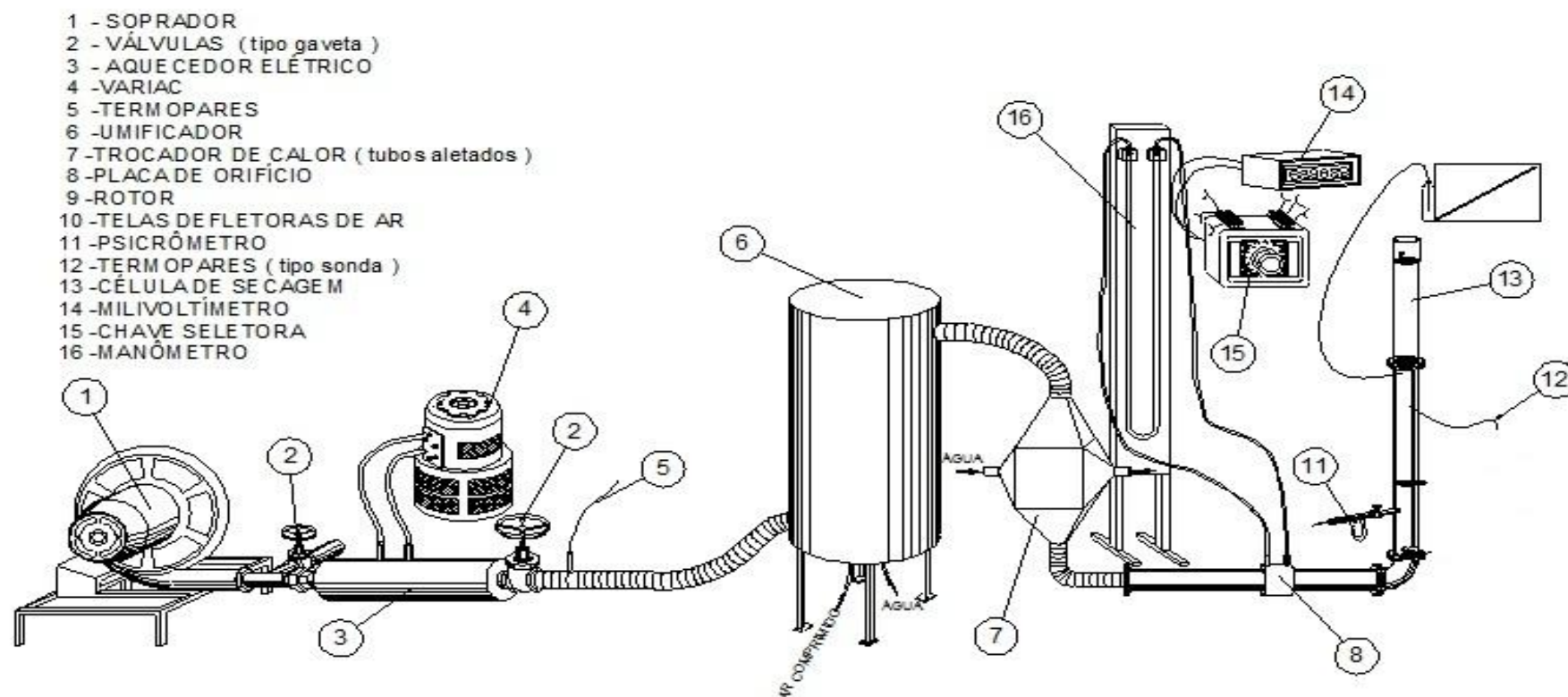
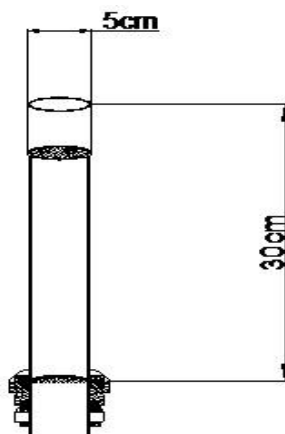


Figura 7 - Representação esquemática do leito fluidizado utilizado



### 3.4.2 Célula de secagem

Com base na unidade experimental de secagem, foi contruída uma célula de secagem em acrílico com geometria cilíndrica e dimensões de aproximadamente 5 cm de diâmetro e 30 cm de altura, conforme mostra o esquema na Figura 8.

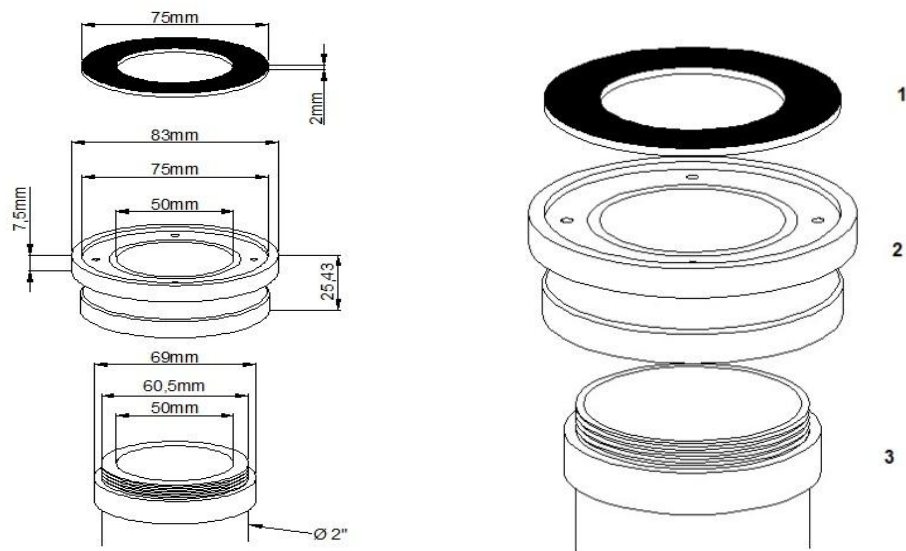


**Figura 8 - Representação esquemática da célula de secagem.**

#### **- Adaptador da tubulação com a célula de secagem**

Esta célula foi acoplada na posição vertical na região da saída do ar de secagem da tubulação. A fixação da célula foi realizada por meio de um adaptador para unir a tubulação de escoamento de ar com a célula de secagem, conforme as dimensões mostradas na Figura 8.

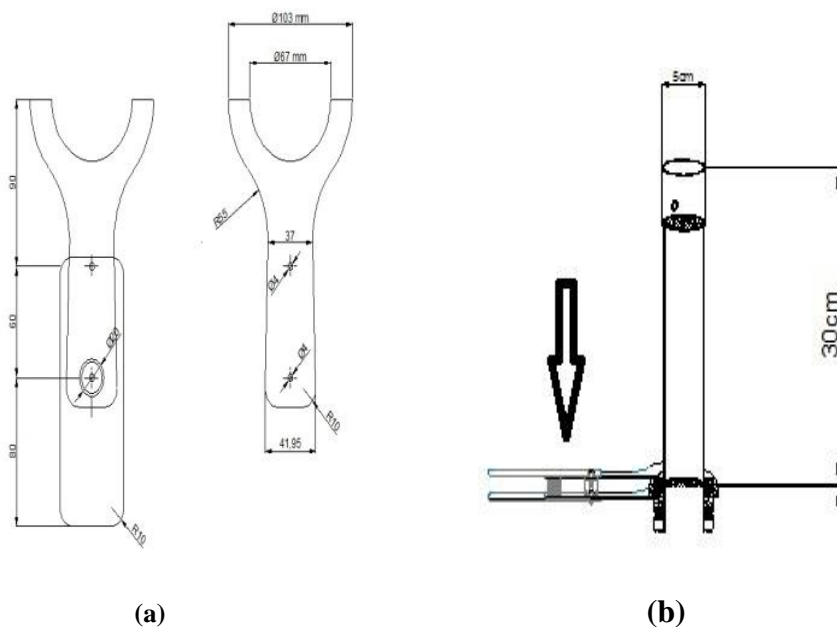
Foi realizado o projeto de construção do adaptador que serve de encaixe da célula de secagem junto a tubulação do leito (3) na Figura 7. O adaptador tem um diâmetro externo (2) de aproximadamente 83 mm, um diâmetro interno de 50 mm e uma altura de 25,43 mm. Para que não ocorra vazamentos, foi colocada uma vedação de borracha (1) com diâmetro de 75 mm e com espessura de 2 mm. Este dispositivo foi utilizado para tornar mais prática a quantificação da massa de sementes.



**Figura 9- Vista explodida do adaptador**

**- Prendedor da tubulação de escoamento de ar com a célula de secagem**

A Figura 10 mostra o detalhamento do prendedor construído (a) e o local indicado pela seta onde foi fixado o prendedor (b).



**Figura 10 - Perspectiva do prendedor (a) e vista do prendedor fixado na célula de secagem (b).**

O prendedor tem como objetivo fixar a célula de secagem junto à tubulação de escoamento do fluido na determinação da cinética de secagem pelo método intermitente de medida, obtendo assim uma maior estabilidade da célula de secagem junto ao tubulação de escoamento do ar.

### **3.5 AVALIAÇÃO DA FLUIDODINÂMICA DO LEITO**

Visando a determinação das características fluidodinâmicas do leito, como velocidade mínima de fluidização, porosidade mínima de fluidização, foram realizados testes para a obtenção destes parâmetros. Os ensaios foram realizados para o leito fluidizado, determinando-se parâmetros operacionais e metodologias para os ensaios de secagem.

Foram efetuados testes pré-operacionais no equipamento visando verificar vazamentos, mal contato nos termopares e a determinação dos limites máximos e mínimos das condições operacionais da unidade de secagem experimental.

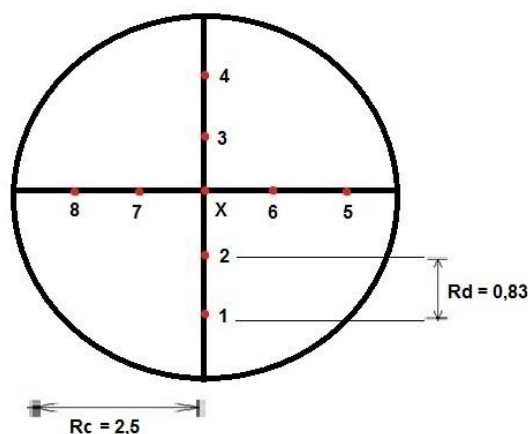
#### **3.5.1 Medidor da placa de orifício**

A placa de orifício (8) Figura 7, foi utilizada para a determinação da vazão de escoamento do ar. A queda de pressão na placa de orifício foi medida por manômetro de tubo em U tendo água como fluido manométrico (NOVAIS, 1990). Estes dados foram utilizados para a construção da curva da vazão do fluido de secagem em função da queda de pressão.

Embora se possa conhecer a vazão do fluido que permite calcular a velocidade, deve-se fazer uma determinação da uniformidade do escoamento do fluido na região de entrada do leito, para que seja garantida experimentalmente esta condição de entrada do fluido no leito.

### 3.5.2 Determinação das distribuições da velocidade e da temperatura do ar

Visando verificar a uniformidade do escoamento do fluido na entrada da célula de secagem, foi feita a determinação com base no método apresentado por Sogab (1987). Consiste em subdividir a região de escoamento de ar em áreas iguais e representativas, sendo as medidas realizadas no centro de cada área, conforme a representação esquemática na Figura 11.



**Figura 11 - Representação esquemática das posições das medidas no método de SOGAB**

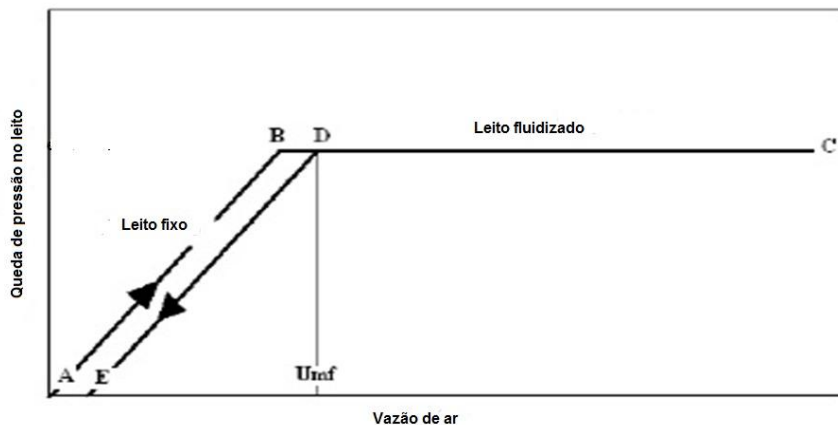
Conforme mostra o esquema da Figura 11, foram realizadas medidas em nove posições de amostragem, distanciados da parede e entre um ponto e outro em torno de  $R_d = 0,83$  cm, onde  $R_d$  é a distância medida através do centro da célula e  $R_c$  é o raio da célula de medida, segundo o método de SOGAB.

As medidas da velocidade e temperatura do ar nas diferentes posições foram realizados através de um orifício próximo a região de entrada da célula, medidos por um termopar de fio quente fabricado pela ALNOR. A precisão do instrumento em relação a temperatura é de  $1^\circ\text{C}$  e em relação à velocidade é de  $0,1$  m/s.

### 3.5.3 Determinação da curva característica de fluidização

O procedimento padrão de determinação da fluidodinâmica do leito é obter uma curva de queda de pressão em função da vazão do ar que percola o leito, que é chamada de curva característica do leito, Figura 12. A vazão mínima de fluidização experimental pode ser obtida pela intersecção das duas linhas retas que descrevem a curva experimental: a linha do leito

fixo, onde  $\Delta P$  é uma função da velocidade superficial do ar e a linha que corresponde ao leito fluidizado.



**Figura 12 - Curva característica de fluidização**

FONTE: (Meili, 2009)

A partir desta curva é possível obter a queda de pressão na vazão mínima de fluidização. A análise da fluidodinâmica foi feita em função da variação da temperatura e vazão. A velocidade mínima de fluidização foi obtida fazendo a divisão da vazão mínima de fluidização pela área transversal de escoamento do ar.

### 3.5.4 Velocidade mínima de fluidização

A previsão da velocidade de mínima fluidização foi obtida pela simplificação da equação de Ergun, conforme apresentado por Chitester *et al. apud* Kunii e Levenspiel (1991) e utilizada por Rocha (2002), no qual aplicou esta equação para a determinação da velocidade mínima de fluidização no estudo com sementes de brócolos.

$$\frac{d_p \cdot U_{mf} \cdot \rho_g}{\mu_g} = \left[ 28,7^2 + 0,0494 \left( \frac{d_p^3 \cdot \rho_g (\rho_p - \rho_g) \cdot g}{\mu_g^2} \right) \right] - 28,7 \quad (9)$$

Onde:  $U_{mf}$  é a velocidade de mínima fluidização em  $m \cdot s^{-1}$ ,  $\mu_g$  é a viscosidade do gás em  $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ,  $g$  a aceleração da gravidade e  $\rho_g$  a densidade do gás em  $kg \cdot m^{-3}$ .

A queda de pressão na mínima fluidização ( $\Delta P_{mf}$ ) foi calculado pela equação 10, em que no ponto de mínima fluidização a perda de carga através do leito de partículas se iguala ao peso aparente das sementes.

$$\Delta P_{mf} = H_{mf}(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho) \cdot g \quad (10)$$

### 3.5.5 Condições operacionais do fluido

A umidade do ar foi obtida fazendo uso da equação psicrométrica através das medidas de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido. Sendo dadas as temperaturas de bulbo seco ( $T_{BS}$ ) e bulbo úmido ( $T_{BU}$ ) do ar segundo Novais (1990), tem-se:

Umidade Relativa(%)

$$UR = \frac{(UA)P_2}{(0,622 + UA)P_3} 100 \quad (11)$$

onde:

Umidade Absoluta (massa de água por massa de ar seco)

$$UA = 0,6 \left( \frac{P_1}{P_2 - P_1} \right) \quad (12)$$

$P_2$  é a pressão barométrica local em Pascal e

$$P_1 = \exp \left( 60,4 - \frac{6834,27}{T_{BU} + 273} - 5,17 \ln(T_{BU} + 273) \right) - 0,2(T_{BS} - T_{BU})(T_{BS} + 273) \quad (13)$$

e

$$P_3 = \exp \left( 60,43 - \frac{6834,27}{T_{BS} + 273} - 5,15 \ln(T_{BS} + 273) \right) \quad (14)$$

As temperaturas e velocidades do ar nas regiões de entrada e saída do leito foram medidas através de um termoanemômetro de fio quente fabricado pela ALNOR. A precisão do instrumento em relação a temperatura é de 1° C e em relação à velocidade de 0,1 m/s.

### 3.6 CINÉTICA DE SECAGEM

Com o objetivo de obter a dependência do adimensional de umidade em função do tempo de secagem das sementes, os experimentos foram realizados conforme o procedimento a seguir. Durante o processo de secagem, a umidade das sementes foi obtida por pesagem da célula de secagem em intervalos de tempo de 10 minutos. A célula de secagem era retirada do equipamento, levada até uma balança, pesada e retornada para a unidade de secagem.

Após o equilíbrio, que caracteriza o fim do experimento, determinou-se a umidade final das sementes, obtida a partir da média de três medidas (triplicatas).

A determinação da cinética de secagem pode ser representada, graficamente, através do adimensional de umidade em função do tempo de secagem. Pode-se representar a umidade adimensional através da seguinte equação.

$$MR = \left( \frac{X_{bu} - X_{eq}}{X_{bu0} - X_{eq}} \right) \quad (15)$$

Onde: MR – Adimensional de umidade

$X_{bu}$  – Umidade no tempo t, em base úmida

$X_{bu0}$  – Umidade inicial, em base úmida

$X_{eq}$  – Umidade de equilíbrio, em base úmida

Após a realização da cinética de secagem com sementes de embaúba, foi possível uma análise dos dados obtidos na cinética através de um tratamento estatístico, conforme será apresentado a seguir.

Planejamento Experimental: as condições experimentais utilizadas para a análise da influência da temperatura e velocidade do ar foram escolhidas com base no trabalho de Arrieche (2009) para que se pudesse fazer uma análise comparativa dos resultados. Foram utilizadas temperaturas de 30°C, 40°C e 50°C, as velocidades do ar utilizadas foram de 2,1; 2,5 e 2,9 m/s. Foram escolhidos estes valores de velocidade por ser um pouco acima da velocidade mínima de fluidização, uma velocidade um pouco abaixo do leito elutriar e uma velocidade intermediária entre estas duas. A altura de leito fixo utilizada foi de 3 cm, que

corresponde a aproximadamente 10.000 sementes. A escolha dessas condições operacionais foi com o intuito de avaliar a influência dessas condições sobre as propriedades do produto, como propriedades físicas e fisiológicas, uma vez que a condição ideal para secagem de sementes florestais, segundo Carvalho e Nakagawa(1980), é 40°C. Com isso se fez a escolha por temperaturas inferiores e superiores para verificar a influência no poder germinativo das sementes de embaúba.

### 3.7 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES

Os testes de avaliação da qualidade das sementes adotados foram conduzidos de acordo com as normas oficiais da ISTA (Ministério da Agricultura, 1992). Para a realização destes testes, foi utilizada uma câmara climatizada com temperatura de  $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ , da marca FAUVEL.

Assim sendo, para a caracterização do material quanto à sua qualidade fisiológica foram adotados os testes de qualidade das sementes, conforme apresentados no Quadro 2. Estes testes foram realizados antes do processo de secagem(teste em branco) e logo após o processo de secagem, visando obter informações relativas aos efeitos imediatos do processo de redução do teor de umidade da semente sobre a sua qualidade.

**Quadro 2 - Testes da qualidade fisiológica das sementes**

QUALIDADE	TESTE	METODOLOGIA
Germinação	Teste padrão de germinação (TPG)	Foram separadas amostras de 48 sementes, que foram dispostas em substrato formado por uma camada de papel toalha da marca ELOTEST com 0,002 m de espessura. O substrato foi umedecido e colocado no germibox que foram fechadas de forma a garantir 100% de umidade relativa ambiente, para dar às sementes a quantidade de água necessária para sua germinação. Após o preparo das amostras, os recipientes foram colocados em um germinador fabricado por FAUVEL CIENTÍFICA LTDA, por um período de 21 dias a uma temperatura de aproximadamente 25,0 °C e com presença de luz, conforme estipulado nas normas do Ministério da Agricultura (1992). Realizou-se também, o teste de germinação em solo.

FONTE: (BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURAE REFORMA AGRARIA, 1992)



### 3.8 CRITÉRIO DE ANÁLISE DE REPRODUTIBILIDADE

Para a verificação da reprodutibilidade estatística dos dados obtidos, realizou-se a linearização dos dados obtidos através da Equação 16, aplicando-se testes estatísticos.

$$M = a \cdot Mr \quad (16)$$

Esta equação foi utilizada para a verificação da reprodutibilidade de replicatas, substituindo M por variáveis a serem determinadas no processo.

O melhor ajuste foi comprovado pelo parâmetro  $a$  próximo de 1, assegurado estatisticamente pela variância explicada (% de pontos explicados pelo modelo), desvio padrão (entre pontos experimentais e modelo) e teste-t (razão entre o padrão  $a$  e o desvio padrão) (ARRIECHE, 2003).

### 3.9 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

As imagens obtidas foram analisadas com o auxílio do *software* IMAGE PRO PLUS 7®. Os dados obtidos a partir destas análises foram utilizados nos cálculos das propriedades físicas das sementes como esfericidade, perímetro, área projetada e diâmetro, entre outras propriedades que foram determinadas. Estes dados, foram analisados através da construção de gráficos para diferentes dimensões das sementes, com o auxílio dos *softwares* EXCEL® e ORIGIN®.

Realizou-se com o auxílio do *software* STATISTICA®, uma análise estatística, a fim de se comprovar a influência da temperatura e da velocidade do ar na secagem e a representação matemática do processo de secagem através de equações empíricas e semi empíricas, advindos da literatura. Nesta análise, utilizou-se o método de regressão não linear para a estimação dos parâmetros de transferência de massa.

Foram avaliadas algumas equações empíricas e semi-empíricas: equações de Lewis (1921), Page (1949), Overhults *et alii* (1973) e Brooker *et alii* (1974). Estas

equações foram escolhidas por representarem a cinética de secagem de sementes e de materiais de elevadas umidades iniciais, as quais estão apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 3 - Equações empíricas e semi-empíricas utilizadas para representação da cinética de secagem.**

<b>Equação</b>	<b>Fonte</b>
$MR = \exp(-Kt)$ Onde: $K = a \cdot \exp(-b/T_f)$	LEWIS (1921)
$MR = \exp(-Kt^n)$ Onde: $K = a \cdot \exp(-b/T_f)$	PAGE (1949)
$MR = \exp[-(Kt)^n]$ Onde: $K = \exp(a + b/T_f)$	OVERHULTS et alii (1973)
$MR = c \cdot \exp(-Kt)$ Onde: $K = a \cdot \exp(-b/T_f)$	BROOKER et alii (1974)

FONTE: BARROZO (1995)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados que foram obtidos seguindo os métodos utilizados neste trabalho. Encontram-se primeiramente os resultados da coleta e preparação das infrutescências. Em seguida a extração das sementes, as determinações das propriedades destas, os resultados dos testes de secagem, bem como a análise dos dados obtidos experimentalmente com a literatura, através de equações empíricas e semi empíricas.

### 4.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS INFRUTESCÊNCIAS

As amostras das infrutescências foram coletadas em diversos estágios de maturação fisiológicas e previamente selecionadas como são mostradas na Figura 13.



**Figura 13 - Infrutescências de embaúba em sucessivos estágios de desenvolvimento até o estado de maturação fisiológica.**

Conforme observa-se em (1) na Figura 13, trata-se da espécie de embaúba vermelha, recomendada para o plantio em áreas degradadas, conforme citado por Lorenzi e Matos (2002).

Nota-se também a evolução das infrutescências, chegando a seu estado de maturidade fisiológica, conforme (11) na Figura 13. Tem-se, em média, a formação de 4 ramos em cada cacho de infrutescência. Na Figura 14, tem-se um exemplo típico de

uma infrutescência bicada por pássaros, o que possivelmente indica que a mesma se encontra madura, próxima a colheita e apropriada para a extração de suas sementes (Kerbaudy, 2004).



**Figura 14 - Infrutescência bicada por pássaros.**

Na Figura 15, tem-se a imagem interna da infrutescência cortada na direção longitudinal, no estado de maturação. Pode-se observar a disposição das sementes junto a inflorescência. É possível observar o eixo central ao longo do seu comprimento a estrutura de sustentação da infrutescência. Tem-se a mistura constituída por este eixo central e os frutos com as sementes na sua superfície.



**Figura 15 - Corte da infrutescência de embaúba em estado de maturação.**

#### **4.2 EXTRAÇÃO DAS SEMENTES**

Conforme descrito no item 3.3.1, foram realizados dois métodos para a extração das sementes das infrutescências: método via seca e via úmida. Obteve-se (48

$\pm 1$ ) g de semente no método via úmida e  $(25 \pm 1)$  g para o método via seca. Ambos os métodos foram realizados com as amostras de  $(100 \pm 1)$  g de infrutescência frescas.

O rendimento médio calculado, que foi igual a razão entre a massa extraída de sementes e a massa de infrutescência. O método via úmida foi considerado um bom resultado, uma vez que se obteve sementes úmidas e apresentou resultados próximos da literatura, conforme estudo realizado por Arrieche *et alli* (2009).

A técnica de decomposição e separação por escarificação via úmida foi melhorada e ao invés de utilizar a filtração das sementes por gravidade, optou-se pela utilização de uma centrífuga comercial, com malha filtrante de 0,5 mm, conforme estudo de Arrieche *et alii* (2009), e mostrada na Figura 16 (a) e (b). Demonstrou-se durante esta operação que foi possível fazer a extração e separação das sementes de infrutescência, obtendo sementes de boa qualidade para a condução dos testes de secagem em leito fluidizado.



(a)



(b)

**Figura 16 - Detalhes da centrifugação das sementes. (a) vista da centrífuga, (b) vista da disposição das sementes na centrífuga.**

Conforme já mencionado, a colheita destas sementes é anual, como isto tem-se que fazer um armazenamento. Ao utilizar estas sementes nos testes fluidodinâmicos de secagem, tem-se que fazer previamente uma reumidificação afim de fazer com que as sementes atinjam a sua umidade, próximas a colheita.

### 4.3 REUMIDIFICAÇÃO DAS SEMENTES

Utilizou-se a metodologia apresentada no item 3.2.3, para a realização da reumidificação das sementes de embaúba.

Os resultados advindos de diferentes experiências mostraram que a presença das sementes no vapor saturado durante aproximadamente 25 horas a uma temperatura em torno de 35°C elevou a umidade inicial das sementes de aproximadamente  $(11 \pm 1)\%$  bu para  $(35 \pm 1)\%$  bu. Constatou-se que o baixo valor do desvio entre as diferentes medidas realizadas garante a uniformidade destes dados da umidade no final da reumidificação.

Realizando a reumidificação em camadas delgadas de partículas, os resultados ficaram de acordo com os obtidos por Chicaroni *et alii* (1998), que para tempos de residência inferiores a 72 horas, também não constataram a ocorrência de germinação das sementes de gramínea de *Brachiaria brizantha*.

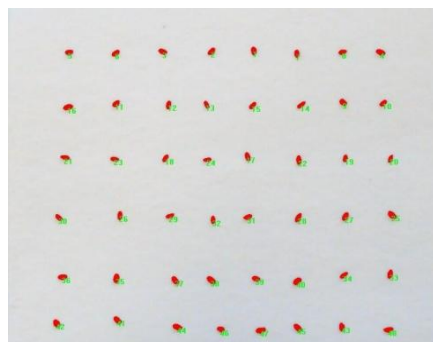
### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS SEMENTES

Após o processo de reumidificação, foi realizada a caracterização das sementes. A contagem do número de sementes por grama apresentou resultados, em média,  $(1473 \pm 20)$  unidades para sementes secas e  $(1121 \pm 23)$  para sementes úmidas. Para outras espécies de *Cecropia* como a embaúba branca e a embaúba do brejo, tem-se aproximadamente 900 e 800 unidades por grama para sementes secas, respectivamente, de acordo com Lorenzi e Mattos (2002).

A massa específica aparente das sementes úmidas e secas, determinada por meio de picnometria com água, apresentou valores de aproximadamente  $(0,7451 \pm 0,0003)$  e  $(0,4030 \pm 0,0004)$  g/cm<sup>3</sup>, para sementes úmidas e secas, respectivamente. Valores estes, próximos aos obtidos por Arrieche *et alii* (2009) que obtiveram 0,7960 e 0,4210g/cm<sup>3</sup>, para sementes úmidas e secas, respectivamente. Estes dados diferem muito dos valores de massa específica real realizada através da picnometria a Hélio onde se obteve  $(1,2560 \pm 0,0005)$  a  $(1,3067 \pm 0,0007)$  g/cm<sup>3</sup> para sementes úmidas e secas, respectivamente. Os valores da porosidade das sementes úmidas e secas foram de 40,7 e 69,1 %, respectivamente.

Segundo Arrieche *et alii* (2009), esta alta porosidade determinada após o processo de secagem, parece não estar relacionada com a possível degradação física, decorrente do movimento das partículas no leito fluidizado, uma vez que os fatores de forma permaneceram constantes após o processo de secagem.

Os dados da caracterização das propriedades físicas são referentes a um conjunto de 48 sementes, conforme resultados típicos mostradas na Figura 17 e os valores encontram-se na Tabela 1.



**Figura 17 - Imagem das sementes de embaúba através do IMAGE PRO-PLUS 7<sup>®</sup>.**

**Tabela 1 – Dados obtidos na caracterização físicas das sementes úmidas**

	Área (cm <sup>2</sup> )	Diâmetro máximo (cm)	Diâmetro mínimo (cm)	Diâmetro médio (cm)	Perímetro (cm)
Média	0,018	0,188	0,104	0,146	0,471
Desvio Padrão	0,003	0,017	0,013	0,013	0,038

Com a realização da caracterização das propriedades físicas das sementes de embaúba, foi possível a realização da fluidodinâmica do leito, a fim de que se possa determinar as suas propriedades na mínima fluidização.

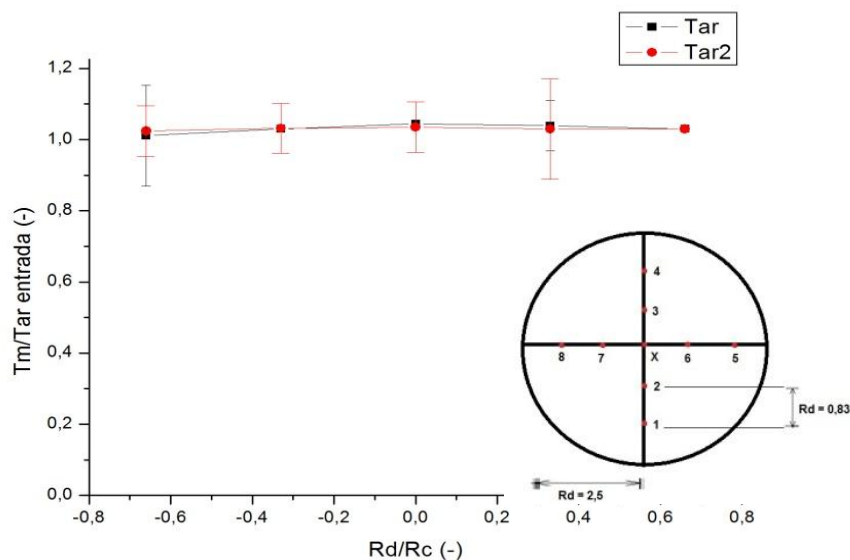
#### **4.5 AVALIAÇÃO DA FLUIDODINÂMICA DO LEITO**

O propósito dos ensaios de fluidodinâmica, foram para verificar se esse tipo de sementes fluidizava adequadamente. Ao se confirmar, foi possível a determinação das características fluidodinâmicas destas sementes no leito.

#### 4.5.1 Análise das distribuições de temperatura e velocidade do ar

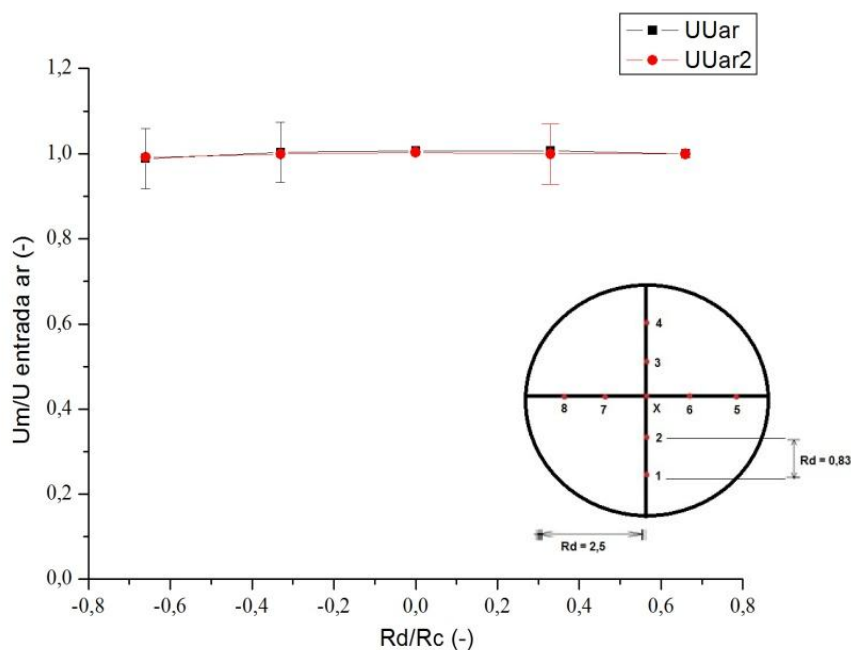
Para verificar a uniformidade das distribuições da velocidade e da temperatura do fluido através da célula de secagem, a velocidade foi medida em nove pontos de amostragem como mostrado na Figura 11.

Os adimensionais de velocidade e temperatura definidos como sendo a média dos valores de  $U$  e  $T$  medidos em cada ponto de amostragem pela velocidade e temperatura de entrada do fluido no leito ( $U$  de entrada = 2,5 m/s e  $T$  de entrada = 30 °C) e foi utilizado para a construção dos gráficos da Figura 18 e Figura 19. Estas figuras que mostram os resultados típicos da temperatura e da velocidade do ar adimensionalizadas, respectivamente, em função de  $R_d/R_c$ , onde  $R_d$  é a distância medida através do centro da célula e  $R_c$  é o raio da célula de medida.



**Figura 18 - Adimensional da temperatura do ar de entrada em função de  $R_d/R_c$ .**





**Figura 19 - Adimensional da velocidade do ar de entrada em função de  $R_d/R_c$ .**

Conforme as figuras apresentadas, pode-se considerar o escoamento do ar uniforme na maior parte da área do leito. Menores valores de velocidade do ar foram obtidos nas proximidades da parede da célula, que é um comportamento esperado desde que na superfície da parede interna do leito a velocidade é nula.

A partir destes testes verificou-se a uniformidade das distribuições de temperatura e velocidade do ar na região de secagem. Na verificação da uniformidade da temperatura, ocorreu como o esperado, nota-se que a velocidade atinge valores máximos na região central da câmara e se torna gradualmente menor à medida que se aproxima das paredes do leito.

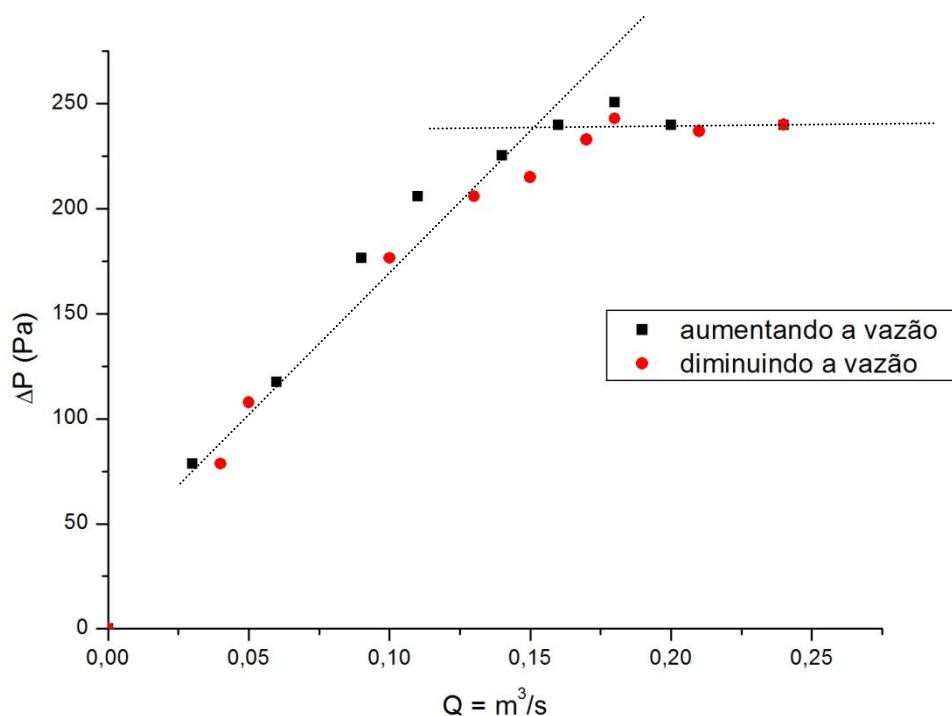
#### **4.5.2 Determinação das características fluidodinâmicas**

Na Figura 20, mostra-se uma curva característica da fluidização, com o aumento da vazão e posterior diminuição da vazão de ar.

Na Figura 20, identificam-se as regiões de leito fixo, na qual há um aumento da queda de pressão conforme aumenta a vazão de ar, e a região de leito fluidizado, onde a

queda de pressão permanece constante com o aumento da vazão. Notou-se também uma região de transição entre estas duas regiões de leito fixo e leito fluidizado, região esta que corresponde à acomodação das partículas.

A velocidade mínima de fluidização foi então obtida pela intersecção das duas linhas retas que descrevem a curva experimental: a do leito fixo, onde  $\Delta P$  é uma função da velocidade superficial do ar e a do leito fluidizado, onde a queda de pressão permanece constante no processo. O valor de  $U_{mf}$  obtido experimentalmente foi de aproximadamente de 1,5 m/s.



**Figura 20 - Queda de pressão no leito (Pa) em função da vazão volumétrica (m³/min). H = 3 cm. T = 30°C. sementes úmidas.**

#### 4.6 TESTES DE SECAGEM

Na condução dos testes de secagem pode se observar os diferentes períodos de taxa de secagem, a influência da velocidade e temperatura na secagem das sementes, bem como avaliar a influência da secagem nas propriedades físicas e fisiológicas das sementes.

#### 4.6.1 Cinética de secagem

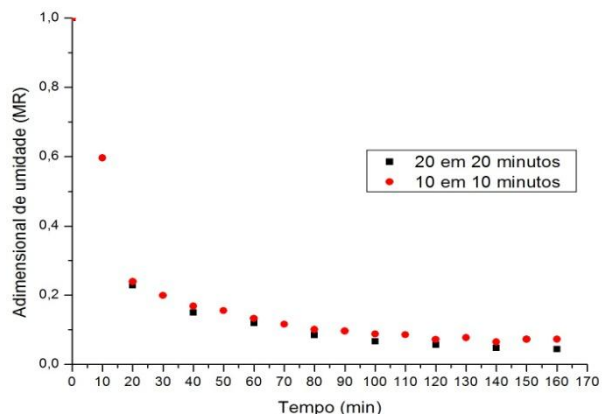
Os resultados experimentais obtidos para a umidade das sementes de embaúba em função do tempo de secagem permitiram a obtenção das curvas de umidade adimensional (MR), definida através da Equação (15), em função do tempo de secagem.

A umidade de equilíbrio ( $M_{eq}$ ) necessária para o cálculo de MR foi obtida através das isotermas de equilíbrio para sementes de embaúba determinado por Picelli *et alli* (2010). Escolheu-se a equação de GAB (Equação 2), obtida para o caso do processo de sorção de umidade com o seguinte domínio de validade  $303K \leq T \leq 323K$  e  $11\% \leq UR \leq 84\%$  e  $M_0$  correspondente ao valor inicial de umidade do material.

$$Meq = \frac{1,8.UR}{(1 - 0,6.UR)[1 + 21,5.UR]} \quad (17)$$

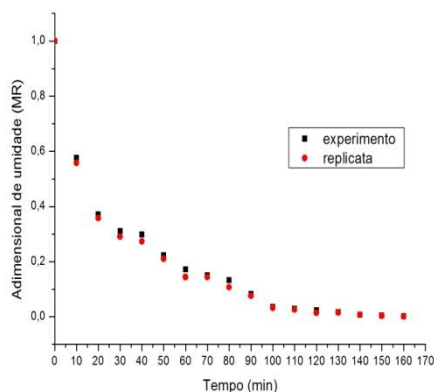
A Figura 21 apresenta um resultado típico do adimensional de umidade (MR) em função do tempo de operação de secagem, parametrizado em dois intervalos distintos de tempo de retirada da célula para a quantificação da massa. As condições operacionais de temperatura e velocidade do fluido, respectivamente, foram iguais a 40°C e 2,5 m/s.

A partir da Figura 21 pode-se fazer a análise da influência das retiradas periódicas da célula de medida da umidade de secagem. Mediante a comparação de experimentos típicos com diferentes números de retiradas, em intervalos de 10 em 10 minutos e de 20 em 20 minutos para o procedimento de quantificação de massa da célula.

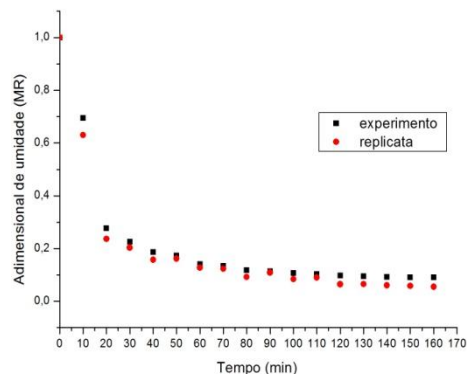


**Figura 21 - Adimensional de umidade em função do tempo parametrizado em intervalos de tempo distintos para a quantificação da massa da célula.  $V_{ar}=2,5\text{m/s}$  e  $T_{ar} = 40^{\circ}\text{C}$ .**

Nota-se na Figura 21, que os dados são reprodutíveis, que fica confirmado através do método estatístico apresentado na Tabela 2, demonstrando que este método de quantificação independe do tempo de retirada nas condições utilizadas. A Figura 22, apresenta os resultados típicos obtidos para o adimensional de umidade em função do tempo de secagem para as seguintes condições operacionais:  $30^{\circ}\text{C}$  e  $2,9\text{ m/s}$  e,  $40^{\circ}\text{C}$  e  $2,5\text{ m/s}$ , respectivamente experimento (a) e experimento (b).



(a)



(b)

**Figura 22 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem para (a)  $T=30^{\circ}\text{C}$  e  $v=2,9\text{ m/s}$  e (b)  $T=40^{\circ}\text{C}$  e  $v=2,5\text{ m/s}$ .**

Na Tabela 2, encontram-se reunidos os valores típicos dos parâmetros estatísticos.

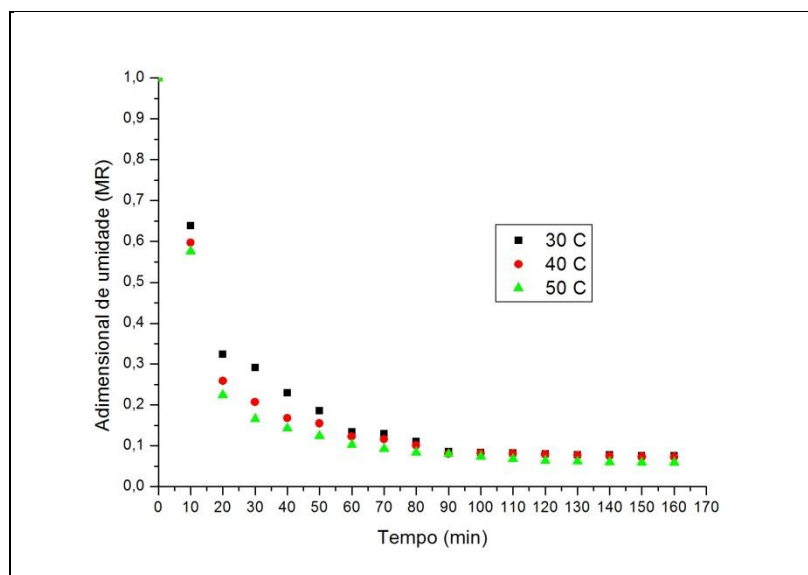
**Tabela 2 - Reprodutibilidade dos dados de cinética.**

Reprodutibilidade dos dados					
Experimento	Parâmetro a (adimensional) Equação 16	Desvio Padrão	Teste-t	Coefficiente de correlação	Variância explicada (%)
<b>Figura 21</b>	1,005	0,005	201,00	0,994	99,8
<b>Figura 22 (a)</b>	1,007	0,004	251,75	0,999	99,9
<b>Figura 22 (b)</b>	1,004	0,003	334,77	0,995	99,5

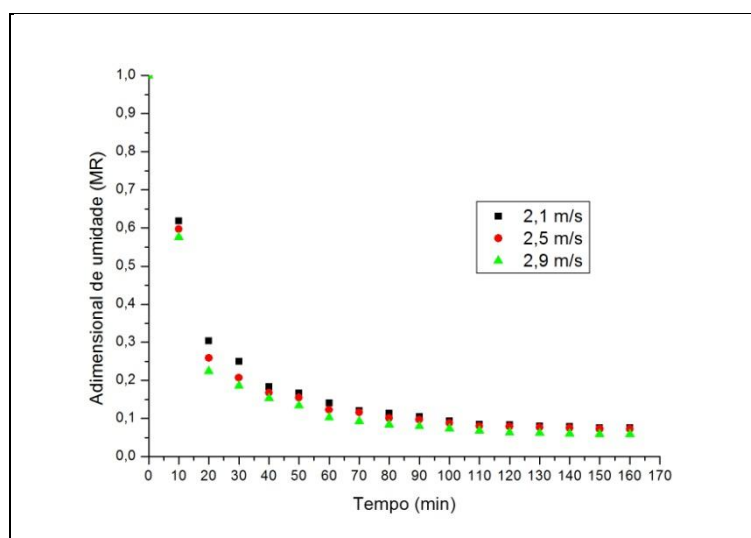
Na Tabela 2, os valores estimados para o parâmetro a são próximos à unidade nas medidas, sendo a validade estatística deste parâmetro assegurada pelos baixos valores de desvio padrão e altos valores de teste t. O alto índice de variância explicada, mostra que a percentagem de validade dos pontos obtidos pelo modelo estatístico foi excelente, não ficando abaixo de 99,5 para o experimento da Figura 21 e 99,8 % e de 99,9% para o experimento da Figura 22 (a) e (b), respectivamente.

O nível de significância (chance de erro) desta análise estatística é 5%, portanto, o valor P menor que 0,05 possibilita assegurar a validade do parâmetro a com no mínimo 95 % de confiança, considerando-se, então, o método para a determinação da cinética de secagem neste trabalho é reprodutível em ambos os experimentos. Logo, com base nesta análise estatística tem-se que os dados são reprodutíveis e com isso adequado para este estudo.

A Figura 23 apresenta os resultados típicos do adimensional de umidade em função do tempo de secagem, para a velocidade do ar de 2,5 m/s, parametrizado nos diferentes valores de temperatura utilizados. Enquanto que, a Figura 24 reúne os resultados típicos da adimensional de umidade em função do tempo de secagem advindos dos testes de secagem conduzidos a 40°C nas condições operacionais de velocidades do fluido de 2,1 m/s, 2,5 m/s e 2,9 m/s, todas estas condições para uma altura de leito de 3 cm.



**Figura 23 - Adimensional de umidade em função do tempo, para Var=2,5 m/s, parametrizado na temperatura.**

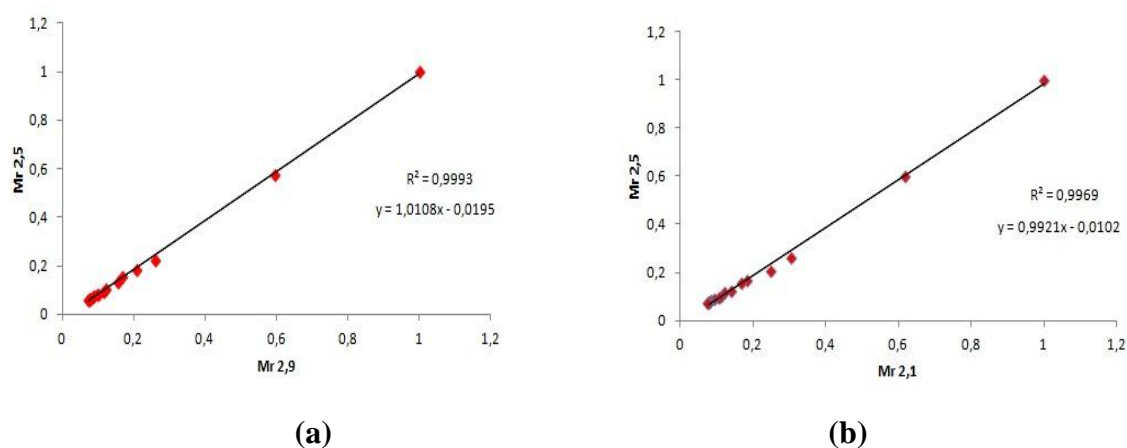


**Figura 24 - Adimensional de umidade em função do tempo, para T=40°C, parametrizado na velocidade do fluido.**

As curvas de secagem mostradas nas Figuras 23 e 24 foram elaboradas de maneira a tornar possível a visualização dos efeitos, separadamente, da influência da temperatura e da velocidade do ar na cinética de secagem.

Nota-se na Figura 23, que as diferenças entre as curvas de secagem indicam como o esperado, que a temperatura exerce uma influência acentuada na cinética de secagem, evidenciando assim, predominância de um mecanismo difusivo.

Na Figura 24, onde os experimentos foram realizados a mesma temperatura e em diferentes velocidades do fluido de secagem, observa-se que as curvas são bem próximas. Comprovado visualmente pela Figura 25, onde (a) é a curva entre os adimensionais de umidade ( $Mr$ ) nas velocidades de 2,5 e 2,9 m/s e (b), onde se tem as curvas entre os adimensionais de umidade ( $Mr$ ) nas velocidades de 2,5 e 2,1 m/s, ambas com a temperatura parametrizada em 40°C, que a influência da velocidade do fluido no processo de secagem das sementes de embaúba é desprezível, ou seja, o efeito convectivo de transferência de massa entre as sementes e o fluido pode ser considerada desprezível. Este resultado já era esperado, uma vez que a faixa de velocidade do fluido escolhida foi muito pequena, conforme já comentado no planejamento experimental.



**Figura 25 – Verificação da influência da velocidade na cinética de secagem. (a)  $Mr$  com velocidades de 2,1 e 2,9 m/s e (b),  $Mr$  com velocidades de 2,5 e 2,9 m/s.**

Em ambos os casos a secagem das sementes ocorreu predominantemente no período de taxa decrescente. Observa-se que o leito fluidizado promove uma alta taxa de secagem inicial, característica dos leitos móveis, a qual decresce rapidamente após a remoção da água livre do material.

A dependência da remoção de umidade com o tempo de secagem, para as sementes de *Cecropia glaziovii*. S. está de acordo com estudos de secagem de diversos tipos de sementes. Foi atingido um valor de umidade final em torno de 11% bu, considerado adequado para um armazenamento seguro e posterior semeadura das sementes, conforme Barrozo (1995).

#### 4.6.2. Influência do processo nas propriedades físicas das sementes

Na Tabela 3, constam os valores das propriedades físicas das sementes obtidos após a secagem.

**Tabela 3 - Dados obtidos das propriedades físicas após o processo.**

Propriedades	Área Projetada (cm <sup>2</sup> )	Diâmetro máximo (cm)	Diâmetro mínimo (cm)	Diâmetro médio (cm)	Perímetro Projetado (cm)
Média	0,014	0,162	0,090	0,128	0,412
Desvio Padrão	0,004	0,013	0,016	0,009	0,036

A partir das Tabelas 1 e 3, notou-se que as mudanças na estrutura das sementes devido ao processo de secagem no leito fluidizado pode ser considerado desprezíveis, uma vez que os desvios padrões se sobrepõem aos valores da caracterização realizada antes e após o processo, comprovando assim que esse leito é adequado na secagem deste tipo de sementes.

#### 4.7 ANÁLISE DOS DADOS ATRAVÉS DE EQUAÇÕES EMPÍRICAS E SEMI - EMPÍRICAS DA LITERATURA

Com base nos resultados experimentais obtidos foi realizado o tratamento dos dados através do pacote computacional STATISTICA 7<sup>®</sup> visando obter uma equação que represente a cinética de secagem das sementes de embaúba.

O ajuste foi feito para as equações de Lewis (1921), Page (1949), Overhults *et alii* (1973) e Brooker *et alii* (1974). Conforme apresentadas no Quadro 2, as mesmas são usualmente utilizadas para materiais orgânicos e apresentam dois ou três parâmetros a serem determinados.

Os parâmetros determinados para as sementes de embaúba, estão resumidos na Tabela 4. Estes parâmetros estatísticos se referem ao desvio padrão, Teste-t, coeficiente de correlação e variância explicada.

Através da Tabela 4 é possível analisar os valores dos parâmetros obtidos das equações e seus respectivos parâmetros estatísticos. O bom ajuste das equações é averiguado para baixos valores de desvio padrão, altos valores de Teste-t, ou seja, a



razão entre o parâmetro determinado e o desvio padrão, bem como os valores de coeficiente de correlação próximo a unidade e altos valores de variância explicada.

A Tabela 4, mostra os valores obtidos dos parâmetros das equações empíricas e semi empíricas. Diante disto, constata-se que a equação de Page (1949) foi a que melhor se ajustou diante dos altos valores de Teste-t para os parâmetros determinados, além de apresentar variância explicada de 99,66 %.

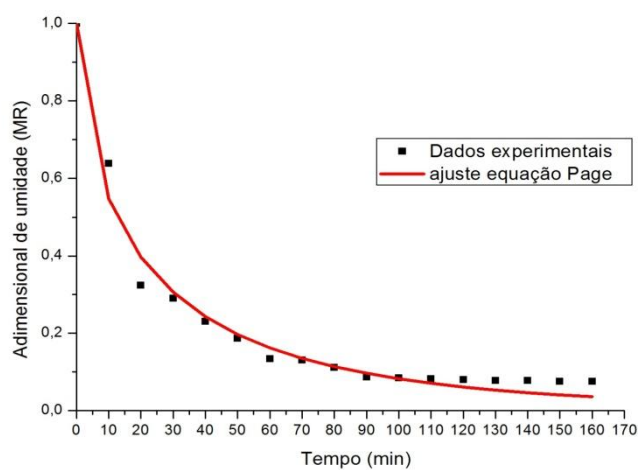
Assim, pode-se recomendar o uso desta equação para representar os dados da secagem de sementes de embaúba, com validade para o domínio de temperatura de 303K a 323K e da velocidade de 2,1 m/s a 2,9m/s.

O nível de significância, ou seja, a chance de erro, desta análise estatística é de 5%. Portanto, o valor de P menor que 0,05 possibilita assegurar a validade dos parâmetros com 95% de confiança.

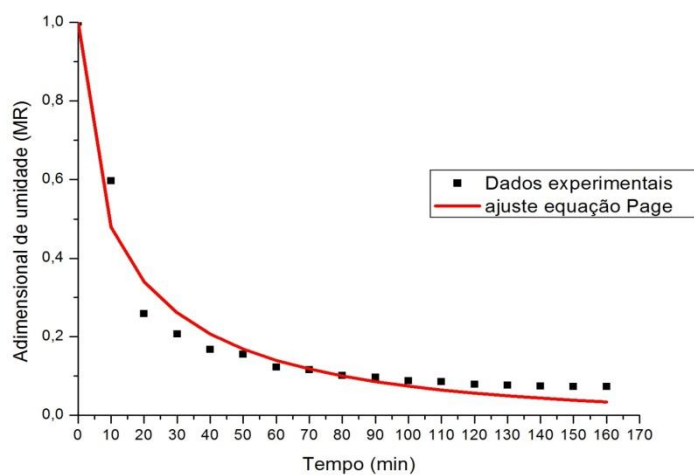
**Tabela 4 - Valores dos parâmetros das equações analisadas e parâmetros estatísticos.**

<b>Equação</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Teste-t</b>	<b>Coefficiente de Correlação</b>	<b>Variância Explicada (%)</b>
<b>Lewis</b>	a = 0,234	0,0327	7,1560	0,967	97,41
	b = 8,431	0,0749	112,5501		
<b>Page</b>	a = 0,276	0,0280	9,8571	0,998	99,66
	b=8,762	0,0390	224,6667		
	n=0,677	0,0340	25,7941		
<b>Overhults</b>	a= 0,335	0,0462	7,2511	0,981	99,12
	b = 9,112	0,0506	180,1054		
	n = 0,653	0,0370	17,6607		
<b>Brooker</b>	a = 0,202	0,0310	6,5161	0,976	98,79
	b= 8,834	0,0421	210,3333		
	c = 0,876	0,0362	24,1989		

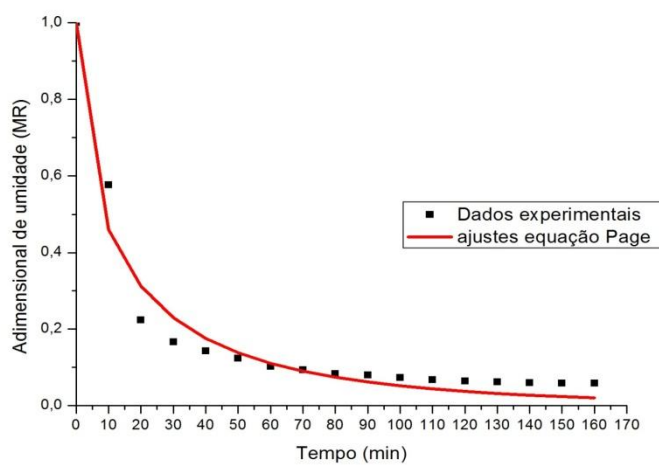
As Figuras 26, 27 e 28, mostram os resultados típicos para o ajuste da equação de Page (1949), nas condições de 30, 40 e 50°C e 2,5 m/s, respectivamente.



**Figura 26 - Ajuste da equação de Page (1949) na condição de 30°C e 2,5 m/s.**



**Figura 27 - Ajuste da equação de Page (1949) na condição de 40°C e 2,5 m/s.**



**Figura 28 - Ajuste da equação de Page (1949) na condição de 50°C e 2,5 m/s.**

Através das Figuras 26 a 28 observa-se o bom ajuste das determinações de MR em função do tempo de secagem diante da proximidade das determinações experimentais com os valores previstos pela equação de Page (1949).

Assim, recomenda-se o uso da equação de Page (1949) para representar os dados obtidos na secagem de sementes de embaúba, sendo representada pelas Equações (18) e (19).

$$MR = \exp(-k.t^{0,667}) \quad (18)$$

$$\text{Onde, } k = 0,276.\exp(-8,762/T_f) \quad (19)$$

Estas equações são válidas para o domínio de  $303K \leq T_f \leq 323K$  e  $2,1\text{m/s} \leq V_f \leq 2,9 \text{ m/s}$ .

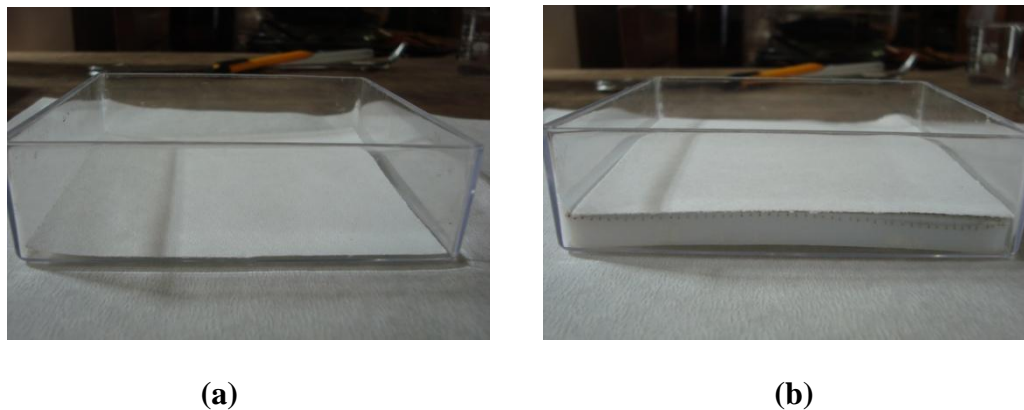
#### 4.8 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES

Além da avaliação do processo de secagem em leito fluidizado nas propriedades físicas, se faz necessário também, a avaliação do efeito do processo nas qualidades fisiológicas das sementes.

Como não se tem o conhecimento amplo da realização de testes de qualidade fisiológica para sementes silvestres, realizou-se, primeiramente um teste para verificação do melhor procedimento via Germibox a ser utilizado neste estudo.

Foram realizados os testes padrão de germinação (TPG) com diferentes tipos de posicionamento dos substratos no interior do recipiente germibox. Em um dos tipos de Germibox o substrato (papel toalha), onde eram colocadas as sementes, ficavam na parte superior de um tela, onde contia água na parte inferior (b) da Figura 29, não necessitando umidificação diária. Já no outro tipo de germibox o substrato ficava diretamente em contato com fundo do germibox (a) da Figura 29, necessitando assim, a umidificação diária das sementes para que fosse atingido a condição de 100% de umidade, requerida para o TPG. Na Figura 29 (a) tem-se o germibox sem a tela e a Figura 29 (b) o germibox com a tela de sustentação. As dimensões desses germibox são de aproximadamente de 15x15x5 cm. O índice de germinação foi determinado pela

razão de sementes germinadas pela quantidade total de sementes colocadas para germinar.

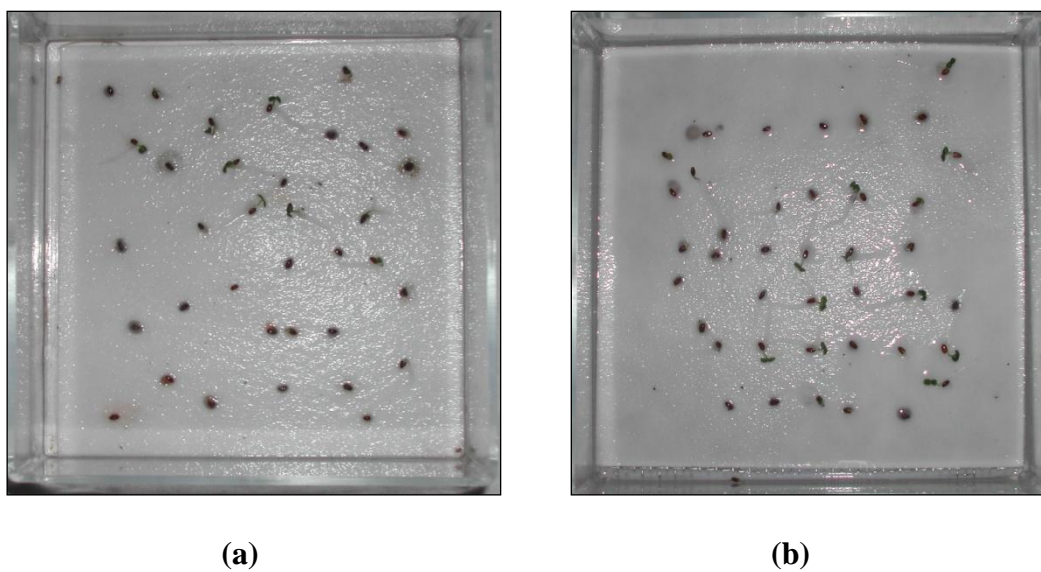


**Figura 29- Tipos de germibox: (a) com tela e (b) sem tela.**

Esses testes tiveram como objetivo avaliar a influência dos tipos de Germibox utilizados. Os resultados típicos de germinação obtidos foram: Germibox com tela ( $95,4 \pm 2,1$ ) % e Germibox sem tela ( $90,3 \pm 2,2$ ) %. Ficou constatado que o tipo de germibox não influenciou significativamente no poder de germinação das sementes de embaúba, escolheu-se então para os demais TPG, o germibox com tela por sua praticidade em não ter a necessidade de umidificação diária.

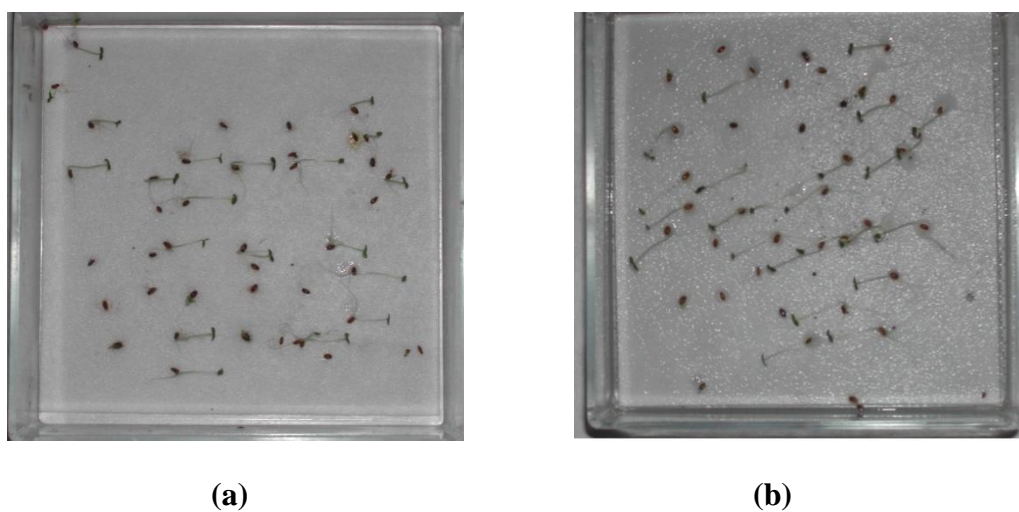
Outro teste realizado consistiu na verificação da influência da estufa no processo de germinação desta espécie de sementes. Foram utilizados diferentes lotes de sementes na estufa e outro lote de sementes ao ar livre.

Primeiramente as amostras foram colocadas em uma estufa sem circulação de ar e com temperatura de aproximadamente ( $25 \pm 3$ ) °C , com iluminação constante. Outro teste, as amostras foram colocadas ao ar livre no interior do laboratório do Centro de Secagem, em temperatura ambiente em torno ( $25 \pm 5$ ) °C. Estes testes foram realizados antes e após o processo de secagem, a fim de avaliar a influência do processo na qualidade das sementes. As Figuras 30 e 31 mostram resultados típicos no vigésimo primeiro dia de germinação das sementes dos testes de germinação na estufa e em ambiente de laboratório, respectivamente.



**Figura 30 –TPG típico em estufa das sementes de embaúba.**

**(a) antes do secagem, (b) após a secagem com Tar=40°C e Var=2,5m/s.**



**Figura 31 - TPG típico ao ar livre das sementes de embaúba,**

**(a) antes do processo, (b) após o processo com Tar=40°C e Var=2,5m/s.**

Pode-se notar através das Figuras 30 e 31 que o método do TPG no qual ocorreu em temperatura ambiente, demonstrou-se um índice de germinação maior do que o TPG realizado em estufa, tanto para sementes *in natura*, como as sementes secas, conforme demonstrado nas Tabelas 5 e 6.

Os índices de germinação realizados antes e após o processo, podem ser observados nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5 - TPG das sementes antes do processo de secagem.**

Tipo de Germibox	Local de germinação	Índice de germinação (%)
sem tela	ar livre	93,3 ± 2,1
sem tela	estufa a 25°C	88,1 ± 2,2
com tela	ar livre	95,8 ± 2,1
com tela	estufa 25°C	92,6 ± 2,3

**Tabela 6 - TPG das sementes após o processo de secagem.**

Tipo de Germibox	Local de germinação	Índice de germinação (%)
sem tela	ar livre	91,9 ± 2,1
sem tela	estufa 25°C	87,9 ± 2,2
com tela	ar livre	95,1 ± 2,2
com tela	estufa 25°C	91,2 ± 2,4

Observa-se que as sementes que foram colocadas para germinação ao ar livre forneceram um maior índice de germinação e foi onde as plântulas tiveram um maior crescimento quando comparadas às sementes que foram colocadas em estufa com um temperatura em torno de 25°C.

Através da Equação 20, realizou-se o cálculo da razão entre as porcentagens de germinação antes e após uma determinada operação.

$$\overline{GE} = \frac{GE_d}{GE_a} \times 100\% \quad (20)$$

onde,

GE<sub>a</sub>: índice de germinação antes da operação.

GE<sub>d</sub>: índice de germinação após a operação.

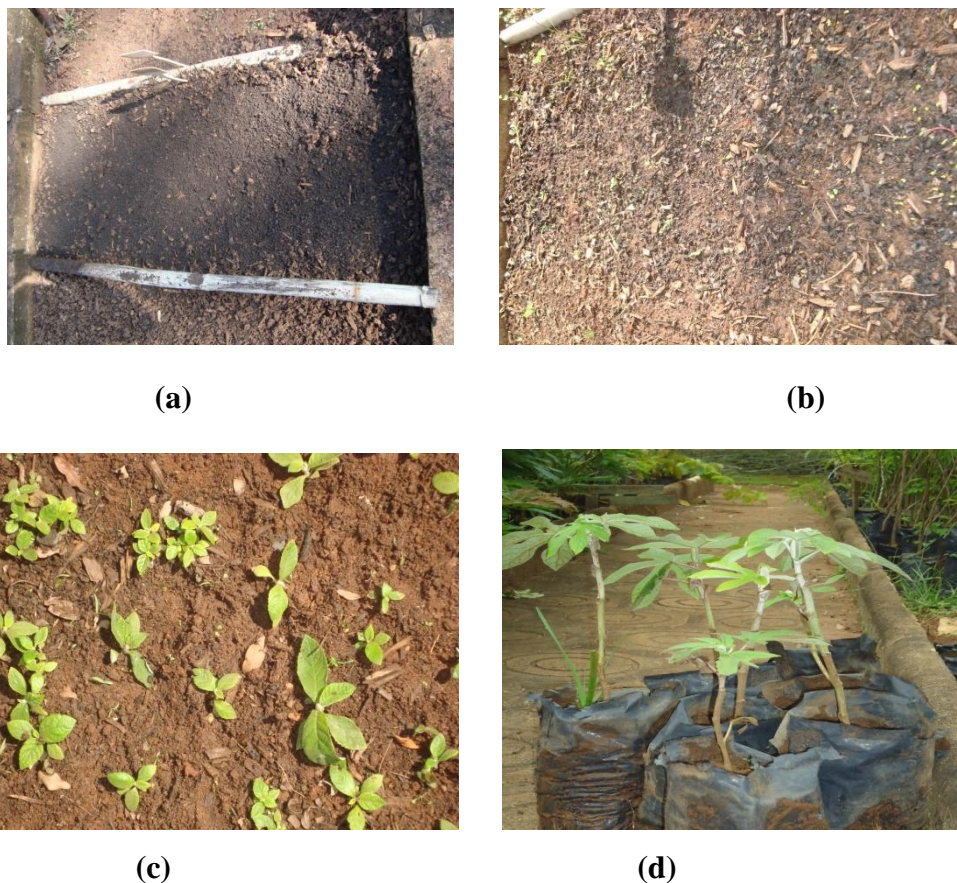
O resultado típico deste cálculo entre as porcentagens de germinação, encontram-se na Tabela 7.

**Tabela 7 - Percentual de germinação de sementes de embaúba antes e após a secagem em diferentes locais de germinação e tipos de Germibox.**

<b>Tipo de Germibox</b>	<b>Local de germinação</b>	<b><math>\overline{GE}</math> (%)</b>
sem tela	ar livre	98,50
sem tela	estufa a 25°C	99,77
com tela	ar livre	99,27
com tela	estufa 25°C	98,48

Através dos resultados da Tabela 7, pode se observar que o efeito do processo de secagem na qualidade fisiológicas das sementes, pode ser considerado desprezível, uma vez que os índices de germinação não tiveram uma diferença significativa.

Além dos testes realizados em condições laboratoriais, foram também efetuados testes de germinação em campo, com condições naturais em solo, no Horto Florestal Navarro de Andrade. Para tanto, foi preparado um canteiro com terra adubada contendo Tropstrato florestal e adubo com esterco, Figura 32 (a), onde as sementes secas no leito fluidizado foram lançadas no solo e cobertas com terra e substrato orgânico. As sementes foram plantadas no dia 15 de abril de 2011 e realizou-se o acompanhamento da germinação das sementes no decorrer dos meses. A seguir na Figura 32, tem-se a sequência de fotos retiradas do local em campo.



**Figura 32 – Teste de germinação em campo de embaúba no Horto Florestal Navarro de Andrade. (a) no dia 15 de abril de 2011, (b) no dia 15 de junho, (c) 27 de setembro e (d) 28 de janeiro de 2012.**

Notou-se que o teste de germinação em campo também foi bastante promissor. Neste teste, as sementes apresentaram uma germinação boa, apesar da dificuldade climática encontrada no período de baixas temperaturas e a escassez de chuva na cidade de São Carlos - SP entre abril e maio de 2011.

Este teste foi considerado satisfatório, uma vez que se obteve mudas de excelente qualidade, como pode se observar no exemplo típico na Figura 32 (d) e com isso, prontas para o plantio em áreas degradadas e para serem doadas a comunidade.



## 5. CONCLUSÕES

Com base no objetivo proposto e diante dos resultados obtidos neste trabalho sobre secagem de sementes de embaúba têm-se, para as condições operacionais utilizadas, as conclusões a seguir.

A coleta das infrutescências se procedeu de maneira adequada, uma vez que se obteve as infrutescências de boa qualidade, com maturidade fisiológica, e conseqüentemente, permitiu a extração das sementes.

A extração das sementes pelo método via úmida foi o mais adequado, em relação ao método via seca. Além disto, esta técnica permitiu a lavagem das sementes durante a centrifugação, o que reduziu a umidade livre e a aderência entre as partículas na operação do leito fluidizado, o que ocorria em estudos anteriores

As metodologias utilizadas para as determinações das propriedades físicas 7, foram adequadas para este tipo de semente, o que pode ser comprovado pela análise estatística dos dados experimentais.

O projeto e construção do leito fluidizado foram adequados, uma vez que foi possível realizar uma boa fluidização deste tipo de sementes pioneiras, bem como permitiu a determinação da curva característica de leito fluidizado, obtendo assim as condições de mínima fluidização.

O leito fluidizado utilizado promoveu uma alta taxa de secagem no período inicial do processo, característica dos leitos móveis, a qual decresce rapidamente após a remoção da água livre do material.

Além de ocorrer uma boa fluidização das sementes, demonstrou-se que a convecção não foi importante em relação ao efeito da temperatura, evidenciando o processo como difusivo.

A análise dos dados da cinética com base nos métodos estatísticos adotados a partir dos ajustes de equações empíricas e semi-empíricas com os dados experimentais demonstrou que a equação de Page é a mais adequada, dentre as analisadas, para representar o processo de redução de umidade em função do tempo de operação do leito fluidizado.

O processo de secagem de sementes via leito fluidizado causou pequena redução, em torno de 2%, no índice de germinação das sementes de embaúba, tanto em métodos laboratoriais quanto na germinação direta no solo. Com isto, demonstra-se que este equipamento é adequado para este tipo de sementes pioneiras.

Foi possível obter o beneficiamento de espécies pioneiras, uma vez que nas condições operacionais utilizadas, os métodos foram adequados para os diferentes processamentos das sementes de embaúba. Obtiveram-se sementes com umidade final propícia ao armazenamento e índices de germinação adequados para os programas de disseminação de espécies arbóreas. Estas novas informações sobre as propriedades de sementes pioneiras, possibilitam suprir exigências práticas relativas à legislação de recuperação de áreas florestais, e torna promissor o aumento da produção, seja de sementes para semeadura direta ou produção de mudas em canteiros para a distribuição perante a comunidade.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos, constata-se a possibilidade da continuidade destes estudos sobre a secagem de sementes florestais via leito fluidizado uma vez que este tipo de leito mostrou-se promissor para a secagem destas sementes.

Assim, tem-se as seguintes sugestões para a realização de trabalhos futuros:

- avaliar a aplicação deste método para outras espécies de sementes florestais pioneiras de matas tropicais, e

- a continuidade desta pesquisa, com ênfase na avaliação de outras técnicas de leitos móveis, visando obter conhecimento básico para o projeto e simulação de novos secadores convectivos.

A realização destes novos trabalhos são de fundamental importância para as investigações sobre sementes de espécies arbóreas pioneiras, devido à importância destas na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas. A iminente extinção de diferentes espécies da flora de Matas Tropicais torna necessário o beneficiamento e o posterior plantio ou armazenamento de sementes visando à disseminação destas variedades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M.M. **Processamento de urucum em leito de jorro: Estudos fluidodinâmicos.** Campina Grande-PB, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1993. 90p.
- ARNOSTI JÚNIOR, S. **Desenvolvimento de um Secador Transportador do Tipo Esteira com Escoamento Cruzado e Caracterização de Sementes de Gramíneas;** Dissertação de Mestrado, PPG-EQ/UFSCAR, 95 p., 1997.
- ARRIECHE, L. A. **Evolução da forma e encolhimento de um sistema gel durante a secagem por convecção forçada.** Dissertação de mestrado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos - SP, 2003.
- ARRIECHE, L. A.; SCARPELINI, L. M.; SARTORI, D. J. M. **Secagem de sementes em infrutescências de *Cecropia glaziovii*. S.: preservação de espécies pioneiras de ecossistemas tropicais.** VII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - São Carlos – SP, 2007.
- ARRIECHE, L.S; PICELLI, R.M; SARTORI, D.J.M **Drying of pioneer arboreal seeds** – IDS 2008, 2008.
- ARRIECHE, L.S; PICELLI, R.M; SARTORI, D.J.M. **Secagem de sementes arbóreas pioneiras em leito fluidizado.** XXXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Campinas, 2009.
- BARROZO, M. A. S. **Transferência de calor e massa entre o ar e sementes de soja em leito deslizante e escoamentos cruzados.** Tese de doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP, 163p., 1995.
- BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. **Models for Sorption Isotherms for Foods: A Review.** *Drying Technology*, 24:8, p. 917 – 930, 2006.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes.** Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 365p, 1992.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds,** An AVI ook published by Van Nostrand Reinhold, New York, 450p., 1992.
- CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J.. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** Fundação Cargil, 326p, Campinas-SP, 1980.
- CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar.** 85p. Tese de Doutorado em Produção Vegetal - Esalq-USP, 1996.
- CHICARONI, E. P.; PIMENTEL, R. O.; SARTORI, D. J. M. **Qualidade e cinética de secagem de sementes de gramíneas em leito de esteira e camada delgada.** In: XXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, Teresópolis, RJ, p.413-420, 1998.

COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F. **Tecnologia Química**. v.2, ed.2, Fundação Calouste Gulbenkian, 1968.

DAVIDE A., CARVALHO L., SILVA E. **Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 28, nº 2, p.15-25, 2006.

DREW, R.L.K. **The effects of duration and temperature of treatment in a prototype fluidized-bed seed treatment on the subsequent germination of seed of oilseed rape Brassica napus L.** Seed Science and Technology, v.17, p.7-13, 1987.

EPAGRI. **Umidade da semente ou grão**. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2008.

FARIAS, F. S. **Modelagem e simulação dinâmica de um combustor de gás natural em leito fluidizado**. Dissertação de Mestrado, 105 p, UFPE - Recife, 2004.

FERREIRA, M. M. P. **Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial**. Tese de Doutorado, São Carlos, SP, 235 p, 2003.

FUMAGALLI, F. **Estudo da secagem das sementes de Brachiaria brizantha**. Tese de Doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos/SP, 149 p, 2007.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. **Drying of seeds**. Ciência Rural vol.34 nº2 Santa Maria/RS. 2004.

GELDART, D. **Gas fluidization technology**, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1986.

GOMIDE, R. **Operações com sistemas sólidos granulares**. v.1, São Paulo, 1983.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). **International rules for seed testing**. Seed Science and Technology, v.13, p.322-326, 1985.

KALIFE, C.; SCREMIN-DIAS, E.; MENEGUCCI, Z. R. H.; SOUZA, P. R. **Manual de produção de mudas de espécies florestais nativas**. Série: Rede de Semente do Pantanal, nº 2. Campo Grande: Editora UFMS, 2009.

KERBAUY, G. B. (2004). **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro - RJ, 1ª Edição, 452 p.

KUNII, D.; LEVENSPIEL, O. **Fluidization engineering**. 2 ed. Boston: Butterworth – Heinemann, 1991.

LINDEMANN, C. e SCHMIDT, V., **Leito Fluidizado**. Notas de aula, Rio Grande/ RS. 2010

LIMA, R.A.B, **Fluidodinâmica de leitos fluidizados e vibrofluidizados operando com partículas planas**. Dissertação de mestrado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos/SP, 127 p, 2009.

- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4ª ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v.1, 368p, 2002.
- LORENZI, H; MATOS, F. J. A. **Plantas Medicinais no Brasil, Nativas e Exóticas**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP, 544 p, 2002.
- MARCOS FILHO, J. **Testes de vigor: importância e utilização**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999.
- MARTINS, S.V. **Recuperação de matas ciliares**. Editora Aprenda Fácil. Viçosa - MG, 2001.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Operations of Chemical Engineering**, McGraw-Hill INC., 1028p., 1993.
- MEDEIROS, A. C. S., EIRA, M. T. S., **Comportamento fisiológico, secagem e armazenamento de sementes florestais nativas**. Circular Técnica, Colombo/PR, 2006.
- MEILI, L. **Contribuições ao estudo da fluidodinâmica e da secagem de pastas em leitos fluidizados e vibrofluidizados**. Tese de Doutorado, São Carlos/SP, 218 p, 2009.
- MOREIRA, F., CHAGURI, L., VÁZQUEZ, G. **“Mathematical Modeling of the Drying Kinetics of Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) – Influence of the Natural Shells**. Food and Bioproducts Processing, v.4, n.83, 2005.
- MUJUNDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**, 3º ed. Taylor & Francis Group, 2006.
- NAKAGAWA, J. e CARVALHO, N. M. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. Ed. Jaboticabal. FUNEP, 588p, 2000.
- NASSIF, S. M. L.; FERNADES, G. D.; VIEIRA, I. G. **Fatores Externos (ambientais) que Influenciam na Germinação de Sementes**. Informativo de Sementes - IPEF – 1998.
- NAVES, M. **O vigor nos lucros**. Revista Cultivar Grandes Culturas. Ed. Nº 19, 2000.
- NOGUEIRA, A. C.; MEDEIROS A. C. S; **Extração e beneficiamento de sementes florestais nativas**. Circular Técnica, Colombo/PR, 2007.
- NOGUEIRA, M. C. S.; DE SOUZA, F. H. D.; FILHO J. M. **Características físicas das sementes de *calopogonium mucunoides* desv. associadas à qualidade fisiológica e ao padrão de absorção de água**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 18, nº 1, p. 33-40, 1996
- NOVAIS, A. F. **Análise da aplicação do leito deslizante e escoamentos cruzados na secagem de sementes de soja**. Dissertação de mestrado, PPG-EQ/UFSCar, 97p., 1990.

PEÇANHA, R. P.; MASSARANI, G. **Dimensão característica e forma de partículas**. In: Anais do XIV Encontro Sobre Escoamentos Em Meios Porosos, Campinas, SP, p. 302-312, 1986

PEREIRA, A.V. **Caracterização e secagem de sementes de painço**. Dissertação de Mestrado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP, 2010.

PICELLI R; ARRIECHE L.S; R. M; SARTORI, D.J.M. **Características da umidade de equilíbrio da *Cecropia glaziovii* S.** XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Foz do Iguaçu, 2010.

PRADO, M. M. e SARTORI, D. J. M. **Secagem de sementes de papaya em leito fixo e camada espessa: estudo experimental dos fenômenos simultâneos de transferência de calor e de massa e encolhimento**. In: 9th Latin American Congress in Heat and Mass Transfer, San Juan, Puerto Rico, 2002. Actas del 9th LATCYM, Session: Drying Processes. #92. San Juan: UPRM, 2002.

PRADO, M. M. **Secagem de sementes de mamão papaya**. Dissertação de Mestrado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos, SP, 1999.

RIZZI JR, A. C. **Secagem de sementes de gramíneas *Brachiaria brizantha* em leito fluidizado**. Tese de Doutorado, PPG-EQ/UFSCar, São Carlos/SP, 130 p, 2008.

ROCHA, S. C. S. **Fluidodinâmica de sementes de brócolos em leito fluidizado e leito de jorro**. Scientia Agricola, Piracicaba-SP.-Brasil, v. 59, n. 04, p. 645-652, 2002.

ROBERTS, E. H. **Predicting the storage life of seeds**. Seed Science and Technology, Zurich, v. 12, p. 499-514, 1973.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução SMA nº.47 de 26 de novembro 2003**. Diário Oficial do Estado de São Paulo -Meio Ambiente, 2003.

SMA, SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, 2003. **Orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas**, Estado de São Paulo, 19 p.

SOGAB, M.N., **Curso de Controle da Poluição Atmosférica**, 13p., São Paulo, 1987.

STRUMILLO, C. e KUDRA, T., **Drying: Principles, Applications and Desing**, Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

TAKAKI M.; GODOI, S. **Effect of temperature and participation of phytochrome on the control of seed germination in *Cecropia glaziovii* S. (*Cecropiaceae*)**. Revista brasileira de sementes v.27 n.2 Pelotas/RS. 2005.

VAN'T LAND, C. M. **Industrial Drying Equipment: Selection and Application**. Marcel Dekker, New York, 1991.