

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

GIOVANA AMÉRICO ROSSO

**RECOBRIMENTO DE SEMENTES DE FRUTOS SILVESTRES EM
PANELA ROTATÓRIA**

SÃO CARLOS

2013

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

GIOVANA AMÉRICO ROSSO

**RECOBRIMENTO DE SEMENTES SILVESTRES EM PANELA
ROTATÓRIA**

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.

Orientador: Prof.Dr. Dermeval José Mazzini Sartori

SÃO CARLOS

2013

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

R838rs Rosso, Giovana Américo.
Recobrimento de sementes silvestres em panela rotatória
/ Giovana Américo Rosso. -- São Carlos : UFSCar, 2013.
116 f.

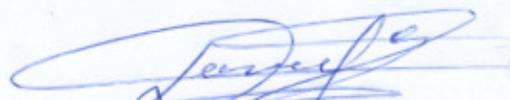
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2013.

1. Sistemas particulados. 2. Recobrimento. 3. Sementes.
4. Panela rotatória. 5. Gel alginato de sódio. I. Título.

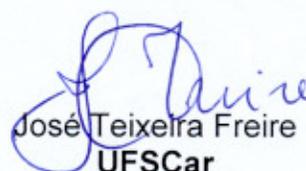
CDD: 660.2842 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE **GIOVANA AMÉRICO ROSSO** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 21 DE MARÇO DE 2013.

BANCA EXAMINADORA:



Dermeval José Mazzini Sartori
Orientador, UFSCar



José Teixeira Freire
UFSCar



Manoel Marcelo do Prado
UFS

Dedico este trabalho aos meus amados pais Antonio Rosso e Adirlei Américo. Pais, por vocês cheguei até aqui e por vocês seguirei em frente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a pessoa que me mostrou a oportunidade de fazer o mestrado, que me apontou o caminho e me apresentou o meu orientador. Agradeço imensamente ao Luciano Jacob Corrêa (Lu), pois se não fosse por sua ajuda, talvez essa caminhada não fosse possível.

Aos amigos da República Chico Lopes que me receberam em sua casa nos meus primeiros dias em São Carlos e que até hoje são pessoas importantíssimas nos meus dias.

Aos meus pais Antônio Rosso e Adirlei Américo que sempre acreditaram em mim, sempre me deram muito apoio seja qual fosse minha decisão de vida e por sempre se mostrarem amigos, cúmplices e sem dúvida nenhuma os melhores pais do mundo.

Ao meu namorado Leonardo por me dar força nos momentos de angustias e dúvidas, por estar sempre ao meu lado independente do meu humor.

Aos amigos Stephânia, Jéssica e Otávio por terem sido minha primeira família em São Carlos e à minha segunda família Flávia e Marraíssa.

À Alana pela amizade, pelos dias de alegria e desabafo.

Aos colegas do Centro de Secagem Gustavo, Ariany, Bruna, Maísa, Hugo e Renata pela ajuda constante e os momentos de descontração no cafezinho.

Aos funcionários e técnicos do DEQ-UFSCAR Adilson, Oscar, Marcos, Dorival e Edilson pela colaboração para a realização deste trabalho.

Aos professores do Centro de Secagem Maria do Carmo, Fábio, Ronaldo e especialmente ao professor Freire, por suas perguntas sempre instigantes.

Ao meu amigo de longa data que me inspirou a fazer engenharia Valdeir Magalhães.

Por fim e não menos importante ao meu Orientador Dermeval José Mazzini Sartori. Agradeço por ter me aceitado como sua orientanda, pelos ensinamentos, honestidade, amizade e comprometimento durante estes dois anos de convivência.

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

A todos o meu sincero MUITO OBRIGADA!

“O futuro não é o resultado de escolhas entre caminhos alternativos oferecidos pelo presente, e sim um lugar criado, criado antes na mente e na vontade, criado depois na ação.”

Chico Xavier

RESUMO

A fim de minimizar os efeitos causados pelo desenvolvimento do Brasil, tal como, a supressão da Mata Ciliar, buscam-se espécies arbóreas que tenham as características necessárias para a recuperação de áreas degradadas. Diante disto, estudam-se plantas superiores de frutos encapsulados silvestres, das quais se destaca a *Mabea fistulífera* Mart.. Tendo em vista que a *M. fistulífera* se reproduz através de unidades embrionárias que precisam ser tratadas, este estudo teve como objetivo avaliar a secagem de frutos silvestres com deiscência explosiva para extração das sementes e do recobrimento das sementes com mistura gel via drageadora, bem como a avaliação da tolerância dos embriões em relação aos efeitos imediatos dos processos. Assim, o procedimento experimental consistiu na coleta dos frutos capsulares e extração das sementes através da secagem dos frutos, de modo que foram analisados os métodos de secagem via radiação solar, convecção natural, convecção forçada e via secagem em drageadora. Considerou-se para a análise dos métodos de secagem a velocidade de abertura dos frutos e qualidade fisiológica das sementes. Assim sendo, verificou-se que todos os métodos permitiram a recomposição fisiológica dos embriões, porém a secagem via drageadora ocorreu com menor tempo de processo em relação às demais técnicas. Uma vez realizada a extração das sementes, estas foram separadas dos materiais inertes obtendo-se lotes puros de sementes. Realizaram-se também as caracterizações de tamanho, forma e massa específica obtendo-se os resultados de $(0,78 \pm 0,05)$ cm, $(0,67 \pm 0,04)$ cm e $(0,59 \pm 0,04)$ cm para os $D_{\text{máx}}$, $D_{\text{médio}}$ e D_{mim} , respectivamente, fator de forma de $(0,075 \pm 0,01)$, massa específica real de $(1,20 \pm 0,01)$ g/cm³ e massa específica aparente de $(0,82 \pm 0,01)$ g/cm³. Foram feitas também análises para caracterização química das sementes obtendo-se $(82,93 \pm 0,11)\%$ de matéria seca, $(19,03 \pm 0,078)\%$ de proteína bruta, $(1,18 \pm 0,11)$ g/kg de cálcio, $(0,65 \pm 0,03)$ g/kg de magnésio, $(0,58 \pm 0,04)$ g/kg de fósforo, $(13,45 \pm 0,33)$ g/kg de potássio e $(0,70 \pm 0,03)$ g/kg de enxofre. Analisou-se também o processo de recobrimento das sementes via reação entre o gel alginato de sódio e o sal cloreto de cálcio em diferentes ângulos de inclinação e velocidade de rotação da panela rotatória (drageadeira). Verificou-se que para realizar o recobrimento das partículas foi necessário preparar a superfície das partículas através de escarificação química, visando ao aumento na rugosidade da superfície das sementes, e posterior reumidificação com solução saturada de cloreto de cálcio. Desta forma, constatou-se que o ângulo de 25° e a velocidade de 25 rpm possibilitaram maior quantidade de massa aderida sobre as sementes. Além disto, realizaram-se testes a fim de verificar a eficiência do processo de recobrimento, sendo que nos níveis mais baixos do planejamento experimental verificaram-se os maiores valores de eficiência. Nos testes de crescimento das partículas avaliou-se o tempo de processo que foi aproximadamente de 8 segundos. Por fim, foi realizada a análise e o tratamento dos dados obtidos, mediante técnicas estatísticas e equações advindas da literatura. Desta forma, com os resultados obtidos colaborou-se para avanços nos processos de secagem dos frutos silvestres e no recobrimento das sementes da espécie pioneira *M. fistulífera*.

PALAVRAS-CHAVE: Recobrimento. Sementes. Panela rotatória. Gel alginato de sódio.

ABSTRACT

In order to minimize the effects caused by the development of Brazil, such as the suppression of riparian forest, one has searched for tree species that have the characteristics needed for the recovery of degraded areas. Given this, studies focus on higher plants of encapsulated wild fruits, especially the *Mabea fistulifera* Mart. Considering that *M. fistulifera* reproduces through embryonic units that need to be treated, this study aimed to evaluate the drying of wild fruits with explosive dehiscence and the coating "in natura" seed with gel mixture via coating pan, as well as evaluating the tolerance of embryos related to the immediate effects of the processes. Thus, the experimental procedure consisted of the collection of capsular fruits and extraction of seeds of fruit by drying so were analyzed drying methods via radiation, natural convection, forced convection and coating pan. It was considered for the drying methods analysis the opening fruit speed and seed vigor. Thus, all processes allowed physiological recovery of embryos, but the extraction method via pan promoted the highest opening speed of the fruits. Once performed the extraction, the seeds were separated from the inert material obtaining pure batches of seeds. There were also characterizations of size, shape and specific mass obtaining the results (0,78±0,05) cm, (0,67±0,04) cm and (0,59±0,04) cm for D_{max} , $D_{médio}$ and D_{mim} , respectively, form factor (0,75±0,01), specific mass of (1,20±0,01) g/cm³ and apparent mass of (0,82±0,01) g/cm³. Analyzes were also made for chemical seed yielding (82,93±0,11)% of dry matter (19,03±0,78)% crude protein, (1,18±0,11) g/kg calcium (0,65±0,03) g/kg magnesium (0,58±0,04) g/kg phosphorus (13,45±0,33) g/kg potassium (0,70±0,03) g/kg of sulfur. The process of coating seeds, through reaction between sodium alginate gel and calcium chloride salt at different angles of inclination and rotation speed of the coating pan, was also analyzed. Thus, it was found that to achieve the coating of the particles it was necessary to prepare the particle surface by chemical scarification, in order to increase the surface roughness of the seed, followed by rehydration with saturated calcium chloride. This way, it was found that the angle of 25° and speed of 25 rpm generate the greatest quantity of mass adhered on seeds. In addition, tests were performed to verify the efficiency of the coating process, and with the lowest angle set in experimental design was found higher values of efficiency. In tests of particle growth was evaluated that the process time was approximately 8 seconds. Finally, the analysis and processing of data obtained through statistical techniques and equations from literature were performed. In this way, the results contributed to improvements in drying processes of wild fruits and the coating of seeds of the pioneer species *M. fistulifera*.

KEYWORDS: Coating. Seeds. Coating pan. Sodium alginate gel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Inflorescência de <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	20
Figura 2-2 - Frutos capsulares de <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	21
Figura 2-3 - Sementes de <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	21
Figura 2-4 - Cápsula dos frutos após a ruptura do tabique.	28
Figura 2-5 - Mecanismo simplificado de crescimento durante o recobrimento de partículas.	39
Figura 2-6 - Mecanismos de redução de tamanho.	40
Figura 2-7 - Esquema de adesão em superfícies rugosas.	42
Figura 2-8 - Estrutura do alginato de sódio.	44
Figura 2-9 – Esquema de uma panela rotatória convencional ou drageadeira.	48
Figura 2-10 - Diagrama de uma drageadeira padrão.	48
Figura 3-1 - Secagem dos frutos dispostos em monocamadas para a extração das sementes.	53
Figura 3.2 - Unidade experimental utilizada na secagem dos frutos via panela rotatória. (A) Sistema de aquecimento e panela rotatória. (B) Ampliação da panela rotatória fechada com tela de metal.	54
Figura 3.3 - Esquema das dimensões analisadas das sementes.	56
Figura 3-4 - Esquema da drageadeira padrão utilizada.	58
Figura 3-5 – Esquema do plano regulável da panela rotatória e suas dimensões em centímetros.	59
Figura 4-1 - Frutos coletados de <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	71
Figura 4.2 - Fruto com rupturas no epicarpo.	73
Figura 4.3 - Frutos divididos em cocas.	74
Figura 4.4 - Mistura heterogênea resultante dos processos de secagem dos frutos.	75
Figura 4.5 - Sementes extraídas de <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	75
Figura 4.6 - Distribuição dos diâmetros das sementes para cada método de secagem.	76
Figura 4.7 – Micrografia de microscopia eletrônica de varredura da semente <i>in natura</i> ampliada 200X, indicando a presença de poros.	80

Figura 4-8 - Micrografias de microscopia eletrônica de varredura para a análise do tamanho dos poros aumentada 5.000X. (A.1) Poro 1 diâmetro menor. (A.2) Poro 1 diâmetro maior. (B.1) Poro 2 diâmetro menor. (B.2) Poro 2 diâmetro maior. (C.1) Poro 3 diâmetro menor. (C.2) Poro 3 diâmetro maior.	81
Figura 4.9 – Estágios de germinação das sementes via método indireto. (A) Início do teste de germinação. (B) Uma semana após o início do teste. (C) 30 dias após o início do teste.	83
Figura 4-10 - Estágios de germinação das sementes. (A) plantio das sementes, (B) 27 dias após o plantio e (C) 40 dias após a sementeira.	84
Figura 4.11 – Imagens das superfícies das sementes. (A).1 sementes "in natura" à olho nu. (A).2 semente "in natura" com aumento de 500X. (B).1 semente escarificada à olho nu. (B).2 semente escarificada com aumento de 500X....	88
Figura 4-12 - Espectro das sementes escarificadas submetidas à reumidificação em solução de cloreto de cálcio, obtido no MEV-DRX.....	90
Figura 4-13 - Espectro das sementes "in natura" submetidas à reumidificação em solução de cloreto de cálcio, obtido no MEV- DRX.....	91
Figura 4-14 - Sementes de <i>Mabea fistulífera</i> Mart. sendo revestidas com alginato no interior da drageadora, na condição operacional com o ângulo de inclinação de 35° e rotação da panela em 35 rpm.	92
Figura 4-15 - Sementes de <i>M. fistulífera</i> recobertas em drageadora em operação com ângulo de 25° e rotação de 25 rpm.	93
Figura 4-16 - Superfície de respostas do processo de recobrimento de sementes de <i>M. fistulífera</i> via drageadora.	96
Figura 4-17 - Diagrama de Pareto das variáveis analisadas no recobrimento das sementes de <i>M. fistulífera</i>	97
Figura 4-18 - Imagem da semente "in natura" obtida por MEV 43X.	99
Figura 4-19 - Imagem da semente recoberta obtida no MEV 43X.	99
Figura 4-20 - Superfície de respostas da eficiência do processo de recobrimento.	101
Figura 4-21 – Representação da massa aderida sobre as partículas durante o recobrimento.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Potência óptica da lâmpada de infravermelho em função da faixa de comprimento de onda emitido.....	65
Tabela 3.2 – Potência óptica da lâmpada de infravermelho em função da voltagem aplicada.	66
Tabela 4.1- Resultados típicos das propriedades físicas das sementes via análise de imagens *	77
Tabela 4.2 - Dados das dimensões das sementes via micrômetro digital*	78
Tabela 4.3 – Resultados típicos das propriedades químicas das sementes e cascas de <i>M. fistulífera</i> em relação à matéria seca.	85
Tabela 4.4 – Resultados típicos dos macronutrientes presentes nas cascas e sementes de <i>M. fistulífera</i> em relação à matéria seca.....	85
Tabela 4.5 – Matriz de experimentos e resultados das variáveis de resposta para o processo de recobrimento.	95
Tabela 4.6 - Resultados das dimensões e forma das sementes recobertas de acordo com o planejamento experimental utilizado.	98
Tabela 4.7 – Resultados obtidos para a eficiência do processo de recobrimento...	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Planejamento experimental utilizado nos testes de recobrimento.....64

NOMENCLATURA

A_p	área projetada	[L ²]
D	Diâmetro	[L]
d_{cc}	diâmetro circunscrito	[L]
d_p	diâmetro da esfera equivalente	[L]
d_{ic}	diâmetro inscrito	[L]
\overline{d}_p	diâmetro médio da partícula	[L]
m	massa das partículas	[M]
M	massa	[M]
P_p	perímetro projetado	[L]
\overline{GE}	razão entre as percentagens de germinação das sementes, Equação 13	-
t	Tempo	[T]
T	Temperatura	[θ]
UR	umidade relativa do ar	-
V_b	volume do leito empacotado	[L ³]
V_p	volume da partícula incluindo os poros	[L ³]
V_s	volume do sólido	[L ³]

SÍMBOLOS GREGOS

δ	crescimento da partícula	[L]
η	eficiência, Equação 8	adimensional
ϕ	esfericidade, Equação 3	adimensional
ρ_p	massa específica aparente	[M L ⁻³]
ρ_b	massa específica do leito	[M L ⁻³]
ρ_s	massa específica real	[M L ⁻³]
ε	porosidade, Equação 9	adimensional

SUBSCRITOS

0	condição inicial
exp	Experimental
max	Máximo
min	Mínimo
p	Partícula
rec	Recobrimento
s	Sólido
tag	total do agente de cobertura

ABREVIATÖES

b.s.	base seca
b.u.	base úmida
Cel	Celulose
EE	extrato etéreo
FDA	fibra em detergente ácido
Lig	Lignina
MS	matéria seca
MM	material mineral
PB	proteína bruta
TPG	teste padrão de germinação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	ÁRVORES SILVESTRES DE FRUTOS CAPSULARES – <i>Mabea fistulífera</i> Mart. 19	
2.2	GENERALIDADES SOBRE AS SEMENTES SILVESTRES	22
2.3	PROCESSO PRODUTIVO DAS SEMENTES DE <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	25
2.3.1	Coleta dos frutos.....	25
2.3.2	Secagem dos frutos deiscientes para a extração das sementes.....	26
2.3.3	Separação de materiais inertes e preparo dos lotes de sementes	29
2.4	PROPRIEDADES DAS SEMENTES	30
2.4.1	Propriedades físicas: dimensões das partículas e esfericidade.....	30
2.4.2	Propriedades físicas: massa específica.....	32
2.4.3	Propriedades fisiológicas: testes de avaliação da germinação	34
2.4.4	Propriedades químicas.....	35
2.5	ESCARIFICAÇÃO DAS SEMENTES	36
2.6	PROCESSO DE RECOBRIMENTO	37
2.6.1	Mecanismo simplificado de crescimento durante o recobrimento.....	39
2.6.2	Crescimento das partículas e eficiência do recobrimento	43
2.6.3	Gel alginato de sódio	44
2.7	RECOBRIMENTO DE SEMENTES.....	46
2.8	PANELA ROTATÓRIA OU DRAGEADEIRA	47
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1	MATERIAIS	51
3.2	PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS	52
3.3	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS SEMENTES	55
3.4	EQUIPAMENTO	58
3.5	RECOBRIMENTO DAS SEMENTES DE <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	61
3.5.1	Preparação da superfície da partícula.....	62
3.5.2	Aplicação do gel de recobrimento na partícula.....	63
3.5.3	Fixação do gel biodegradável na superfície das sementes.....	65
3.6	DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO RECOBRIMENTO	66
3.7	DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS PARTÍCULAS	67

3.8	ANÁLISE DA REPRODUTIBILIDADE E TRATAMENTO DOS DADOS.....	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1	PREPARAÇÃO DOS LOTES DE SEMENTES DE <i>Mabea fistulífera</i> Mart.	71
4.2	CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E FISIOLÓGICAS DAS SEMENTES.....	76
4.2.1	Caracterização física: dimensões das sementes e fator de forma	76
4.2.2	Caracterização física: massa específica	79
4.2.3	Caracterização fisiológica: testes de germinação	83
4.2.4	Caracterização química	85
4.3	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RECOBRIMENTO	87
4.3.1	Avaliação do preparo da superfície das sementes	87
4.3.2	Revestimento das sementes	92
4.3.3	Avaliação da eficiência de recobrimento	100
4.3.4	Avaliação do crescimento das partículas	102
5	CONCLUSÕES	104
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

1 INTRODUÇÃO

Durante o período de expansão do Brasil o uso de recursos naturais, gerou passivos ambientais que precisam ser recuperados (ANDRADE et al., 2005). Inúmeras são as tentativas de se encontrar um meio viável para recuperar tais áreas degradadas. Entre as possibilidades estudadas, o plantio de sementes de árvores pioneiras é a que tem apresentado resultados satisfatórios (PICELLI et al., 2010; CORRÊA et al., 2012) fomentando a busca de novas espécies que tenham características de plantas superiores, o que contribui para aumentar o conhecimento sobre espécies pioneiras nunca antes estudadas, como a *Mabea fistulífera* Mart.

A *M. fistulífera*, planta pertencente à família das *Euphorbiaceae*, do grupo das Angiospermas, reúne propriedades que a tornam promissora para este tipo de processo: adapta-se à luz direta, é capaz de se reproduzir em solos de baixa fertilidade e suas sementes são fonte de alimento para muitos animais (VIEIRA et al., 1996; PEREIRA, 2007; ASSUMPÇÃO, 1981), pois frutificam durante o período de escassez de alimentos, favorecendo a dispersão natural da planta. Uma vez que a reprodução desta espécie ocorre através do plantio das unidades embrionárias é necessário planejar as etapas do processo produtivo de sementes (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007). Desta maneira, devem-se identificar árvores matrizes, coletar os frutos durante o estágio de maturidade fisiológica e extrair as sementes, já que se tratam de frutos capsulares com deiscência explosiva. Nos casos de frutos deiscentes utiliza-se para a extração das sementes diferentes processos de secagem, os quais devem ocorrer de forma a manter as propriedades das sementes, pois sementes dentro de padrões de qualidade pré-estabelecidos são fundamentais para qualquer programa de mudas voltado para reconstrução florestal.

Na busca por sementes de alta qualidade, estudam-se métodos que possam contribuir para maior proteção das mesmas, como os revestimentos artificiais. Estes recobrimentos visam inibir o ataque de pragas, prolongar o período de armazenamento e fornecer nutrientes que possam melhorar a emergência da plântula, preservando os índices de germinação (PEREIRA, 2003). O revestimento com substâncias poliméricas biodegradáveis tem se mostrado promissor na tentativa

de agregar proteção e qualidade às sementes (PRADO et al., 2006; PINTO et al., 2012).

Existem diversos tipos de equipamentos utilizados para o recobrimento: leito fluidizado, leito de jorro, painéis e tambores rotatórios são alguns exemplos (OLIVEIRA; FREIRE, 1992). Diante disto, foram desenvolvidos diferentes estudos no que diz respeito ao recobrimento de partículas, com o objetivo de avaliar a fluidodinâmica do processo (ROCHA; TARANTO, 1992, DUANGKHAMCHAN et al., 2011), o crescimento das partículas durante o recobrimento (AYUB, 1993), os fenômenos de transporte envolvidos no processo (TARANTO et al., 1996) e a análise da eficiência do revestimento (ADEODATO, 2003; TOBISKA; KLEINEBUDDE, 2001).

A aplicação de painéis rotatórios, também conhecidas como drageadeiras, justifica-se pelo fato deste ser o equipamento precursor em cobertura artificial, com abrangente aplicação na indústria de fármacos (OLIVEIRA; FREIRE, 1992), de modo que, o equipamento possibilita diversos estágios de operação, atingindo assim, maiores possibilidades de recobrimento.

No que diz respeito ao recobrimento de sementes com géis no Centro de Secagem da UFSCar, pode-se citar, Prado et al. (2006) que realizaram o estudo de avaliação do efeito da secagem sobre sementes recobertas com gel ágar. Cordeiro (2006) recobriu sementes de gramíneas com o objetivo de comparar as técnicas de recobrimento via gotejamento, placas perfuradas e painéis rotatórios, com matriz polimérica a base de gel ágar. Neste estudo, foi necessária a utilização de chicanas na painéis rotatórios com o objetivo de evitar ou diminuir a formação de aglomerados de sementes. Nesta mesma linha de pesquisa, recentemente Pinto et al. (2012) recobriram sementes de milho, sem a utilização de equipamentos auxiliares internos à drageadeira, com matriz polimérica de alginato de sódio através da reação com o cloreto de cálcio, obtendo sementes revestidas sem a formação de agregados celulares. Porém, é necessária a realização de novos estudos, uma vez que, de acordo com Pinto et al. (2012), foi possível recobrir as sementes de gramínea, mas é necessário aumentar a fixação da camada de cobertura sobre a superfície da semente. Por outro lado, diante da literatura consultada, não foram

encontrados estudos sobre recobrimento de sementes pioneiras em drageadeiras, o que suscita a realização de estudos nesta área.

Tendo em vista a continuidade dos trabalhos realizados no Centro de Secagem de Pastas, Suspensões e Sementes da UFSCar, relativos às operações de recobrimento de sementes, este estudo tem como objetivo principal investigar os métodos de secagem dos frutos e o recobrimento de sementes de frutos silvestres com mistura gel, via drageadora, de uma espécie pioneira natural de ecossistemas tropicais, como forma de beneficiamento e melhoria para sua utilização na regeneração natural de Matas Ciliares, bem como a avaliação dos efeitos imediatos dos processos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No decorrer deste capítulo serão apresentados alguns aspectos sobre os fenômenos de transporte envolvidos no processo de secagem dos frutos e recobrimento das sementes da espécie *Mabea fistulífera* Mart. A *M. fistulífera* é uma espécie florestal pioneira que possui frutos capsulares, sendo assim, apresentam-se também os processos de coleta, extração e beneficiamento das sementes, materiais deste estudo. Ao final, serão feitas algumas considerações sobre os efeitos da secagem dos frutos e do recobrimento das sementes no melhoramento do armazenamento e germinação das mesmas, bem como características que relacionam a qualidade das sementes sob o enfoque da fisiologia e desenvolvimento da plântula.

2.1 ÁRVORES SILVESTRES DE FRUTOS CAPSULARES – *Mabea fistulífera* Mart.

O Brasil possui a maior biodiversidade vegetal do planeta, com mais de 40 mil espécies de plantas. Segundo pesquisadores do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, (FORZZA et al., 2010), existem no país um total de 40.982 espécies de flora, sendo 3.608 de Fungos, 3.495 de Algas, 1.521 de Briófitas, 1.176 de Pteridófitas, 26 de Gimnospermas e 31.156 de Angiospermas. Algumas famílias destas plantas destacam-se por sua grande diversidade nas florestas brasileiras, como por exemplo, o grupo das Angiospermas.

Dentro do grupo das Angiospermas, encontram-se a família das *Euphorbiaceae*, que segundo Sátiro e Roque (2008), está entre as famílias de maior importância econômica entre as Angiospermas, incluindo plantas geralmente lactescentes. O fruto é geralmente capsular com deiscência explosiva, abrindo-se em três mericarpos, sendo conhecido como cápsula tricoca. A *M. fistulífera* é um exemplo típico da família *Euphorbiaceae*, uma vez que apresenta inflorescências e frutos capsulares com deiscência explosiva.

A *M. fistulífera*, também conhecida como mamoinha-do-mato, canudeiro, canudo-de-cachimbo, mamoneira-do-mato, mamona-do-mato e raiz-de-tiú, é uma árvore dióica e lactescente que mede de 4 a 8 m de altura. O tronco mede de 20 a 30 cm de diâmetro, revestido por casca pardacenta com ritidoma estriado. Suas folhas são alternas, simples, estreitamente ovaladas, elípticas a oblongo-elípticas, com margens serradas, membráceas, lustrosas, glabras a glabrescentes na face superior, com indumento ferrugíneo próximo à nervura central na face inferior, face na qual as nervuras primárias e secundárias são salientes, de 8 a 12 cm de comprimento (LORENZI, 2008).

A árvore de mamoinha-do-mato possui inflorescências em panículas terminais, dióicas, conforme apresentado na Figura 2.1. Seus frutos, Figura 2.2, são globosos, de 15,5 a 19 mm de diâmetro, cápsulas tricocas deiscentes, sendo uma semente por coca, ferrugíneo-tomentosos no epicarpo e carúncula situada no hilo da semente.

Figura 2-1 - Inflorescência de *Mabea fistulífera* Mart.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Figura 2-2 - Frutos capsulares de *Mabea fistulífera* Mart.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Uma vez que esta espécie possui frutos secos deiscentes, suas sementes são obtidas a partir do momento que os frutos atingem a maturidade fisiológica e iniciam a abertura espontânea das cápsulas, expelindo as sementes. As sementes são oblongas a obovóides medindo de 6 a 10 mm de comprimento, incluindo a carúncula, e 5 a 7 mm de largura (VIEIRA et al., 1997) com a refe na parte central conforme a Figura 2.3.

Figura 2-3 - Sementes de *Mabea fistulífera* Mart.



FONTE: LORENZI, 2008.

A *M. fistulífera* é uma planta nativa, amplamente encontrada no Cerrado, áreas de transição da Mata Estacional Semidecidual e em locais com impacto antrópico acentuado (PEREIRA, 2007). Sua presença é bastante comum

em diferentes regiões do estado de São Paulo, mas também possui distribuição geográfica entre os estados do Pará, Acre, Bahia, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro (CORDEIRO; SECCO, 2010).

A floração da planta ocorre durante os meses de janeiro a abril, período que corresponde ao início da estação de seca, de modo que a maturação dos frutos ocorre a partir do mês de setembro, podendo prolongar-se até o mês de outubro (LORENZI, 2008). Pelo fato da floração ocorrer no período de escassez de alimentos, muitos animais utilizam seu pólen e néctar como fonte alternativa de alimento. Dentre estes animais encontram-se várias espécies de morcegos (VIEIRA et al., 1996; PEREIRA, 2007), macacos (ASSUMPÇÃO, 1981) e alguns fitoseídeos que se destacam como predadores naturais de pragas (DAUD; FERES, 2004).

Esta espécie pioneira se adapta a luz direta, a solos de baixa fertilidade e de acidez elevada. Nunes et al. (2002) em seus estudos sobre Rebrotas de Espécies Arbóreas em Fragmento Florestal Degradado pós-fogo em Viçosa-MG, observaram que a *M. fistulifera* é uma das espécies arbóreas com capacidade de rebrotar mais importante na restauração florestal por fogo, reduzindo custos de projetos de recuperação dessas áreas degradadas. Por outro lado, Daud et al. (2004) observaram que manter esta planta em agroecossistemas poderá ser estratégico para o controle natural de pragas. Seus resultados fortalecem a hipótese da vantagem da manutenção de plantas nativas próximo a cultivos para propiciar um controle natural de espécies-praga, uma vez que estas se alimentam de pólen da planta.

Além do aspecto ecológico, como a recomposição dos ecossistemas, por exemplo, a *M. fistulifera*, possui grande valor econômico, pois de suas sementes pode-se extrair o óleo, com rendimento de cerca de 40%, utilizado na produção do biodiesel, mercado com crescimento amplo no Brasil (REIS et al., 2005).

2.2 GENERALIDADES SOBRE AS SEMENTES SILVESTRES

Assim como citaram Carvalho e Nakagawa (2000), as sementes das Angiospermas são formadas basicamente pelo tegumento, embrião e por um

terceiro elemento denominado endosperma. Já do ponto de vista funcional, são constituídas por casca, tecido de reserva e tecido meristemático, cada um apresentando funções específicas. Estas partes das sementes resultam dos diversos componentes do óvulo, e que durante o seu desenvolvimento pós-fecundação então sujeitas às modificações.

A casca é a estrutura externa que delimita a semente, podendo ser constituída apenas pelo tegumento, e em certos casos também pelo pericarpo. O tegumento é formado por camadas celulares originadas pelo tegumento do óvulo, enquanto o pericarpo é originado da parede do ovário (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

O eixo embrionário é a parte vital das sementes, pois apresenta a capacidade de se desenvolver, devido à presença de tecido meristemático nas suas duas extremidades, apresentando assim condições que viabilizem o crescimento deste eixo no sentido das raízes e do caule.

O tecido de reserva pode ser constituído pelo endosperma, pelos cotilédones e em alguns casos pelo perisperma. Devido às substâncias acumuladas nestes tecidos de reserva que o eixo embrionário, por ocasião da germinação, consegue energia e material metabolizado para se desenvolver e originar uma plântula autotrófica (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; COSTA, 2010).

Do ponto de vista fisiológico, a germinação consiste no processo que se inicia com o suprimento de água à semente seca e termina quando o crescimento da plântula se inicia, ou seja, quando ocorre o desenvolvimento da radícula através do tegumento. O processo de germinação inicia-se, portanto, com o ressurgimento das atividades paralisadas durante o processo de maturação da semente, estágio em que a mesma perde grande quantidade de água.

Segundo Medeiros e Eira (2006), a tolerância à redução de umidade é uma das mais importantes propriedades das sementes. É um fenômeno necessário ao ciclo de vida da planta, como uma estratégia de adaptação que permite a sobrevivência da semente durante o armazenamento, sob condições estressantes do ambiente e assegura a disseminação da espécie. Várias estratégias para evitar os efeitos deletérios da secagem já foram identificadas. No entanto, pouco se sabe

sobre a razão pela qual sementes de algumas espécies sobrevivem à remoção quase total do seu conteúdo de água, enquanto que outras perdem a viabilidade ao serem desidratadas (MEDEIROS; EIRA, 2006; REGO, 2012).

Entre os primeiros estudos referentes à condição fisiológica da semente, tem-se o trabalho realizado por Roberts (1973), que classificou as sementes em ortodoxas ou recalcitrantes, de acordo com o comportamento no armazenamento. Mais tarde, Ellis et al. (1990a) e Ellis et al. (1990b) introduziram o conceito de intermediárias. Como este aspecto fisiológico está relacionado com o grau de tolerância das sementes à secagem, deve-se classificá-las como tolerantes à dessecação ou ortodoxas; não tolerantes à dessecação ou recalcitrantes e ainda as intermediárias, cujo comportamento durante a secagem e armazenamento apresenta ora características semelhantes às ortodoxas ora às recalcitrantes.

As sementes ortodoxas são aquelas que podem ser desidratadas a valores baixos de umidades, entre 5% e 7% (base úmida), sem perderem a viabilidade de recomposição fisiológica. A longevidade das sementes deste grupo é, dependendo das espécies, aumentada progressivamente com a redução de seu teor de água e o armazenamento em baixas temperaturas (ROBERTS, 1973). São também conhecidas como tolerantes à secagem, por tolerarem os efeitos imediatos da perda severa de água.

De acordo com Black et al. (2002), esta propriedade de tolerância das sementes, pode ser definida como a capacidade das sementes de recuperar as funções biológicas após a secagem até a condição em que se tenha a presença de uma quantidade muito pequena de água na fase líquida nas mesmas.

As sementes recalcitrantes, por outro lado, são aquelas que, de forma oposta às sementes ortodoxas, são muito sensíveis à secagem (ROBERTS, 1973). Sementes recalcitrantes possuem elevado teor de água ao se desprenderem da planta-mãe, no final da maturação, e morrem quando seu valor de umidade é reduzido a valores abaixo do seu nível crítico de umidade (entre 15 a 50% b.u, dependendo da espécie). Além deste fato, sementes recalcitrantes não suportam o armazenamento sob temperaturas negativas, podendo até perder a viabilidade, conforme a espécie, em temperaturas de 10 a 15 °C. Desta forma, a longevidade de

sementes recalcitrantes, mesmo em condições extremamente favoráveis, ainda é bastante curta.

2.3 PROCESSO PRODUTIVO DAS SEMENTES DE *Mabea fistulífera* Mart.

A produção de sementes de alta qualidade é muito importante para qualquer programa de produção de mudas voltado para restauração de áreas degradadas (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007), pois é um fator limitante para a produção de mudas (SILVA; HIGA, 2006). A qualidade das sementes, assim como o tamanho do lote, é resultado dos processos de colheita, secagem, extração, beneficiamento e armazenamento (FLORES et al., 2011). Estas etapas devem ser realizadas de forma cuidadosa, conforme as particularidades de cada espécie, a fim de conferir características de acordo com padrões pré-estabelecidos.

2.3.1 Coleta dos frutos

Assim sendo, o processo de produção de sementes tem início na identificação dos cultivares, visto que, na floresta nativa existem variações fenotípicas de uma mesma espécie.

Para se obter as melhores sementes, deve-se selecionar as melhores árvores e a estas cabe o nome de árvores matrizes. Estas em comparação com árvores da mesma espécie apresentam características superiores. Dentre as características desejadas, pode-se citar: boa condição fitossanitária, vigor e produção de sementes (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007).

Por motivos genéticos, é importante colher sementes de várias árvores. O número de matrizes depende do grupo ecológico que a espécie pertence. Para as espécies pioneiras, de acordo com Nogueira e Medeiros (2007), recomenda-se para uso em projetos de recuperação ambiental colher sementes em 3 ou 4 clareiras (populações), escolhendo ao acaso 3 ou 4 matrizes por população, distanciadas, no mínimo, 100m entre si para evitar parentesco. A colheita deve ocorrer preferencialmente em populações que não tenham sofrido ações antrópicas, quando

não for possível, deve ser realizada em populações pequenas ou fragmentadas, evitando-se colher sementes de árvores isoladas (SENA; GARIGLIO, 2008).

A época da colheita varia em função da espécie, do ano e de árvore para árvore. Por isto, há a necessidade de acompanhar o estágio de maturação para estabelecer o momento da colheita das sementes. A mudança da cor do fruto, para muitas espécies, é um critério simples e confiável para avaliar a maturação, que geralmente muda do verde para várias tonalidades de amarelo e marrom. Para os frutos deiscentes, com sementes pequenas, a definição do momento da coleta é muito importante, pois é necessário colher antes que ocorra a abertura dos mesmos e conseqüentemente a dispersão das sementes (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007).

Os métodos de coleta variam desde os mais simples, como coleta de frutos ou sementes no solo e retirada manual das árvores, aos mais avançados, tais como máquinas para sacudir as árvores e guindastes acoplados a um cesto.

Uma vez coletados os frutos é necessário extrair as sementes. Segundo Nogueira e Medeiros (2007), o método a ser usado depende basicamente do tipo de fruto, mas se deve escolher aquele no qual se obtenham sementes de alta qualidade, preservando-se as suas integridades física, sanitária e fisiológica.

A escolha do método de extração das sementes, bem como a sequência de operações, é função das características do fruto, a maneira com que a semente se encontra associada às demais partes do fruto, do volume dos frutos e da tolerância da semente à secagem (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Desta maneira, faz-se necessário avaliar diferentes métodos de extração, a fim de escolher o mais adequado a uma dada semente.

Para extrair as sementes dos frutos secos deiscentes é necessário submeter os mesmos à secagem, que pode ser realizada à sombra ou ao sol, dependendo do conhecimento que se tem sobre a espécie.

2.3.2 Secagem dos frutos deiscentes para a extração das sementes

A secagem dos frutos pode ser efetuada por métodos naturais ou artificiais (FLORES et al., 2011). A secagem natural é muito utilizada e caracteriza-

se pela ação do sol como fonte de energia térmica. Neste método, os frutos são colocados em terreiros cimentados, lonas, bandejas ou caixas, espalhados em monocamadas ou em camadas não muito espessas, e permanecendo expostos durante o dia (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007). No período noturno, são recolhidos ou cobertos, para manter por mais tempo a temperatura e para proteger contra o orvalho e chuvas que eventualmente possam ocorrer.

Durante o período de secagem, os frutos devem ser constantemente revolvidos para proporcionar secagem homogênea e dar suficiente aeração a todo o lote. O processo deve ser supervisionado, para evitar trocas bruscas de temperatura, excesso de umidade, perda de material e outros fatores que possam influenciar na qualidade das sementes. Este método é mais barato em relação aos artificiais, porém, mais lento e está sujeito às condições atmosféricas. Alta umidade relativa do ar e falta de ventilação interferem negativamente no processo de secagem, pois a retirada da água dos frutos torna-se mais lenta (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007).

A secagem artificial não depende das condições atmosféricas, porém necessita de equipamento para a regulagem da temperatura, umidade relativa do ar e de circulação do ar, o que a torna mais onerosa. O equipamento utilizado para este tipo de secagem é, geralmente, a estufa. A temperatura varia de 30 °C a 40 °C, dependendo da espécie e do valor da umidade inicial da semente.

De acordo com Mujumdar (1995), a secagem comumente descreve o processo de remoção térmica de substâncias voláteis. Quando um sólido úmido é submetido à secagem, dois processos ocorrem simultaneamente:

- transferência de energia (principalmente na forma de calor) a partir do ambiente circundante para evaporar a superfície úmida, e
- transferência de umidade (transferência de massa) interna para a superfície do sólido e sua evaporação subsequente devido ao primeiro processo.

No primeiro processo, a remoção do vapor d'água a partir da superfície do fruto, depende das condições externas de temperatura, umidade e velocidade do ar, da área da superfície exposta e pressão. No segundo processo, o movimento

interno de umidade no interior do sólido, é função da natureza física do sólido, da temperatura e de seu valor de umidade (MUJUNDAR, 1995).

Quando o material sólido em questão são os frutos deiscentes, a secagem tem a finalidade de reduzir a quantidade de água no epicarpo, a fim de provocar o efeito de contração da casca na região denominada tabique (BRASIL, 2009). Este por sua vez, se rompe expondo as cocas dos frutos e consequentemente as sementes, como pode ser observado na Figura 2.4.

Figura 2-4 - Cápsula dos frutos após a ruptura do tabique.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Segundo Mujumdar (1995) esta operação complexa, que envolve processos simultâneos de transferência de calor e massa, provoca transformações, físicas e/ou químicas, que podem causar mudanças na qualidade das partículas. Em alguns casos, desejável ou indesejável, as reações bioquímicas ou químicas podem ocorrer, levando a alterações na cor e textura ou em outras propriedades das partículas. É de consenso geral que uma secagem imprópria é a maior causa de deterioração do grão nesta série de etapas (BROKER et al., 1992). Desta maneira, se faz necessário avaliar diferentes métodos de secagem para o caso de sementes silvestres, ainda pouco estudadas.

Isto porque, o processo de secagem de sementes silvestres depende de muitos fatores, tais como, da espécie, da temperatura usada durante a secagem, do conteúdo de umidade inicial e das condições desejadas para o armazenamento (CORRÊA, 2012). Diante deste desafio, a busca de informações através de dados experimentais torna-se importante para o conhecimento do material, assim como do método a ser utilizado para cada espécie nativa.

Depois de realizada a secagem para a extração das sementes dos frutos capsulares é preciso separar materiais inertes com o objetivo de se obter lotes de sementes 100% puras, para que posteriormente possam ser submetidas ao processo de beneficiamento.

2.3.3 Separação de materiais inertes e preparo dos lotes de sementes

A técnica de separação dos materiais inertes tem por finalidade a retirada de materiais indesejáveis, como sementes ocas, imaturas e quebradas, pedaços de frutos, folhas, entre outros. Assim, o lote de sementes deverá apresentar uma maior pureza possível e, conseqüentemente, melhor qualidade (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007).

De maneira geral, o preparo dos lotes de sementes inclui as operações de pré-limpeza, limpeza, classificação e melhoramento das qualidades físicas das sementes. Estas etapas são fundamentadas nas diferenças de características físicas existentes entre as sementes e as impurezas. As máquinas ou equipamentos de beneficiamento são construídos para operarem com base em uma ou mais destas diferenças. Estas podem separar as impurezas em função do seu tamanho, forma, peso, textura do tegumento, cor, condutividade elétrica, entre outras (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Contudo, para espécies de sementes nativas, a separação dos inertes geralmente é manual, devido às dificuldades em padronizar técnicas adequadas para cada espécie, pois há uma complexidade quanto aos aspectos morfológicos das sementes florestais (SILVA, et al., 1993; FLORES et al., 2011). Esta separação é usualmente realizada utilizando-se peneiras de diferentes tamanhos e formas de malhas, o que permite além da retirada das impurezas a classificação das sementes por tamanho (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007).

Desta maneira, as etapas seguintes da produção de sementes como tratamento, revestimento, embalagem e armazenamento também serão favorecidas. Porém, é fundamental para qualquer tipo de tratamento, como o revestimento, por

exemplo, que se tenham informações sobre as características físicas e fisiológicas das sementes.

2.4 PROPRIEDADES DAS SEMENTES

As propriedades das partículas são fatores determinantes do regime de operação de qualquer tratamento realizado sobre as sementes, seja o processo de recobrimento ou secagem convectiva. Isto porque, estas operações envolvem as transferências simultâneas de calor e massa entre as fases sólida e fluída, que podem causar transformações fisiológicas, químicas e físicas às sementes. Para avaliar estas transformações, faz-se necessário conhecer as propriedades físicas e fisiológicas das sementes antes e depois de cada processo, a fim de verificar os efeitos tanto imediatos como latentes destes tratamentos.

2.4.1 Propriedades físicas: dimensões das partículas e esfericidade

O tamanho da semente é uma característica física determinada pelo genótipo e influenciada pelas condições ambientais que ocorrem durante a sua formação (WOOD et al. 1977). Desta maneira, sementes oriundas de diferentes árvores matrizes, podem apresentar propriedades, tamanho e forma, diferentes, neste caso, a caracterização destas é de fundamental importância na análise de problemas referentes à secagem de sistemas particulados.

A caracterização do tamanho e da forma da semente pode ser realizada através de *softwares* de análise de imagens. Esta técnica fornece o diâmetro médio de Feret e o raio médio de Martin, por exemplo (ARNOSTI Júnior, 1997; PRADO, 2004). Podem também ser determinadas através deste método outras dimensões da partícula, tais como comprimento e largura. Estas medidas são importantes para o caso de sementes cuja forma difere de uma esfera, ou ainda, para analisar a uniformidade de coberturas das sementes nos processos de revestimento.

Entre os trabalhos realizados no Centro de Secagem, nos quais foram necessárias as determinações das dimensões das partículas, pode-se citar Arnosti Júnior (1997) que utilizou o analisador de imagens GALAI para caracterizar sementes de gramínea (*Brachiaria brizantha*). Prado e Sartori (2002) e Arrieche et al. (2009) utilizaram a análise de imagens através do *software Image Pro-Plus*[®] para a determinação das dimensões das sementes de papaya com e sem mucilagem e sementes de embaúba, respectivamente, obtendo baixos desvios para os inúmeros conjuntos de medidas realizados em triplicatas.

Além dos *softwares* de análise de imagens, existem outros métodos para se determinar o tamanho das partículas, a exemplo, Donida (2004) e Pozitano e Rocha (2011) que utilizaram a análise granulométrica para determinar o diâmetro médio das partículas, segundo a definição de Sauter.

$$\overline{d_p} \equiv \frac{1}{\sum \frac{\Delta x}{D_n}} \quad (1)$$

A forma das partículas é expressa através dos denominados fatores de forma. A esfericidade tem sido o fator de forma mais usado para expressar a forma de partículas sólidas (PEÇANHA; MASSARANI, 1986; McCABE et al., 1993).

Arnosti Júnior (1997), assim como fez para determinar o tamanho da partícula, utilizou a tomada de imagens, através do *software GALAI*[®], para determinar a esfericidade de sementes de *Brachiaria brizantha* com diferentes valores de umidade. Positano e Rocha (2011) fizeram uso da análise de imagens para determinar a esfericidade de *Senna macranthera* através do *software Image Analysis Software*[®]. A expressão utilizada por ambos os *softwares* é apresentada na Equação 2.

$$\phi \equiv \frac{\text{Área projetada}}{\text{Perímetro}^2} \times 4\pi \quad (2)$$

Para realizar as medidas de esfericidade, Donida (2004) fez uso do método descrito por Peçanha e Massarani (1986). Neste método a esfericidade é

obtida pela razão do maior diâmetro inscrito e o menor diâmetro circunscrito na área projetada da partícula em um plano.

$$\phi \equiv \frac{d_{ic}}{d_{cc}} \quad (3)$$

Prado e Sartori (2002) utilizaram as medidas obtidas para diâmetro médio de partícula e o diâmetro linear máximo, obtidas através da análise de imagens utilizando o software *Image Pro-Plus*®, para a determinação da esfericidade de sementes de mamão com e sem revestimento natural de mucilagem.

2.4.2 Propriedades físicas: massa específica

A determinação da massa específica das sementes pode ser realizada a partir de diferentes definições, conforme apresentado a seguir (PRADO, 2004).

Massa específica real: é aquela dada pela razão entre a massa do material e o seu volume sólido, de acordo com a equação,

$$\rho_s = \frac{m}{V_s} \quad (4)$$

Massa específica aparente ou da partícula: é aquela obtida a partir da relação entre a massa e o volume de partículas incluindo os seus poros, dada pela equação,

$$\rho_p = \frac{m}{V_s} \quad (5)$$

Massa específica do leito ou densidade de empacotamento: é aquela obtida pela razão entre a massa e o volume do leito empacotado, dada por,

$$\rho_b = \frac{m}{V_b} \quad (6)$$

Para a determinação da massa específica real de grãos e sementes, os pesquisadores têm usado os métodos de deslocamento de gás (TANG; SOKHANSANJ, 1993; SUTHAR; DAS, 1996; GUPTA; DAS, 1997) ou os métodos de deslocamento de líquido (DUTTA et al., 1988; SINGH; GOSWAMI, 1996; CHANDRASEKAR; VISWANATHAN, 1999; ARNOSTI Júnior et al., 2000).

Os métodos de deslocamento de líquido são mais simples e envolvem a imersão de uma quantidade de grãos ou sementes em líquido (geralmente água, hexano ou tolueno), verificando-se a quantidade de líquido deslocado (PRADO, 2004).

Na determinação da massa específica aparente, Donida (2004) e Costa (2010) utilizaram porosimetria de mercúrio no equipamento Autopore II, da marca Micromeritics®, USA. Para a utilização desta técnica, os materiais a serem analisados não podem se deformar diante da pressão de operação do equipamento, caso contrário, os resultados obtidos não serão confiáveis.

Para a determinação da densidade de empacotamento, o método empregado pela maioria dos pesquisadores (SOKHANSANJ; LANG 1996; SUTHAR; DAS, 1996; PRADO, 2004) é aquele em que um recipiente padrão é gradualmente preenchido com grãos a partir de uma determinada altura, nivelando-se a superfície e pesando-se o seu conteúdo.

Além das propriedades físicas, nos estudos de recobrimento de partículas com embriões, deve-se também avaliar a regeneração fisiológica das sementes, visto que, o recobrimento visa ao beneficiamento e melhoria das sementes para sua utilização na regeneração natural das Matas Ciliares, por exemplo.

2.4.3 Propriedades fisiológicas: testes de avaliação da germinação

O beneficiamento de sementes visa preservar a qualidade das mesmas durante o armazenamento, a fim de garantir uma boa emergência das plântulas no período de plantio. Entretanto, variáveis operacionais como temperatura e velocidade do ar de secagem, vazão de sementes no leito, umidade relativa do ar de secagem, temperatura e umidade do sólido e o próprio processo de recobrimento podem alterar a qualidade das sementes, sendo necessário, avaliar os efeitos que os mesmos causam (BARROZO, 1995; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; FERREIRA, 2003) sobre a qualidade fisiológica das sementes através de testes padronizados de germinação.

Os testes de avaliação da germinação de sementes silvestres geralmente são realizados antes e após qualquer processo de tratamento físico ou químico. Desta maneira, é possível avaliar os efeitos imediatos e latentes dos processos sobre a qualidade fisiológica das sementes (ARRIECHE et al., 2010).

Esta avaliação segue regras oficializadas pelo Ministério da Agricultura, que são padronizadas e de aceitação universal, com base na *International Seed Testing Association* – ISTA (2007). No entanto, poucas espécies florestais nativas do Brasil estão incluídas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), o que dificulta a realização dos testes de germinação para o caso destas variedades de sementes (CORRÊA, 2012; ARRIECHE et al, 2010).

Como se tratam de espécies nativas pouco estudadas (CORRÊA, 2012) é importante conhecer a velocidade de crescimento da nova plântula, o índice de germinação das sementes *in natura*, em condições laboratoriais ou de campo, ou seja, através de métodos indiretos ou diretos, respectivamente. Os diretos correspondem aos métodos realizados com semeadura no solo em condições reais e às vezes adversas e os métodos indiretos procuram avaliar atributos que indiretamente se relacionam com as qualidades fisiológicas das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000) por meio de testes conduzidos em condições pré-estabelecidas em equipamentos de laboratórios.

As características fisiológicas, por outro lado, podem estar associadas à composição química das sementes, uma vez que, se armazenadas em condições

inadequadas (pressão e umidade) ou por um longo período podem favorecer reações químicas indesejáveis, principalmente em sementes oleaginosas, interferindo no poder germinativo. Sendo assim, é necessário conhecer as propriedades das sementes a partir da caracterização química das mesmas.

2.4.4 Propriedades químicas

Muitas espécies de plantas superiores são estudadas na tentativa de estabelecer padrões visando à regeneração de áreas degradadas. Deste modo, o conhecimento da composição química é fundamental para a produção de mudas destas espécies.

De acordo com o constituinte predominante as sementes podem ser classificadas em amiláceas, oleaginosas e protéicas (NERY et al., 2007; MARCOS Filho, 2005). Conhecer os mecanismos de acúmulo de reserva é muito importante para a obtenção de plantas de maior vigor (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). A germinação e o potencial de armazenamento também são influenciados pelo conteúdo dos constituintes presentes nas mesmas (NAKAGAWA et al., 1990; NERY et al., 2007). Dados da literatura comprovam, por exemplo, que existe uma relação entre o desenvolvimento da “rancidez” do óleo fixo e a perda do poder de germinação (KALOYERAS et al., 1958).

Por outro lado, a avaliação das propriedades nutritivas das sementes é de interesse econômico para as indústrias de grãos e criação de animais para consumo, já que são fontes alternativas de alimentação (VALLILO et al. 1998). Desta maneira, informações a respeito das características químicas e do valor nutricional das sementes são informações básicas para a avaliação do consumo e formulação de novos produtos. No entanto, não foram encontrados dados, na literatura consultada, sobre a *M. fistulífera* em relação à composição química dos frutos (cascas e sementes), ressaltando a necessidade da sua caracterização química.

2.5 ESCARIFICAÇÃO DAS SEMENTES

A escarificação tem por objetivo causar o rompimento ou abrasão da película que envolve a semente, o tegumento, de forma a aumentar a permeabilidade de água e conseqüentemente estimular a germinação, ou seja, realizar a quebra de dormência, por exemplo. Esta ruptura tegumentar pode ser obtida por meio de métodos mecânicos, térmicos ou químicos. A escolha do método a ser utilizado depende das características da espécie silvestre com a qual se está operando (SEIFFERT, 1982).

A técnica de escarificação mecânica, por sua vez, promove a escarificação das sementes através do atrito com lixas (ALMEIDA, 1979).

O processo de escarificação térmica consiste em mergulhar as sementes em água aquecida, de modo que, a água em ebulição expande o tegumento favorecendo a permeabilidade das sementes (SOUZA et al., 2007).

Já na escarificação química as sementes são mergulhadas em ácido sulfúrico concentrado, por exemplo, por um determinado tempo (ALMEIDA, 1979). O período de permanência das sementes no ácido depende da espécie em questão e do efeito desejado. Longos períodos de exposição podem, em muitas situações, causar redução na germinação das sementes (ARAÚJO et al, 2000). Quando comparada a outros métodos de escarificação (mecânica e água aquecida), em escala laboratorial, a escarificação química permite que a técnica seja realizada sobre uma maior quantidade de sementes (ARAÚJO et al, 2000). Além disto, promove o desgaste do tegumento, favorecendo a emergência da plântula. Este desgaste tegumentar promove o aumento da rugosidade na superfície da semente, que pode ser uma vantagem apresentada pela técnica dependendo do tipo de processo que as sementes serão submetidas posteriormente. Quando o processo em questão é o recobrimento, o aumento na rugosidade poderá aumentar a adesão entre o material de cobertura e a superfície do substrato, neste caso as sementes escarificadas.

2.6 PROCESSO DE RECOBRIMENTO

O termo recobrimento de partículas abrange uma grande variedade de operações praticadas por um vasto número de indústrias de processamento, como por exemplo, as indústrias de beneficiamento de minério, fármacos, alimentos, cosméticos e produtos agrícolas. Estes processos incluem a produção de comprimidos, briquetes de combustíveis sólidos, minérios, produtos químicos industriais, fertilizantes, moldagem de polímeros, cerâmicas e pós metálicos prensados (OLIVEIRA; FREIRE, 1992).

O recobrimento de partículas é uma operação unitária que visa à modificação das características superficiais de sólidos (OLIVEIRA; FREIRE, 1992; TARANTO, 2006; ADEODATO, 2003). Este processo consiste na aplicação de uma matriz de recobrimento, que pode ser uma solução, suspensão ou gel, que quando atomizada ou lançada manualmente ao processo, adere na superfície da partícula à medida que entra em contato com esta, recobrando-a totalmente em um leito de partículas móveis.

Conforme descrito em Oliveira e Freire (1992), os principais tipos de recobrimento podem ser classificados em três grandes grupos, como segue:

a) recobrimento, aglomeração ou granulação com suspensão à base de açúcar, é um processo que consiste na deposição, geralmente por atomização, de um líquido ligante (suspensão de açúcar) sobre a superfície do sólido. Os produtos obtidos por esta técnica apresentam características de baixa rigidez e densidade aparente, ampla distribuição de tamanhos, estrutura porosa, boa dispersão e solubilidade;

b) recobrimento do tipo filme, surgiu como técnica alternativa para dar solução a muitos problemas enfrentados no recobrimento com suspensões aquosas à base de açúcar. Os principais componentes utilizados na formulação da suspensão polimérica são polímeros (derivados de celulose e acrílicos), plastificantes, pigmentos (corante) e solventes. A maioria dos polímeros é dissolvida em água ou em solventes orgânicos. Caso o polímero não seja solúvel em água, como por exemplo, metil celulose e alguns acrílicos, podem ser aplicados na forma de dispersões aquosas; e,

c) recobrimento por material fundido, é uma técnica onde geralmente não se utiliza solvente e segue as mesmas etapas do recobrimento por filme, exceto a evaporação do solvente que é substituída pela solidificação por resfriamento do material de recobrimento na superfície da partícula após aplicação do mesmo no estado liquefeito.

O motivo de se recobrir partículas está relacionado com o objetivo específico desejado para cada produto. As características e os objetivos pretendidos determinam qual é o melhor processo de recobrimento para cada situação específica (OLIVEIRA; FREIRE, 1992). Dentre as razões existentes encontram-se nos trabalhos de Oliveira e Freire (1992); Kleinbach e Riede (1995) e de Donida (2004) os seguintes aspectos:

a) proteção, visto que o recobrimento oferece uma barreira para o produto em relação à ação de agentes ambientais, principalmente umidade, luz, calor e agentes biológicos;

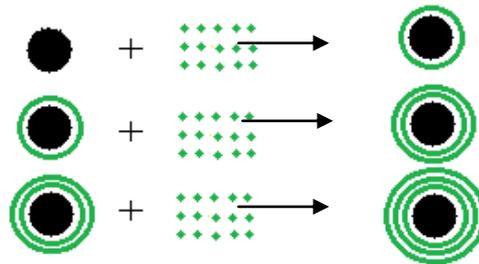
b) facilitar a manipulação de produtos, em especial na indústria farmacêutica onde o recobrimento minimiza a possibilidade de contaminação do produto e aumenta a resistência mecânica;

c) aparência, uma vez que, a utilização de recobrimentos coloridos favorece a estética e a aceitação do produto, facilitando também a identificação de diferentes materiais quando em área comum;

d) “palatabilidade”, visando mascarar odores e sabores desagradáveis;
e,

e) dissolução, pois determinados revestimentos proporcionam a liberação controlada ou retardada de substâncias ativas em taxa desejada.

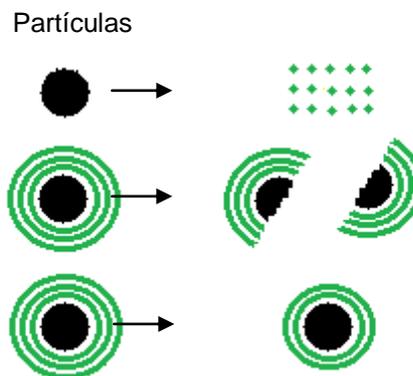
Costa (2010) cita que a qualidade do recobrimento de partículas é função do tipo de aplicação a que se destina, sendo em alguns casos admitidas pequenas imperfeições e em outros o recobrimento uniforme é de fundamental importância, como na liberação controlada de substâncias ativas em produtos farmacêuticos.



FONTE: OLIVEIRA, 1992.

Paralelamente aos mecanismos de crescimento atuam no recobrimento de partículas os mecanismos de redução de tamanho, como mostra a Figura 2.6. Esta redução, segundo Oliveira e Freire (1992), pode ocorrer por quebra da partícula, por demolição ou pela abrasão que ocasiona desgastes das partículas, conseqüentemente a formação de pó.

Figura 2-6 - Mecanismos de redução de tamanho.



FONTE: OLIVEIRA; FREIRE, 1992.

O processo de recobrimento requer que partículas discretas liguem-se umas às outras, mantendo-se unidas, o que é conseguido pela existência de forças de adesão que atuam nos pontos de contato ou de ligação. A adesão entre o revestimento e o substrato sólido é determinante no processo de recobrimento (DONIDA, 2004).

Segundo Felicetti (2009), a adesão pode ser compreendida como a atração entre dois corpos sólidos, com a superfície de contato comuns, e produzida pela existência de forças atrativas intermoleculares de ação a curta distância. A adesão entre superfície é governada pela deformação de dois corpos em contato e pelas forças de superfície atuando entre estes corpos. Estes dois fenômenos estão intrinsecamente acoplados e dependerão da deformação provocada pelas forças que estão agindo. Ao mesmo tempo as forças de superfície dependerão da geometria dos corpos. Esta interdependência faz com que a teoria de adesão seja um problema complexo e ainda em etapa de desenvolvimento (TYKHONIUK et al., 2007).

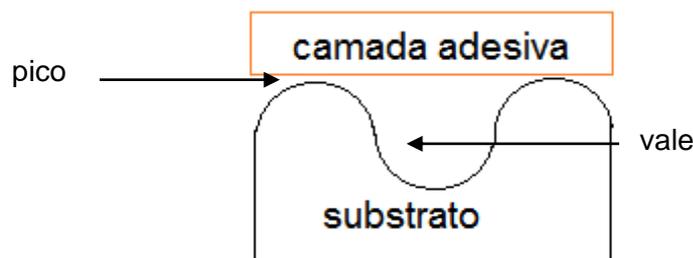
Normalmente, a força de adesão entre corpos contínuos é devida às forças de Van der Waals, eletrostática e capilar (FELICETTI et al., 2009). O predomínio de uma ou mais destas forças depende das condições específicas do processo estudado e das propriedades físico-químicas dos materiais em contato. Logo, todas estas forças são influenciadas pela dimensão da partícula, pela rugosidade na superfície da partícula, pela umidade relativa do ar e pela pressão de aplicação do contato (AHRENS et al., 2005; FELICETTI et al., 2009).

No caso de materiais com valores de umidades não elevados, como por exemplo, a adesão entre gel alginato de sódio e a superfície das sementes, a força mais importante é a força de Van der Waals (FELICETTI et al., 2009). Esta força é causada pelo movimento aleatório dos elétrons, em qualquer material, produz áreas transitórias de cargas concentradas chamadas dipolos (RUMPF, 1977; FELICETTI et al., 2009). A qualquer instante estes dipolos induzem dipolos complementares no material vizinho, produzindo forças atrativas.

Por outro lado, a presença de líquidos na superfície, mesmo em mínimas quantidades, é outro fator de grande importância na adesão, visto que, a maioria dos materiais tem moléculas adsorvidas em sua superfície devido à umidade do ar. Nestas condições, uma força de adesão ocorre devido à afinidade do líquido situado no espaço capilar no ponto de contato, ou seja, por forças de capilaridade (FELICETTI et al., 2009). A extensão desta força depende da geometria da abertura entre corpos contínuos e das propriedades dos materiais em contato, como a rugosidade da superfície.

Sob o ponto de vista microscópico, a maioria dos materiais possui superfície irregular, com picos, chamados rugosidade. Quando aproximados, o primeiro contato entre as partículas é restrito, segundo Gay (2002), aos picos do material rugoso. A Figura 2.7 apresenta o esquema descrito por Gay (2002). Já na região denominada vale, prevalece o efeito de capilaridade.

Figura 2-7 - Esquema de adesão em superfícies rugosas.



FONTE: GAY, 2002.

No caso da presença de líquido em quantidades maiores do que aquela devida somente à umidade do ar, como no caso das sementes reumidificadas em solução de cloreto de cálcio para posterior recobrimento, o mesmo tende a distribuir-se no espaço entre as partículas (FELICETTI et al., 2009). Existem três estados definidos de distribuição do líquido: estado pendular, funicular e capilar. No estado pendular, a quantidade de líquido sendo menor, o líquido tende a se concentrar nos pontos de contato entre as partículas, formando as chamadas pontes líquidas. As forças de ligação nas pontes líquidas formadas entre os sólidos são a soma das forças devido à sucção capilar e a tensão superficial do líquido. Ao aumentar a quantidade de líquidos obtém-se primeiro o estado funicular, onde coexistem as pontes líquidas com poros preenchidos com líquidos. Em seguida, ocorre o estado capilar em que todos os poros estão completamente preenchidos (NEWITT; CONWAY-JONES, 1958; FELICETTI et al., 2009).

De maneira geral, a compreensão da atuação da força de superfície envolvida na adesão em um sistema particulado possibilita o conhecimento dos mecanismos de crescimento das partículas.

2.6.2 Crescimento das partículas e eficiência do recobrimento

O crescimento das camadas de recobrimento das partículas pode ser definido como a razão entre a massa do filme formado durante o recobrimento e a massa original das partículas (ADEODATO, 2003), conforme a Equação 7.

$$\delta_{exp} \equiv \frac{M_{rec} - M_0}{M_0} \quad (7)$$

A partir da Equação 7 é possível avaliar a eficiência de recobrimento. Segundo Kucharski e Kmiéc (1989) a eficiência do processo de recobrimento é definida como a razão entre a massa de sólidos aderida às partículas e a massa de sólidos da suspensão adicionada ao leito.

Adeodato (2003) em seu trabalho sobre o recobrimento em leito de jorro avaliou a eficiência do processo a partir da razão entre o crescimento de massa sobre a superfície da partícula, obtido experimentalmente e calculado através da Equação 7, e o crescimento teórico.

Segundo Donida (2004), denomina-se crescimento teórico o máximo de crescimento obtido considerando-se que toda a massa de sólido de recobrimento fosse aderida a superfície da partícula. Para realizar a determinação da eficiência Adeodato (2003) utilizou a metodologia proposta por Oliveira (1992). Oliveira (1992), por sua vez, realizou o cálculo da eficiência através do balanço de massa no leito de jorro, chegando à Equação 8.

$$\eta \equiv \frac{\delta_{exp}}{\delta_{teórico}} \quad (8)$$

Para este desenvolvimento matemático foram consideradas as seguintes hipóteses (OLIVEIRA, 1992):

- a) as quebras ou abrasão das partículas são desprezíveis;

- b) as perdas permanecem constantes durante a operação;
- c) operação em batelada; e,
- d) produto final uniforme.

Os termos utilizados na equação são dependentes do tipo de equipamento e do agente de recobrimento utilizado, ou seja, se este se encontra na fase líquida ou na fase sólida, como é o caso do alginato de sódio, agente de cobertura utilizado no recobrimento de sementes.

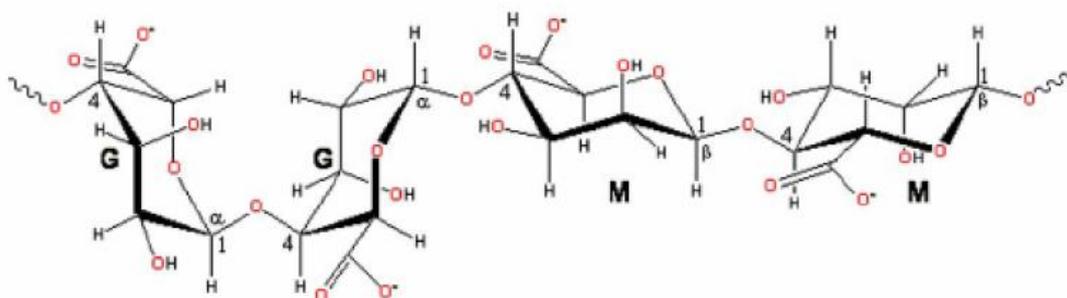
2.6.3 Gel alginato de sódio

O alginato de sódio é um sal orgânico extraído de algas marrons, cuja fórmula química é $(C_6H_7O_6Na)_x$, muito utilizado nas indústrias têxteis e alimentícias para aumentar a “viscosidade” e também agir com a função de emulsificante (PINTO, 2013).

Em termos químico é um polissacarídeo aniônico com uma estrutura linear, conforme apresentada na Figura 2.8, compreendida por ligações glicosídicas (1→4) de unidades de β-D-ácido manurônico e α-L-gulurônico (ZHANG et al., 2006; VALENGA, 2007), as quais podem variar em composição e sequência, arranjadas em blocos ao longo da cadeia. A composição e tamanho desses blocos, juntamente com a massa molecular determinam as propriedades físico-químicas do polissacarídeo. A variabilidade molecular depende da alga em que o alginato foi extraído.

A sequência da composição dos monossacarídeos e a massa molecular são importantes fatores para determinar as propriedades físicas de um gel formado pelo alginato (LIEW et al., 2006; VALENGA, 2007).

Figura 2-8 - Estrutura do alginato de sódio.



FONTE: SOUZA JR, 2006.

Algumas das funções biológicas desempenhadas pelo alginato na alga são as características de manter a integridade celular e prover força mecânica à célula (McLACHLAN,1985; KENNEDY; GRITHS; ATKINS, 1984). Em presença de íons divalentes, o alginato de sódio pode, através de um processo de ligação cruzada, trocar o íon sódio de sua estrutura por um íon divalente, geleificando o meio em que se encontra.

Devido a esta propriedade de geleificação, o alginato pode ser usado como matriz para o recobrimento de partículas, assim como de sementes. Na maioria das vezes, esta reticulação é feita ao se trocar o íon Na^+ dos ácidos gulurônico com cátions divalentes formando uma estrutura do tipo “caixa de ovo” (GOMBOTZ; WEE, 1998). Os cátions divalentes se ligam aos blocos de ácidos α -L-gulurônico de uma maneira cooperativa que pode ter mais de 20 monômeros associados. Cada cadeia de alginato pode dimerizar para formar junções com muitas outras cadeias resultando em cadeias de gel (GOMBOTZ; WEE 1998; VALENGA, 2007). Os géis de alginato são estáveis entre uma faixa de temperatura de 0 a 100°C apesar do seu módulo de rigidez diminuir com o aumento da temperatura (GACESA, 1988; VALENGA, 2007).

Atualmente, indústrias farmacêuticas e biomédicas têm apresentado muito interesse no uso do alginato. Uma de suas propriedades bem exploradas é a sua capacidade de agir como espessante, geleificante e agente coloidal. Como apresenta, também, propriedades de imunogenicidade, de biocompatibilidade, bioadesão e de baixa toxicidade, pode ser muito utilizado em indústrias de biotecnologia (GOMBOTZ; WEE, 1998). Diante destas propriedades, o alginato de

sódio tem se mostrado promissor no recobrimento de sementes de gramíneas (PINTO et al., 2012).

2.7 RECOBRIMENTO DE SEMENTES

Muitos estudos foram realizados no que diz respeito ao recobrimento de sementes. Segundo Kaufman (1991) o recobrimento de sementes foi desenvolvido para ser utilizado em sementes de cereais, visando aumentar o tamanho e assim facilitar o plantio das sementes, fato que contribui para os avanços na agricultura moderna.

De acordo com Prado et al. (2006) o recobrimento de sementes tem como objetivo proporcionar maior preservação que a cobertura natural, aumentar a longevidade, devido à inibição ao ataque das pragas, assim como, aumentar o tempo de estocagem das sementes recobertas em relação à semente “*in natura*”, melhorar a emergência da planta na época do plantio e facilitar a absorção de nutrientes, melhorando a capacidade de germinação.

Em seus estudos no Centro de Secagem, Prado et al. (2006) verificou a manutenção da qualidade fisiológica de sementes revestidas com misturas à base de gel ágar e utilizou a matriz de revestimento como veículo para suprir as deficiências de vitamina C das sementes de milho, tornando-as nutricionalmente mais interessantes.

Ferreira (2003) avaliou a secagem convectiva em leito fixo do sistema semente-gel ágar, realizando a análise das propriedades das partículas com e sem cobertura, verificando assim, a capacidade de recomposição fisiológica das sementes de milho.

Ainda com sementes de milho, Cordeiro (2006) analisou diferentes metodologias para a aplicação do revestimento a base de gel ágar, tais como, imersão em placas perfuradas, gotejamento e revestimento por meio de drageadeira.

Já Pinto (2012), além de utilizar diferentes técnicas para a aplicação do recobrimento, fez uso do gel biodegradável de alginato de sódio para revestir sementes de milho reumidificadas em atmosfera saturada de cloreto de cálcio, via drageadeira, obtendo 76% de sementes recobertas. Esta técnica de recobrimento por meio de drageadora permite o recobrimento de sementes em maior escala quando comparado às técnicas de imersão em placas perfuradas e via gotejamento.

Além disto, quando se comparam o recobrimento realizado por Cordeiro (2006) com gel ágar em drageadora e o recobrimento através da reação entre o alginato de sódio e o cloreto de cálcio realizado por Pinto et al. (2012), este último permitiu o revestimento individual das sementes, ou seja, sem a formação de aglomerados como ocorreu com o trabalho de Cordeiro (2006).

Porém, as pesquisas relacionadas às diferentes condições operacionais da panela rotatória aplicadas ao recobrimento de sementes silvestres pioneiras, ainda são incipientes, havendo a necessidade de aprofundar os estudos sobre estes aspectos.

2.8 PANELA ROTATÓRIA OU DRAGEADEIRA

Tradicionalmente, o recobrimento de partículas é efetuado em equipamentos denominados drageadeiras ou panelas rotatórias, sendo que estes equipamentos operam em batelada. Nesta técnica, colocam-se partículas no interior de uma panela que gira em torno de um eixo inclinado. A alimentação dos sólidos, do agente de recobrimento e do ar aquecido que escoam através do leito é feita por uma abertura existente na face da panela (OLIVEIRA; FREIRE, 1992).

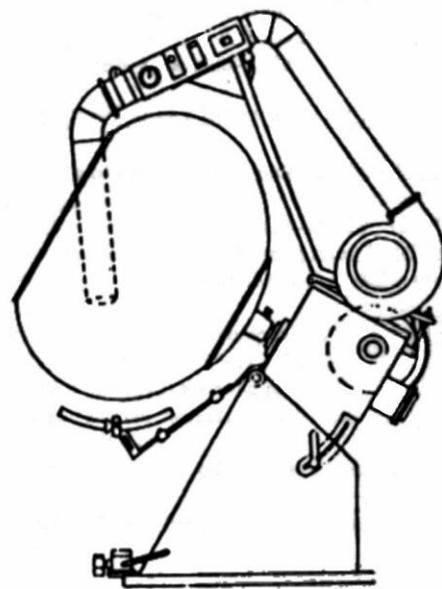
Ao longo do tempo as drageadeiras convencionais foram sofrendo modificações diversas de acordo com a necessidade de sua aplicação. Estas transformações incluem a adição de chicanas, modificações geométricas e alterações no sistema de ventilação e de alimentação da suspensão de recobrimento (OLIVEIRA; FREIRE, 1992; NITZ, 2006).

Assim, as panelas são classificadas em drageadeiras padrão, drageadeiras perfuradas e drageadeiras Pellegrini. No trabalho realizado por Oliveira

e Freire (1992) é possível encontrar uma revisão muito bem detalhada sobre os diferentes tipos de panelas rotatórias. Com base em Oliveira e Freire (1992) apresenta-se a seguir a panela rotatória padrão ou convencional, equipamento utilizado neste estudo.

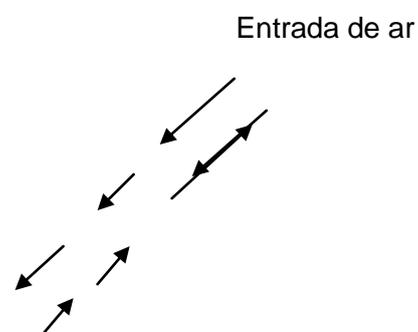
A panela rotatória padrão ou drageadeira padrão, Figura 2.9, consiste em um recipiente circular de metal, provido de motor que permite o movimento de rotação sobre seu eixo levemente inclinado, conforme já comentado. O ar aquecido é direcionado sobre o leito de partículas promovendo a secagem das mesmas, Figura 2.10. A mistura de recobrimento é aplicada manualmente ou por meio de atomizadores. Quando a mistura de recobrimento é sólida (pó), pode-se realizar a aplicação manual.

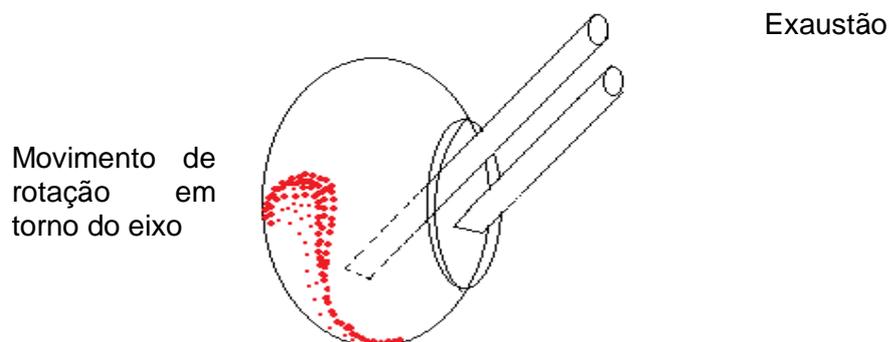
Figura 2-9 – Esquema de uma panela rotatória convencional ou drageadeira.



FONTE: NITZ, 2006.

Figura 2-10 - Diagrama de uma drageadeira padrão.





FONTE: OLIVEIRA; FREIRE, (1992).

As drageadeiras são convencionalmente empregada no recobrimento de comprimidos e por isso muito estudada quanto as suas condições operacionais. Estudos visam avaliar a uniformidade do filme de revestimento e a eficiência do processo de recobrimento, como no trabalho desenvolvido por Tobisca e Kleinebudde (2003), que verificaram o efeito da velocidade da panela e carga de partículas de partículas ovais sobre a uniformidade do filme e eficiência do processo de recobrimento. Mueller e Kleinebudde (2006) verificaram a influência da escala sobre a abrasão dos comprimidos na da panela rotatória e constataram que a escala laboratorial, em uma mesma velocidade e tempo de mistura, produz um aumento no efeito abrasivo em relação à escala piloto. Isso ocorreu, pois na escala laboratorial ocorre maior choque das partículas com as paredes da panela.

Além de ser utilizada para o recobrimento de comprimidos a drageadora recentemente tem sido empregada para o recobrimento de sementes com hidrocolóides. Cordeiro (2006) revestiu sementes de milho com gel ágar-ágar obtendo aglomerados de sementes, fato que levou ao uso de equipamentos auxiliares dentro da drageadeira, conforme já comentado. A utilização destes não é recomendada, pois interfere no movimento típico da panela rotatória. Nesta mesma linha de revestimento de sementes com hidrocolóides, recentemente, Pinto et al. (2012) recobriram sementes de milho em drageadeira através da reação química entre alginato de sódio e cloreto de cálcio, obtendo um recobrimento uniforme e sem a formação de aglomerados. Desta forma, e com base em Pinto et al. (2012), a drageadeira padrão mostrou-se promissora para o recobrimento de sementes com

misturas à base de alginato de sódio e foi escolhida para a realização do presente estudo.

Com base nesta revisão bibliográfica concisa, constata-se que muitos métodos são utilizados para o recobrimento, como recobrimento em leito de jorro, leito fluidizado e painéis rotatórias. Segundo Oliveira e Freire (1992), existem várias técnicas para o revestimento de partículas, mas ainda são necessários novos estudos sobre materiais de recobrimento dirigidos a cada necessidade específica. Prado et al. (2006) levantam a necessidade de obter informações ainda pouco conhecidas sobre os sistemas de recobrimento para o caso de sistemas sementes-géis.

Embora, de maneira geral, o processo de recobrimento já tenha sido bastante estudado, ainda são escassos os estudos de recobrimento de sementes silvestres via reação entre o alginato de sódio e o cloreto de cálcio. Nesta técnica, é necessário avaliar aspectos como tempo de residência das sementes, a combinação do ângulo e rotação da panela que conduza a um recobrimento apropriado, preparo da superfície da semente para a aplicação do gel de revestimento e como manter a fixação do recobrimento na superfície da mesma.

Por outro lado, quando se tratam de sementes silvestres de frutos encapsulados, são poucas as informações sobre o processo de coleta, a operação de secagem dos frutos para a extração das sementes e beneficiamento destas, de modo que estes procedimentos mantenham as propriedades fisiológicas das sementes em padrões pré-estabelecidos.

Diante desta escassez de informações no que diz respeito à secagem dos frutos para a extração das sementes e o recobrimento de sementes florestais, bem como, visando contribuir para a promoção de novos métodos que possibilitem melhorar as propriedades físicas e fisiológicas de sementes pioneiras, para armazenagem e posterior plantio, se faz necessário o estudo de métodos de secagem dos frutos e do recobrimento de sementes nativas em drageadeira.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os materiais utilizados e os métodos experimentais adotados no desenvolvimento deste trabalho. Este estudo foi dividido em duas principais etapas experimentais, que são constituídas de vários procedimentos.

A primeira etapa do estudo consistiu em identificar a espécie silvestre de frutos com deiscência explosiva, coletar os frutos e extrair as sementes. Para a extração das sementes foram realizados diferentes testes de secagem com os frutos. Uma vez extraídas as sementes, realizaram-se os testes de caracterizações física, química e fisiológica.

A segunda etapa envolveu a preparação da superfície das sementes para posterior recobrimento em panela rotatória, de modo que as sementes foram revestidas em diferentes ângulos e velocidades de rotação da panela com o intuito de avaliar as condições que permitem obter um revestimento adequado. Em condições apropriadas de operação da panela rotatória, através da análise de imagens, estimou-se o crescimento da partícula durante o recobrimento e a eficiência do processo.

3.1 MATERIAIS

Foram utilizados frutos capsulares deiscentes de *Mabea fistulífera* Mart., coletados nas florestas tropicais da região central do estado de São Paulo, visto que esta árvore é típica das áreas de transição entre a Mata Semidecidual e o Cerrado. Utilizou-se também como agentes de recobrimento o gel alginato de sódio, $n\text{-}(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na})$, o sal cloreto de cálcio (CaCl_2) e o sal glutamato monossódico.

Por se tratar de frutos silvestres capsulares, os mesmos devem ser coletados e as sementes extraídas e separadas dos materiais inertes. Porém, estas etapas devem ser conduzidas de maneira a se obter sementes de boa qualidade, visto que, como mencionado anteriormente, árvores de *M. fistulífera* frutificam

apenas uma vez ao ano. Desta forma, com o objetivo de assegurar a integridade física e fisiológica das sementes, as etapas mencionadas anteriormente, foram realizadas conforme os procedimentos apresentados a seguir.

3.2 PROCEDIMENTOS PARA A OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

A coleta dos frutos foi realizada manualmente com intuito de manter a integridade física do material e das árvores. Assim, selecionaram-se árvores matrizes distantes em torno de 100 m entre si, de 3 a 4 populações da forma como indicam Nogueira e Medeiros (2007).

Após coletados, os frutos tiveram o epicarpo desidratado para que fosse possível a extração das sementes. Inicialmente, para a desidratação do epicarpo testaram-se três diferentes métodos de secagem (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007):

1. Secagem via convecção natural por exposição direta ao sol;
2. Secagem via convecção natural à sombra; e,
3. Secagem por meio de convecção forçada.

Nos métodos 1, 2 e 3 a secagem foi conduzida com os frutos dispostos em monocamadas de partículas (NOGUEIRA; MEDEIROS, 2007). No método via convecção natural por exposição ao sol, assim como no método via convecção natural à sombra, os frutos foram acondicionados em caixas de papelão, de 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 10 cm de altura, e cobertas com telas de polietileno com malhas de aproximadamente 2 mm de abertura, a fim de viabilizar a secagem do epicarpo, rompendo-o e liberando a semente, de maneira que esta fosse retida no recipiente, como pode ser observado na Figura 3.1.

Figura 3-1 - Secagem dos frutos dispostos em monocamadas para a extração das sementes.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

As caixas com frutos destinados a secagem via radiação foram colocadas ao sol durante o dia e retiradas durante a noite, a fim de se evitar a reumidificação dos frutos, conforme indicado por Nogueira e Medeiros (2007). Segundo dados do SINDA – Sistema Nacional de Dados Ambientais (2011) durante os meses de setembro e outubro a incidência média de radiação solar sobre a cidade de São Carlos foi de $20,6 \pm 4$ MJ/m² e $19,5 \pm 7$ MJ/m², respectivamente.

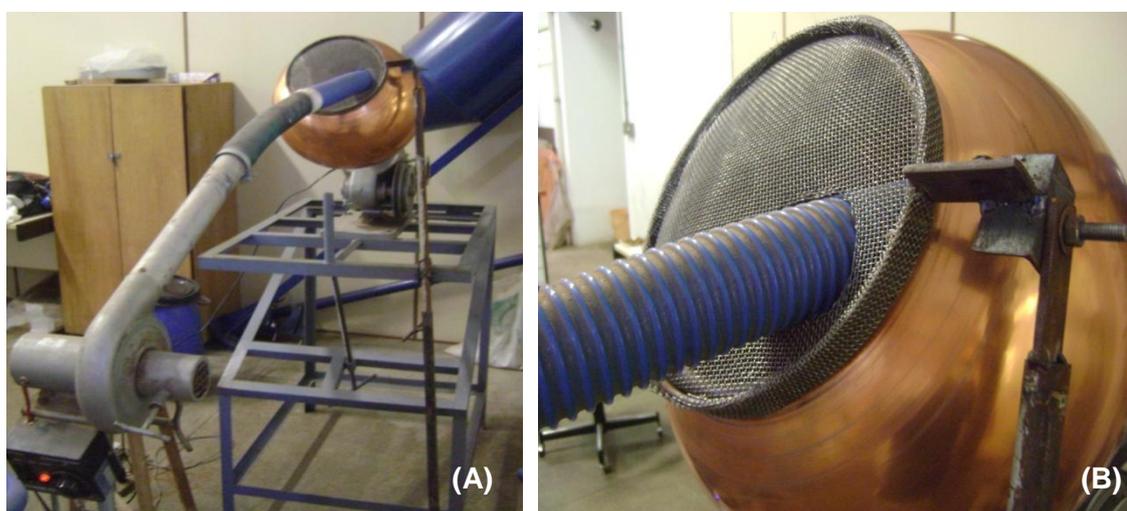
A secagem dos frutos via convecção natural foi realizada utilizando-se condições ambientais de laboratório. Já a secagem dos frutos via convecção forçada, realizada em estufa da marca FAUVEL com temperatura de aproximadamente 30°C, foram acondicionados em bandejas de alumínio de 20 cm de largura, 30 cm de comprimento e 6 cm de altura. Os métodos foram avaliados quanto à velocidade de abertura do endocarpo e a qualidade física das sementes.

A escolha dos métodos deve-se ao fato de não se conhecer a tolerância das sementes em relação à desidratação, uma vez que se trata de uma espécie nativa pouco estudada sob este aspecto.

Posteriormente, realizou-se a extração das sementes via drageadora com o intuito de verificar a viabilidade da aplicação deste equipamento, em comparação com a secagem do endocarpo por meio dos métodos clássicos 1, 2 e 3, conforme apresentados anteriormente.

Deste modo, os frutos de *M. fistulífera* foram submetidos à secagem na panela rotatória com temperatura do ar em aproximadamente 45°C e com velocidade em torno de 2m/s. As medidas da velocidade e temperatura do ar foram realizadas com o auxílio de um termoanemômetro de fio quente, marca ALNOR®, com precisão de 0,1 m/s e 1° C, respectivamente. A abertura frontal da panela rotatória foi fechada com tela de metal com malha de aproximadamente 2 mm, para evitar a perda das sementes devido a característica de deiscência explosiva dos frutos. O esquema utilizado na secagem dos frutos via drageadora pode ser observado na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Unidade experimental utilizada na secagem dos frutos via panela rotatória. (A) Sistema de aquecimento e panela rotatória. (B) Ampliação da panela rotatória fechada com tela de metal.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

A mistura heterogênea resultante de cada processo de secagem dos frutos exigiu a operação de separação dos materiais inertes (galhos, folhas e epicarpo seco) das sementes puras. Assim, a separação foi realizada com o auxílio de peneiras de diferentes formas e malhas em uma mesa classificadora da marca DEO LEO®, obtendo-se sementes 100% puras.

Com as sementes limpas, realizaram-se as determinações das características físicas, químicas e fisiológicas das sementes com o intuito de avaliar os efeitos imediatos do processo de secagem dos frutos.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS SEMENTES

Para os estudos do processo de recobrimento, é necessário conhecer as características físicas das sementes, uma vez que os efeitos imediatos do processo, como as características da camada de cobertura, por exemplo, serão avaliados mediante determinações da forma (esfericidade) e das dimensões ($D_{m\acute{a}x}$, $D_{m\acute{i}n}$ e $D_{m\acute{e}d\acute{i}o}$) das sementes.

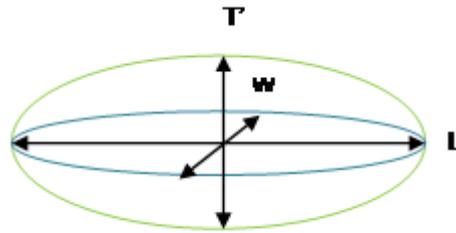
Sendo assim, com as sementes limpas, homogeneizadas em um quarteador do tipo JHNES® de 16 canais, com duas calhas de coleta e distribuição, realizaram-se as medidas das propriedades físicas das partículas obtidas em cada método de extração. O diâmetro máximo ($D_{m\acute{a}x}$), diâmetro mínimo ($D_{m\acute{i}n}$) e diâmetro médio ($D_{m\acute{e}d\acute{i}o}$) foram determinados a partir da análise de imagens com o auxílio do *software Image Pro-Plus*®.

Após as determinações dos diâmetros das partículas, procedeu-se a mistura das sementes oriundas de cada processo de extração através da homogeneização no quarteador do tipo JHNES®. Foi realizada a mistura das sementes, pois estas apresentaram diâmetros dentro da faixa de desvio em relação ao diâmetro médio, como será apresentado no Capítulo 4. A umidade das sementes foi determinada por meio do método da estufa a $(105\pm 3)^{\circ}\text{C}$, por 24 horas (AOAC, 1995).

Posteriormente, efetuaram-se novas medidas de diâmetro máximo, diâmetro mínimo e diâmetro médio, assim como, da área projetada (A_p) e perímetro projetado (P_p), também pelo *software Image Pro Plus*®.

Avaliaram-se também as dimensões como comprimento (L), largura (W) e espessura (T) (PEREIRA, 2010), conforme o esquema apresentado na Figura 3.3, com o auxílio de um micrômetro da marca Mitutoyo® de precisão de 0,01 mm.

Figura 3.3 - Esquema das dimensões analisadas das sementes.



FONTE: PEREIRA, 2010.

Através das medidas das dimensões, foi possível analisar a forma das partículas, uma vez que, para sementes e grãos o fator de forma mais utilizado é a esfericidade. A esfericidade (ϕ) foi calculada a partir da relação entre o maior diâmetro inscrito e o menor diâmetro circunscrito na área projetada da partícula em um plano estável (PEÇANHA; MASSARANI, 1986), dada pela Equação 3:

$$\phi \equiv \frac{d_{ic}}{d_{cc}} \quad (3)$$

Determinaram-se a massa específica real por meio de picnometria a hélio no equipamento Accupyc 1330, da marca MICROMERITICS®, a massa específica aparente por meio de picnometria a hexano e a porosidade foi obtida através da relação entre a massa específica aparente e massa específica real, como indicado na Equação 9.

$$\varepsilon_p \equiv 1 - \frac{\rho_p}{\rho_s} \quad (9)$$

Para as determinações das características químicas as amostras de sementes e das cascas dos frutos foram enviadas à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, localizada na Fazenda Canchim, São Carlos-SP. Deste modo foram determinados os percentuais de matéria seca total (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA), estrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), lignina (Lig) e celulose (Cel). Determinaram-se também os valores dos macronutrientes como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e enxofre.

Além das características físicas e químicas determinaram-se as propriedades fisiológicas das sementes, com o objetivo de conhecer o índice de crescimento da nova plântula em condições laboratoriais e de campo, ou seja, através de métodos indiretos e diretos, respectivamente. Desta forma, foi possível avaliar a influência dos processos sobre as características de intensificação da respiração das sementes, assim como das atividades metabólicas que fornecem energia e nutrientes para a retomada do crescimento, isto é, a recomposição fisiológica.

Os testes de germinação realizados em laboratório foram conduzidos com base nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Desta maneira, de acordo com estudos realizados por Picelli et al. (2010) e Corrêa et al. (2012), para a realização do teste padrão de germinação (TPG) foram separadas, aleatoriamente, 4 amostras de 20 sementes sem qualquer pré-tratamento, as quais foram dispostas em substrato formado por uma camada de papel toalha da marca ELOTEST® com $0,2 \times 10^{-2}$ m de espessura. O substrato umedecido foi colocado no interior de caixas germibox® e posteriormente fechadas de forma a se obter a condição de 100% de umidade relativa no interior das caixas, transferindo às sementes a quantidade de água necessária para a sua germinação. Após o preparo das amostras, colocaram-se os recipientes em uma incubadora, fabricada por FAUVEL CIENTÍFICA LTDA, a uma temperatura de $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$, por um período de aproximadamente 21 dias, com a presença de luz, visto que, a *M. fistulífera* é uma planta heliófita.

Os testes de germinação das sementes de *M. fistulífera* via método direto, em campo, foram realizados em condições naturais de solo no Horto Florestal Navarro de Andrade de São Carlos-SP. Preparou-se um canteiro com terra adubada contendo Tropstrato® florestal e adubo com esterco, onde 100 sementes de mamoinha-do-mato foram lançadas no solo e cobertas com terra e substrato orgânico.

Ao final das determinações físicas e fisiológicas das amostras, os lotes de sementes remanescentes foram armazenados em frascos fechados e mantidos sob refrigeração de aproximadamente 4°C (MOREIRA et al., 2005; CORRÊA, 2012),

até que se iniciassem os testes de preparo das sementes para receberem o gel de recobrimento no interior da panela rotatória.

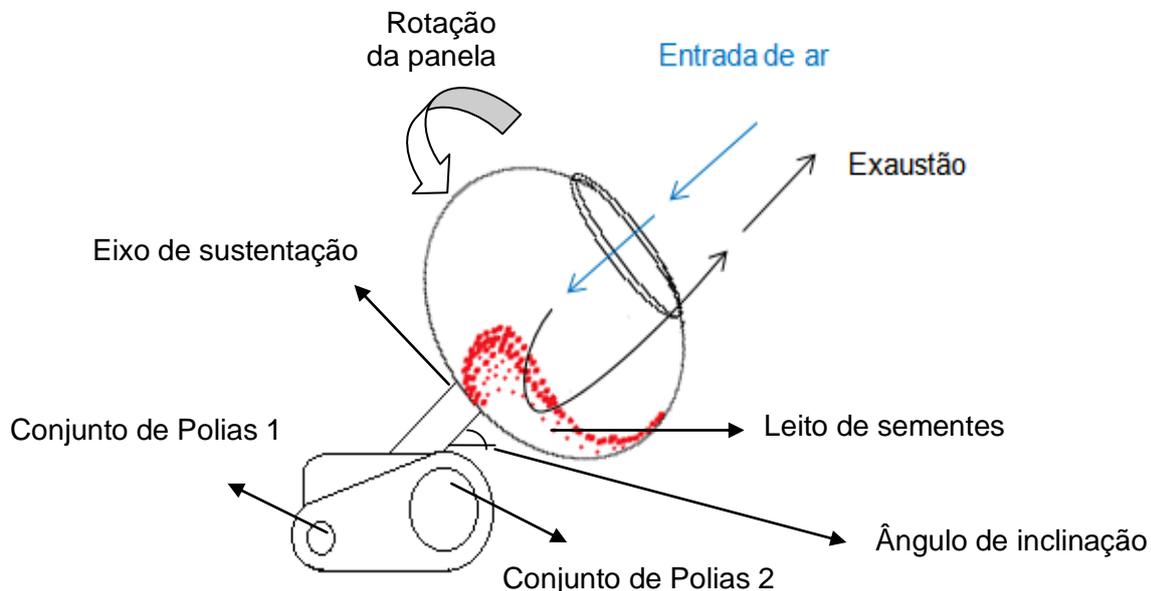
3.4 EQUIPAMENTO

Os testes de recobrimento das sementes foram conduzidos em uma drageadora do tipo padrão (OLIVEIRA; FREIRE, 1992).

Neste equipamento, o agente de cobertura foi introduzido na abertura frontal, diretamente no interior da panela, onde se encontravam as sementes. À medida que a panela girava, deslocando o leito de sementes em movimentos circulares, era aumentada a área de contato entre as partículas e a base polimérica, promovendo o recobrimento das sementes.

Um esquema da unidade experimental utilizada encontra-se apresentado na Figura 3.4.

Figura 3-4 - Esquema da drageadeira padrão utilizada.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

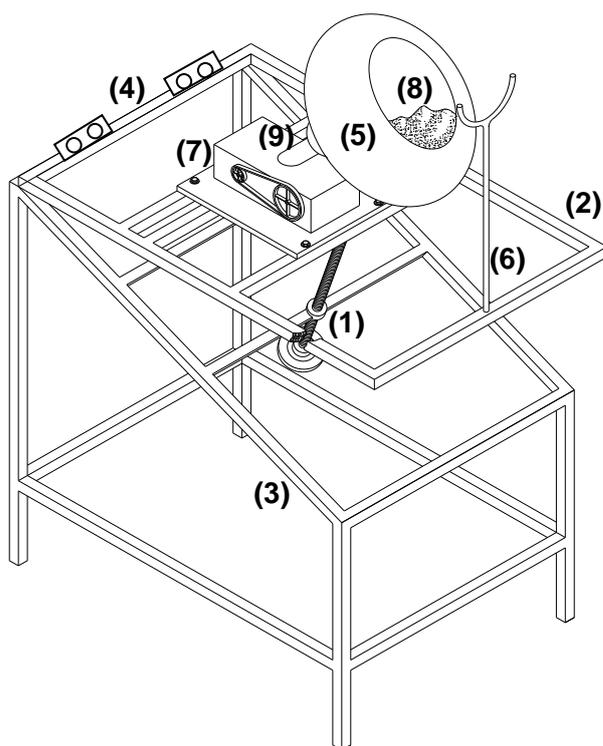
A drageadeira, do tipo padrão, ilustrada na Figura 3.4, consiste de uma panela giratória de cobre, da marca PRIMAR®, de formato elíptico com diâmetro de aproximadamente 285 mm e profundidade de 195 mm. Possui capacidade nominal

em torno de 5 kg, com rotação ajustável entre 25 a 45 rpm e ângulo de inclinação do eixo de sustentação de 45° em relação ao plano horizontal.

Como o equipamento não possibilitava a regulação do ângulo de inclinação da panela rotatória foi construída para a base do equipamento uma mesa móvel, que possibilitou o ajuste do ângulo de inclinação da panela de aproximadamente 0° até 60° em relação ao plano horizontal.

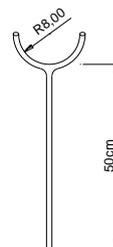
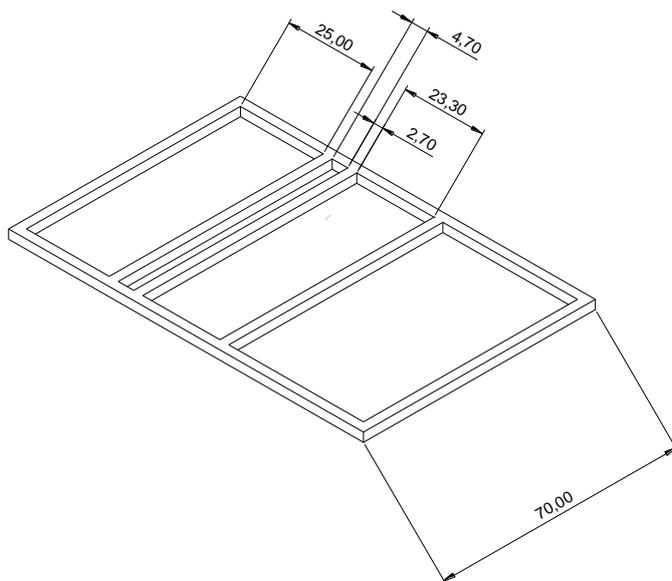
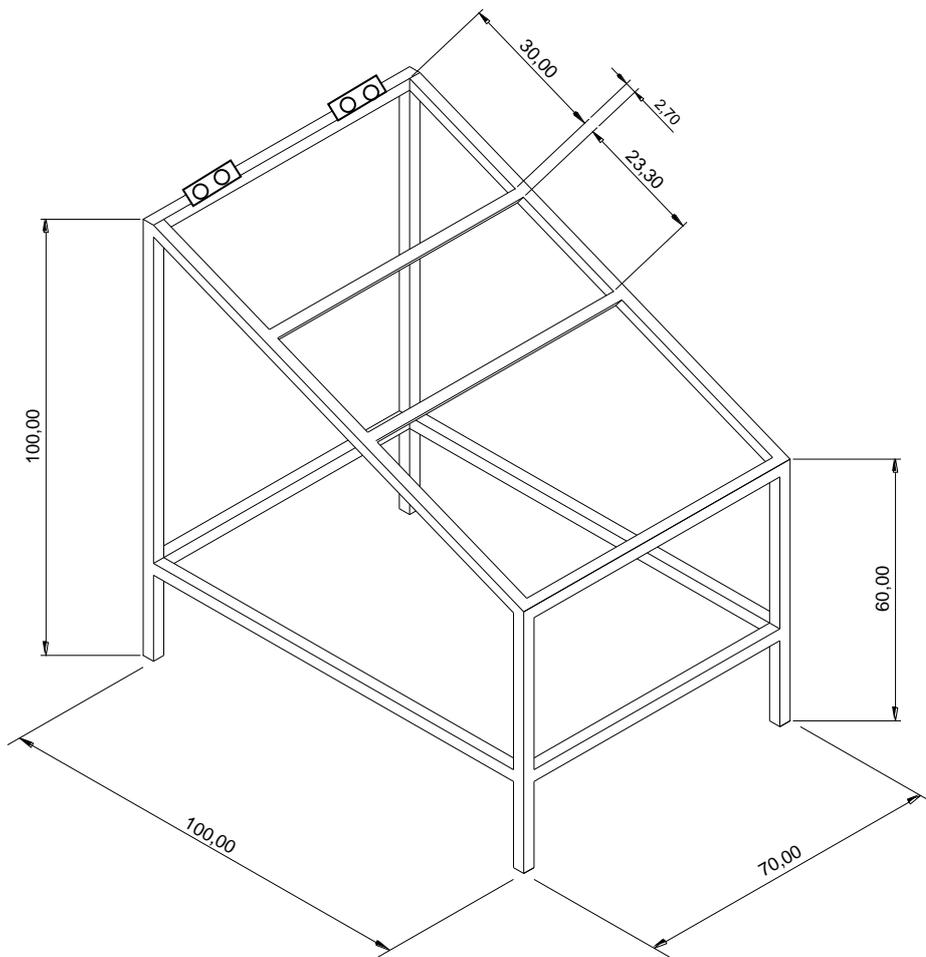
A estrutura de sustentação, construída com cantoneiras de ferro, com perfil L, encontra-se esquematizada na Figura 3.5.

Figura 3-5 – Esquema do plano regulável da panela rotatória e suas dimensões em centímetros.



LEGENDA

1. Parafuso com rosca “sem fim”, para regulação da inclinação da mesa móvel
2. Mesa móvel, parte superior do suporte
3. Parte fixa da estrutura metálica, base
4. Dobradiças metálicas, fixadas entre a base da estrutura e o suporte da panela rotatória
5. Panela giratória
6. Suporte para sustentação da tubulação de ar aquecido
7. Polias para o ajuste da velocidade de rotação e motor elétrico
8. Leito de partículas
9. Eixo de inclinação da panela rotatória



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Na Figura 3.5 o parafuso (1) tem a função de movimentar a mesa móvel possibilitando a regulação do ângulo entre (2) e (3), de modo que o ângulo do eixo de inclinação da panela rotatória, fixo em 45°, deve ser descontado a fim de formar o ângulo de recobrimento desejado.

Tendo-se a unidade experimental que permita conduzir os ensaios e de posse das sementes caracterizadas, realizaram-se os testes de recobrimento das sementes.

3.5 RECOBRIMENTO DAS SEMENTES DE *Mabea fistulífera* Mart.

Diferentes ensaios preliminares foram realizados, no início do estudo de revestimento das sementes, com o objetivo de desenvolver uma sistemática a ser utilizada na condução da operação. Isto se deve ao fato de Pinto et al. (2012) terem verificado em seus estudos que o gel alginato de sódio é promissor para o revestimento de sementes de gramíneas, motivo pelo qual foi considerado neste trabalho. Porém, Pinto et al. (2012) verificaram, durante os experimentos, a necessidade de maior fixação do gel alginato sobre a superfície da semente. Assim sendo, foi necessário investigar um procedimento para manter a cobertura sobre a superfície das sementes para que, posteriormente, fosse possível avaliar o ângulo de inclinação e a velocidade de rotação da panela giratória que produzissem condições apropriadas de revestimento. Então, nestas condições, avaliar o crescimento da partícula durante o recobrimento e a eficiência do processo.

Desta forma, para que as sementes fossem revestidas na drageadora com uma matriz a base de gel, neste caso o alginato de sódio, foi necessário fazer a substituição do íon Na⁺, por um íon divalente, fornecido por uma solução saturada de CaCl₂, e, assim, realizar a reação química sobre a área superficial da partícula. Em seguida, a cobertura foi fixada pela adição de um agente de fixação, glutamato monossódico, e por meio da secagem, em equipamento de secagem via radiação infravermelho, realizar a cura da base polimérica.

Sendo assim, para revestir as sementes foram necessárias diferentes etapas para a condução do processo: preparação da superfície da semente, através

da escarificação e imersão em solução de cloreto de cálcio, aplicação do gel de recobrimento na partícula, no interior da panela giratória, fixação do gel via agente de fixação e posterior secagem IV para a cura do sistema semente-gel formado.

3.5.1 Preparação da superfície da partícula

Visando preparar a superfície das sementes, realizou-se a escarificação química. Optou-se pela escarificação com ácido sulfúrico, pois se demonstrou, por meio de testes preliminares, que era possível obter um grande número de sementes escarificadas, sem que ocorresse a quebra das partículas.

Outro motivo que levou à escolha da técnica foi o fato desta aumentar a porcentagem de germinação em algumas espécies de leguminosas (ALMEIDA et al., 1979) e da espécie nativa *Senna macranthera* (POZITANO; ROCHA, 2011) e quando comparada com a escarificação física (mecânica e térmica) apresenta resultados mais positivos em relação à germinação, de acordo com o trabalho realizado por Bastos et al. (1992).

Nesta técnica as sementes foram colocadas em um béquer de 250 ml e sobre estas o ácido sulfúrico até que todas as sementes ficassem submersas. A mistura contendo as sementes e o ácido foi agitada, constantemente, durante aproximadamente 20 min com o objetivo de evitar que as sementes aderissem umas nas outras e, como consequência, diminuíssem a área de contato com o ácido. Decorrido o tempo necessário para escarificar as sementes, de acordo com Almeida (1979), estas foram entornadas sobre uma peneira e lavadas com água destilada para a remoção total do ácido sulfúrico. Após, as mesmas foram submetidas à etapa de reumidificação.

Para que ocorra a geleificação do alginato ($n\text{-C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na}$), é necessário que ocorra a substituição do íon Na^+ , por um íon divalente, conforme já comentado. Neste caso, fez-se oportuna a preparação da semente com CaCl_2 para receber o agente de cobertura (PINTO et al., 2012). Desta forma, as sementes foram reumidificadas em solução saturada de CaCl_2 , tendo em vista viabilizar a ocorrência

da reação com o alginato de forma lenta, no interior da panela rotatória, promovendo a aplicação do revestimento sobre as partículas.

Para reumidificar as sementes de *M. fistulífera*, estas foram colocadas em recipientes germibox® e sobre as sementes entornada a solução de CaCl_2 (PINTO et al., 2012). Assim, o primeiro contato entre a solução e as sementes permitiu que estas absorvessem umidade diretamente na sua superfície, e quando mantidas em atmosfera saturada da solução em estufa, em aproximadamente 35°C , por no mínimo 48 horas, absorvessem a umidade no seu interior. Após, realizou-se a determinação da umidade das sementes por meio do método em estufa a $(105\pm 3)^\circ\text{C}$, durante 24 horas (AOAC, 1995).

A solução de cloreto de cálcio além de ser o meio doador de cátions divalentes, espera-se também que estimule a germinação das sementes, visto que este tem sido empregado para a melhoria do processo de germinação de sementes de hortaliças, segundo Kerbauy (2004).

Depois que as sementes foram reumidificadas, prosseguiu-se para a etapa de aplicação do gel de recobrimento no interior da panela rotatória.

3.5.2 Aplicação do gel de recobrimento na partícula

Nesta etapa do processo de recobrimento, as sementes foram recobertas de acordo com o planejamento experimental apresentado no Quadro 3.1, variando-se o ângulo de inclinação e a velocidade de rotação da panela, a fim de verificar a influência destes sobre o recobrimento das sementes. Assim, utilizou-se o planejamento experimental do tipo 3^2 , onde para cada variável estudada foram considerados três níveis diferentes. Os níveis das variáveis foram selecionados com base nos estudos conduzidos por Cordeiro (2006), bem como, nos resultados de Pinto et al. (2012) e os experimentos foram realizados em duplicatas.

Quadro 3.1 - Planejamento experimental utilizado nos testes de recobrimento.

Experimentos	Ângulo (°)	Rotação (rpm)
1	25	25
2	35	25
3	45	25
4	25	30
5	35	30
6	45	30
7	25	35
8	35	35
9	45	35

FONTE: Elaborado pelo autor, 2011.

Desta maneira, após o preparo das superfícies das partículas, aproximadamente 90 sementes com massa média de aproximadamente (16,15±0,45) gramas, pesadas em balança analítica da marca GEHAKA® modelo BG 100 de precisão de 0,0001g, abasteceram a panela rotatória juntamente com aproximadamente 2,5 g do gel de recobrimento na fase sólida. Durante o movimento de rotação da drageadeira, as partículas foram revestidas a cada contato com o alginato de sódio. Após esta etapa, adicionaram-se, aproximadamente, 1,5g do agente de fixação, glutamato monossódico, e novamente 2,5g de alginato de sódio. Todos os componentes foram pesados na mesma balança analítica.

Ao final da operação, as sementes recobertas foram retiradas da panela rotatória e pesadas, assim como a massa residual composta por alginato de sódio e glutamato monossódico. Depois de pesadas as sementes, realizaram-se as tomadas de imagens para posteriores determinações das dimensões e forma dos sistemas semente-gel.

Uma vez recobertas, procedeu-se a operação de secagem para a fixação do gel sobre a superfície das sementes, por meio de um processo de cura.

3.5.3 Fixação do gel biodegradável na superfície das sementes

Para que o recobrimento atenda à sua finalidade, a mistura gel deve permanecer sobre a superfície da partícula. Para que isto ocorresse, foi realizada a cura da matriz de cobertura através da remoção do excesso de umidade do sistema semente-gel.

A fim de preservar a qualidade do recobrimento, a cura foi realizada em monocamada de partículas revestidas, via radiação térmica, que é uma fonte alternativa de energia limpa e que proporciona condições de secagem rápida (RAGHAVAN et al., 2005), evitando a desestruturação do recobrimento das sementes (PINTO et al., 2012; CORDEIRO, 2006; PRADO, 2006).

Para a secagem via radiação térmica foi utilizado o equipamento Infrared Dryer® da marca OHAUS®, constituído por uma balança, que permite a pesagem direta da amostra, e uma fonte de emissão de raios infravermelhos (IV). Este equipamento permite regular a potência de radiação emitida sobre um prato circular com aproximadamente 12 cm de diâmetro (em que a monocamada de partículas foi depositada) através de um dial com regulagem de 0 a 10 W.

As potências reais de radiação emitidas pela lâmpada de infravermelho do secador, de acordo com a posição do dial e com a voltagem aplicada, são apresentadas nas Tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente (PRADO, 2006).

Tabela 3.1 - Potência óptica da lâmpada de infravermelho em função da faixa de comprimento de onda emitido.

Secador OHAUS®		
Dial (W)	Potência Óptica (mW)	
	<0,8 μm	de 1,0 a 3,0 μm
1	36,5	37,9
2	48,3	50,8
3	59,8	62,8
4	70,5	74,0
5	78,9	82,4
6	82,3	87,1

7	86,7	91,6
8	91,0	96,1
9	94,6	99,7
10	95,5	101,1

FONTE: PRADO, 2006

Tabela 3.2 – Potência óptica da lâmpada de infravermelho em função da voltagem aplicada.

Volt (V)	Corrente Elétrica (A)	Potência Óptica (mW)
125,6	3,384	142,5
110,2	3,157	115,9
90,2	2,823	81,9
70,1	2,459	52,5
50,6	2,056	28,3
30,4	1,567	9,9

FONTE: PRADO, 2006.

A partir das alternativas apresentadas nos Tabelas 3.1 e 3.2, após testes com as sementes, escolheu-se a condição em que a temperatura não ultrapassasse a temperatura ideal de secagem das sementes que é entre 30°C e 40°C (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Logo a operação de secagem foi conduzida com o dial na posição 2 W e regulador de voltagem na posição 60 V, visto que a lâmpada de emissão IV estava aproximadamente 4 cm distante das amostras. Nestas posições, foi possível mensurar, através do medidor Cole-Parmer Instrument Co Tri-Sense® modelo 37000-95, a temperatura do sistema que atingiu o valor de aproximadamente 31,2 °C. Após o processo de cura, as sementes foram armazenadas em recipientes hermeticamente fechados.

A partir dos resultados obtidos nos experimentos de recobrimento, analisou-se a eficiência do processo.

3.6 DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO RECOBRIMENTO

Para determinar a eficiência (η) do recobrimento, a partir da definição apresentada por Kucharski e Kmiéc (1989), foi adotada a metodologia utilizada por Donida (2004), que utilizou a razão entre o crescimento obtido experimentalmente e o crescimento teórico, conforme a Equação 8.

$$\eta \equiv \frac{\delta_{exp}}{\delta_{teórico}} \quad (8)$$

O valor de δ_{exp} foi obtido a partir dos resultados experimentais dos testes de recobrimento em cada ângulo e rotação da panela, de acordo com a Equação 7.

$$\delta_{exp} \equiv \frac{M_{rec} - M_0}{M_0} \quad (7)$$

Onde, M_{rec} é a massa das sementes recobertas após a cura e M_0 é a massa das sementes sem recobrimento.

O valor de $\delta_{teórico}$ também foi obtido a partir dos testes de recobrimento, com base em Donida (2004), considerando-se para o cálculo, a massa total do agente de cobertura utilizado, conforme a Equação 10.

$$\delta_{teórico} \equiv \frac{M_{tag}}{M_0} \quad (10)$$

Onde, M_{tag} representa a massa total do agente de cobertura adicionado no interior da panela rotatória para realizar o recobrimento.

Uma vez obtidos os valores da eficiência em cada ângulo e rotação da panela giratória, escolheu-se a combinação em que foi verificada a maior eficiência para avaliar o crescimento da camada de cobertura.

3.7 DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS PARTÍCULAS

Para se determinar o crescimento da camada de cobertura, prepararam-se as sementes da mesma forma como foram preparadas para os testes de recobrimento, conforme descrito no item 3.5.1.

O procedimento experimental consistiu em pesar aproximadamente 60 sementes, na balança analítica da marca GEHAKA® modelo BG 100 de precisão de

0,0001g, de um lote com umidade conhecida, determinada através do método da estufa (105 ± 3) °C por 24 horas (AOAC, 1995), e colocá-las na drageadora. Neste momento, foi dada a partida no equipamento e aproximadamente 2,0g do alginato de sódio foram lançados no interior da drageadeira. Ao completar uma rotação, o equipamento foi desligado e as sementes recobertas foram pesadas e, posteriormente, fotografadas. Esta sistemática foi repetida variando apenas o número de rotações da drageadora, mantendo-se as massas dos constituintes aproximadamente constantes, até o momento em que foi verificada a diminuição da massa do recobrimento em relação às medidas dos três últimos testes. Assim foi determinada a etapa 1 do processo de recobrimento.

A segunda etapa iniciou-se com a adição de aproximadamente 1,5g de glutamato monossódico, além da adição da massa de alginato, porém em períodos distintos, ou seja, num mesmo teste adicionou-se primeiro o alginato, contou-se o número de rotações onde foi verificado anteriormente o decréscimo da massa de recobrimento e adicionou-se o glutamato. Depois de adicionado o agente de fixação iniciou-se a contagem do número de rotações até que o aumento de massa pudesse ser considerado desprezível em relação aos três últimos experimentos.

Terminada a etapa de adição do agente de fixação, iniciou-se mais uma etapa de adição do agente de cobertura, do mesmo modo como descrito na primeira fase de aplicação do mesmo. Assim, foram adicionados novamente aproximadamente 2,0g do alginato de sódio, variando-se apenas o número de rotações do equipamento. Nesta etapa, a terceira etapa do processo de recobrimento, todos os testes foram realizados com a sementes já submetidas às aplicações de alginato, etapa 1, e glutamato, etapa 2, e a partir desta última variaram-se o número de rotações da drageadora. O procedimento foi conduzido até que o aumento de massa sobre as partículas fosse desprezível. Esta etapa determinou o final do processo de recobrimento.

A partir dos dados obtidos em cada teste, relacionou-se a massa aderida às partículas com o número de rotações da panela tendo em vista obter o coeficiente de crescimento das partículas.

3.8 ANÁLISE DA REPRODUTIBILIDADE E TRATAMENTO DOS DADOS

A verificação da reprodutibilidade dos dados experimentais, obtidos nas determinações das características físicas das sementes, dos testes de recobrimento e do crescimento das partículas, foi realizada mediante a análise estatística de suas respectivas replicatas linearizadas, através da Equação 11.

$$M = \mathbf{b} \cdot M_{(\text{replicata})} \quad (11)$$

Onde, M representa as variáveis a serem linearizadas.

O ajuste foi verificado pelo parâmetro **b** 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 parâmetro b e o desvio padrão).

Os ensaios que determinam as características físicas das sementes, tais como, $D_{\text{médio}}$, D_{max} , D_{min} , esfericidade, A_p e P_p , obtidas através de tomada de imagens, foram analisados mediante o auxílio do *software Image Pro Plus 7*[®]. Os resultados foram tratados com o *software STATISTICS*[®].

Os resultados obtidos nos testes de recobrimento foram tratados com o *software STATISTICS*[®] a fim de encontrar a variável de interesse para o processo, através da avaliação da influência dos ângulos de inclinação do eixo de sustentação da panela rotatória e das velocidades de rotação da panela no processo de recobrimento das sementes.

As imagens advindas dos testes de recobrimento e dos testes de crescimento das partículas, foram analisadas via *software IMAGE PRO PLUS 7*[®], com o objetivo de obter o valor das dimensões das sementes recobertas, como $D_{\text{médio}}$, D_{max} , D_{min} , A_p e P_p . No caso dos testes de recobrimento para avaliar o aumento das dimensões em cada variação do ângulo e da velocidade da drageadeira e nos testes de crescimento para verificar o aumento da partícula em relação ao teste anterior.

As sementes “*in natura*”, escarificadas, reumidificadas e recobertas foram analisadas quanto às características da superfície da partícula via Microscopia

Eletrônica de Varredura MEV-FEG FEI Magellan® 400L com aumentos de 200, 500, 2.500, 5.000 e 20.000 vezes. As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização Estrutural – LCE, do DEMA/UFSCar.

Os resultados obtidos na avaliação da qualidade fisiológica das sementes foram tratados com o auxílio da Equação 12 e, assim, determinado o índice de germinação das sementes “*in natura*”.

$$GE \equiv \frac{\textit{Sementes germinadas}}{\textit{Total de sementes da amostra}} \quad (12)$$

Onde, GE indica o índice de germinação das sementes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo encontram-se apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das metodologias utilizadas neste trabalho.

Inicialmente apresentam-se os resultados da primeira etapa deste estudo, que inclui a coleta e a secagem dos frutos deiscientes de *Mabea fistulífera* Mart., assim como, as caracterizações físicas, química e fisiológica das sementes.

Na sequência, encontram-se os resultados da segunda etapa do trabalho que envolveu os testes de recobrimento: preparação das sementes, aplicação do gel sobre a superfície da partícula, avaliação da eficiência do processo e determinação do crescimento das partículas.

4.1 PREPARAÇÃO DOS LOTES DE SEMENTES DE *Mabea fistulífera* Mart.

Os frutos de *M. fistulífera* foram coletados no período de maturidade fisiológica, antes que iniciassem o processo de abertura espontânea, de acordo com Nogueira e Medeiros (2007).

Uma amostra típica dos frutos de *M. fistulífera* é apresentada na Figura 4.1.

Figura 4-1 - Frutos coletados de *Mabea fistulífera* Mart.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Observa-se a partir da Figura 4.1 que os frutos de mamoinha-do-mato apresentam insurto ferrugíneo e lactescência (pontos brancos na foto), conforme era esperado, de acordo com Nogueira e Medeiros (2007). Pode-se notar também, que estes se encontram no estado de maturidade fisiológica, pois apresentam coloração que vai de amarelo a marrom, conforme Lorenzi (2008).

Após coletados, os frutos foram submetidos aos processos de secagem via radiação solar, por convecção natural, convecção forçada e via panela rotatória para a extração das sementes. Os recipientes expostos à radiação solar levaram de um a dois dias para que todos os frutos fossem secos promovendo a ruptura da casca. A abertura dos mesmos iniciava lenta durante a manhã, atingia o ápice em torno do meio-dia e tornava a ser lenta durante a tarde. As sementes produzidas apresentaram-se sadias e coloração de um marrom mais claro e vivo em relação aos processos de secagem por convecção natural e forçada.

Já na secagem pelo método de convecção forçada, os frutos levaram em torno de 4 dias para abrirem, de modo que, a explosão das sementes se manteve lenta durante todo o processo. As sementes oriundas deste tipo de extração também foram sementes sadias, porém com coloração em tons de marrom mais escuro, em relação às sementes obtidas pelo processo de secagem por meio de radiação solar, e com a presença de manchas acinzentadas.

Na técnica de secagem por meio de convecção natural à sombra, os frutos levaram de 5 a 7 dias para a ruptura do epicarpo. Provavelmente, devido ao longo período de exposição, alguns frutos submetidos a este método não realizaram a explosão das cápsulas. As sementes produzidas nos primeiros dias do processo de secagem apresentaram-se sadias e com coloração marrom mais escuro, também com manchas acinzentadas, assim como ocorreu com as sementes obtidas via secagem por convecção forçada.

Nos procedimentos de secagem realizados através da panela rotatória foram obtidas sementes sadias e com coloração marrom claro, assim como as sementes obtidas no método via radiação solar. O tempo necessário para que ocorresse a abertura de todos os frutos foi de aproximadamente 6 horas, com a temperatura do ar de secagem em aproximadamente 45°C.

Durante os métodos de secagem dos frutos, a extração das sementes foi possível devido ao fenômeno de contração do epicarpo. Este fenômeno, para muitos alimentos e géis, é considerado como uma função da concentração do solvente. Tendo-se perfis de concentração do solvente no interior do fruto surgem tensões e torções, durante a secagem, que provavelmente provocaram a deterioração na estrutura do mesmo, causando rupturas (SHAH; PORTER, 1973; ARRIECHE, 2003), como pode ser observado na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Fruto com rupturas no epicarpo.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Assumindo-se que esta contração seja local, à medida que o solvente foi removido da estrutura da material, provavelmente, ocorreu o encolhimento para preencher os espaços vazios deixados pelo solvente (ARRIECHE, 2003). Isto resultou na modificação das propriedades físicas do fruto capsular, como a massa específica. Esta mudança foi observada nos frutos da mamoinha-do-mato quando o epicarpo destes mudou, provavelmente, do aspecto fibroso para o lenhoso. Esta transformação indicou o final do fenômeno de contração, com a ruptura da casca, conseqüentemente a explosão do fruto e a separação das sementes.

Além dos perfis de concentração de água, surgem nos frutos gradientes de temperatura. Como os frutos são compostos de camadas heterogêneas, a elevação da temperatura durante o processo de secagem não é

uniforme. Isto provoca a formação de perfis de temperatura nas distintas regiões dos furto, que não se dilatam igualmente dando lugar às tensões térmicas e consequentemente também associadas à ruptura do epicarpo.

Após a explosão, independente do método de secagem, foi possível observar as constatações feitas por Nogueira e Medeiros (2007) sobre as características dos frutos, como o fato destes se apresentarem em cápsulas tricocas.

A Figura 4.3 apresenta as cocas típicas do fruto de *M. fistulífera* expostas, devido às rupturas causadas pelo efeito de contração, conforme esperado.

Figura 4.3 - Frutos divididos em cocas.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Ao final de cada processo de secagem (extração das sementes) utilizado, obteve-se uma mistura heterogênea, apresentada na Figura 4.4, a qual foi beneficiada separadamente na mesa classificadora, com o auxílio de peneiras de diferentes formas e malhas, conforme comentado anteriormente.

Figura 4.4 - Mistura heterogênea resultante dos processos de secagem dos frutos.



FONTE: Acervo pessoal, 2011.

Nesta etapa, separaram-se os materiais inertes (galhos, folhas e cascas) das sementes, obtendo-se um percentual em massa de aproximadamente 71,95% de cascas, 4,88% de galhos, 2,44% de folhas e 20,73% de sementes, o que demonstra baixo rendimento de matéria-prima. Após a separação, obtiveram-se lotes de sementes com 100% de pureza, como mostra a Figura 4.5.

Figura 4.5 - Sementes extraídas de *Mabea fistulífera* Mart.



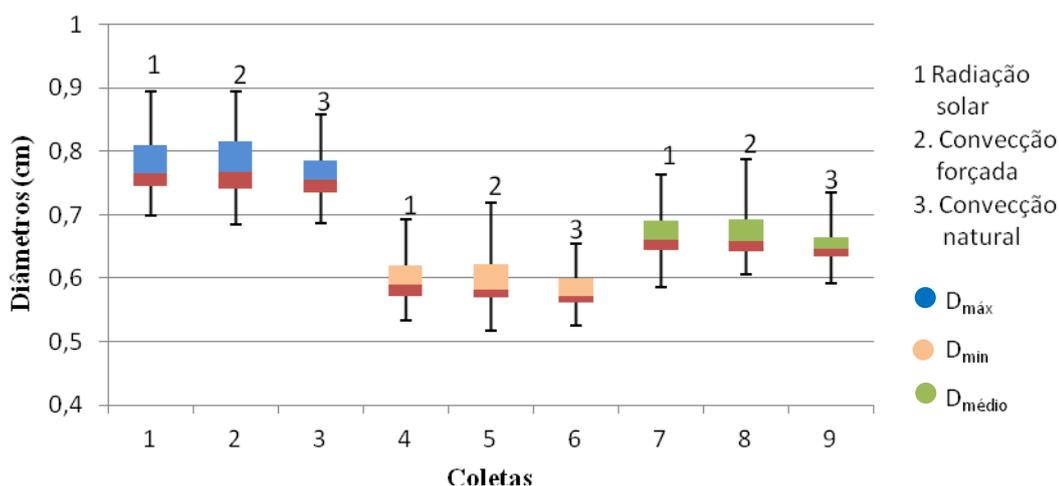
FONTE: Acervo pessoal, 2011.

4.2 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E FISIOLÓGICAS DAS SEMENTES

4.2.1 Caracterização física: dimensões das sementes e fator de forma

Os resultados típicos obtidos para o diâmetro máximo ($D_{\text{máx}}$), diâmetro mínimo ($D_{\text{mín}}$) e diâmetro médio ($D_{\text{médio}}$) das sementes extraídas via secagem do endocarpo, por meio dos métodos clássicos 1, 2 e 3, encontram-se apresentados na Figura 4.6.

Figura 4.6 - Distribuição dos diâmetros das sementes para cada método de secagem.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Observa-se com base na Figura 4.6 que os diâmetros obtidos a partir dos métodos de secagem por radiação solar, convecção forçada e convecção natural, possuem valores médios aproximados de $(0,77 \pm 0,05)$ cm, $(0,78 \pm 0,06)$ cm e $(0,75 \pm 0,05)$ cm para os diâmetros máximos, $(0,59 \pm 0,04)$ cm, $(0,60 \pm 0,04)$ cm e $(0,58 \pm 0,03)$ cm para os diâmetros mínimos e $(0,67 \pm 0,04)$ cm, $(0,67 \pm 0,05)$ cm e $(0,65 \pm 0,04)$ cm para os diâmetros médios, respectivamente. Constata-se também, que a diferença entre as médias dos diâmetros é inferior ao intervalo de desvio obtido para cada análise em cada método, o que levou à homogeneização dos lotes, totalizando uma quantidade em torno de 13.500 sementes.

Na técnica de secagem via panela rotatória as sementes apresentaram valores médios de $(0,81 \pm 0,05)$ cm para o diâmetro máximo, $(0,60 \pm 0,03)$ cm para o

diâmetro mínimo e $(0,68\pm 0,03)$ cm para o diâmetro médio. Pode-se notar que as diferenças entre as médias dos diferentes diâmetros, em comparação com os resultados dos métodos clássicos, são inferiores aos intervalos dos desvios obtidos para cada situação. Logo, tem-se que os valores dos diâmetros obtidos independem do método de extração utilizado, conforme já era esperado.

A contagem do número de sementes por dez gramas de amostra apresentou o resultado de (101 ± 4) unidades, próximo ao valor reportado por Lorenzi (2008) para as sementes de *M. fistulífera*. Estes valores podem apresentar alterações conforme o valor de umidade, fatores genéticos e ambientais (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

O valor da umidade inicial das sementes nas amostras foi de $(7,3\pm 0,3)\%$ b.u., resultado considerado baixo quando comparado ao valor de umidade de sementes oleaginosas, em torno de 20% b.u. para a soja (BARROZO, 1995), e de gramíneas, cerca de 30% b.u. para a *Brachiaria brizantha* (ARNOSTI Júnior, 1997). Este baixo valor de umidade pode estar relacionado com a característica de deiscência explosiva típica desta espécie, pois, para que ocorra a abertura do epicarpo é necessária a redução de umidade dos frutos, promovida pelos processos de secagem.

Os resultados típicos das novas determinações de diâmetro máximo ($D_{\text{máx}}$), diâmetro mínimo (D_{min}), diâmetro médio ($D_{\text{médio}}$), área projetada (A_p) e o perímetro projetado (P_p), realizados em duplicatas no lote de sementes homogeneizadas, com auxílio do *software* de análise de imagens *Image Pro Plus*®, são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Resultados típicos das propriedades físicas das sementes via análise de imagens*.

Propriedade	Média	Parâmetro b (Eq. 11)	Desvio-padrão	Coefficiente de correlação	Teste-t	Variância Explicada (%)	P-valor
$D_{\text{máx}}$ (cm)	$0,78\pm 0,05$	0,98	0,0004	0,9991	2469,3	99,83	<0,001
D_{min} (cm)	$0,59\pm 0,04$	0,97	0,0005	0,9988	1878,9	99,76	<0,001
$D_{\text{médio}}$ (cm)	$0,67\pm 0,04$	0,98	0,0001	0,9998	6691,2	99,97	<0,001
A_p (cm ²)	$0,37\pm 0,05$	0,98	0,0002	0,9999	4543,7	99,98	<0,001
P_p (cm)	$2,49\pm 0,14$	0,97	0,0003	0,9992	2610,3	99,94	<0,001

(*) nível de significância de 5%

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Na Tabela 4.1 encontram-se também os parâmetros estatísticos calculados com auxílio do *software STATISTICA®*. Observa-se que o valor estimado para **b** (Equação 11), foi aproximadamente igual à unidade para todas as medidas, o que indica que os valores das determinações iniciais de diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, área projetada e do perímetro projetado foram, em média, iguais a 98%, 97%, 98%, 98% e 97%, respectivamente, dos valores de suas determinações replicadas.

A validade estatística do parâmetro **b**, em todas as medidas, é assegurada devido aos baixos valores de desvio-padrão, altos valores obtidos no Teste-t e pelo alto índice de variância explicada, que mostra a percentagem de validade dos dados obtidos pelo modelo estatístico.

O nível de significância (chance de erro) desta análise estatística é de 5%, portanto o valor P menor que 0,05 possibilita assegurar a validade do parâmetro **b** com no mínimo 95% de confiança.

De acordo com estes resultados, considerou-se que as determinações destas propriedades físicas das sementes foram reprodutíveis.

Os dados das dimensões das sementes como comprimento (L), espessura (T') e largura (W) (Figura 3.1) obtidos com o auxílio do micrômetro estão reunidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Dados das dimensões das sementes via micrômetro digital*.

Dimensão	Média	Parâmetro b (Eq.11)	Desvio-padrão	Coefficiente de correlação	Teste -t	Variância Explicada (%)	P-valor
W (cm)	0,58±0,34	0,9981	0,0017	0,9912	577,0	98,25	<0,001
T' (cm)	0,50±0,50	0,9959	0,0016	0,9964	614,3	99,28	<0,001
L (cm)	0,77±0,43	0,9985	0,0012	0,9960	769,8	99,21	<0,001

(*) nível de significância de 5%

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Na Tabela 4.2 o valor estimado para o parâmetro **b** (Equação 11), próximo à unidade para todas as medidas, indica que os valores das determinações iniciais das medidas de L, T' e W, em média são em torno de 99% dos valores das determinações replicadas.

A validade estatística do parâmetro **b** é assegurada pelos baixos valores de desvio-padrão e altos valores de teste t. A percentagem de validade dos pontos, demonstrada pelo índice de variância explicada, não foi inferior a 98,25%.

O nível de significância das análises foi de 5%, portanto o valor de P menor que 0,05 possibilita assegurar a validade de **b** com no mínimo 95% de confiança. O que permite concluir que as medidas de L, T' e W foram reprodutíveis.

Desta forma, a partir das medidas de L e W, apresentadas na Tabela 4.2, podem ser confirmados os resultados dos diâmetros máximo e mínimo obtidos por meio do analisador de imagens *Image Pro Plus*® (Tabela 4.1). Com isto, tem-se que o método de análise de imagens também é adequado para as determinações destas dimensões das sementes de *M. fistulífera*.

Apenas com o intuito de comparação, uma vez que não foram encontrados valores de largura e comprimento para as sementes de *M. fistulífera* na literatura consultada, observa-se que estes são próximos aos valores encontrados para as sementes de *Sapium glandulosum*, da mesma família das *Euphorbiaceae* (Coutinho et al., 2010).

A partir dos dados apresentados na Tabela 4.1, calculou-se o fator de forma, a esfericidade, através da Equação 3 (PEÇANHA; MASSARANI, 1986), para a qual obteve-se o valor de $(0,75 \pm 0,01)$ para as sementes “*in natura*” de *M. fistulífera*.

Devido à escassez destas informações na literatura consultada, para efeito de comparação, este valor é próximo ao valor de esfericidade encontrado por Prado (2004) para as sementes de mamão papaya sem mucilagem, equivalente a aproximadamente 0,75.

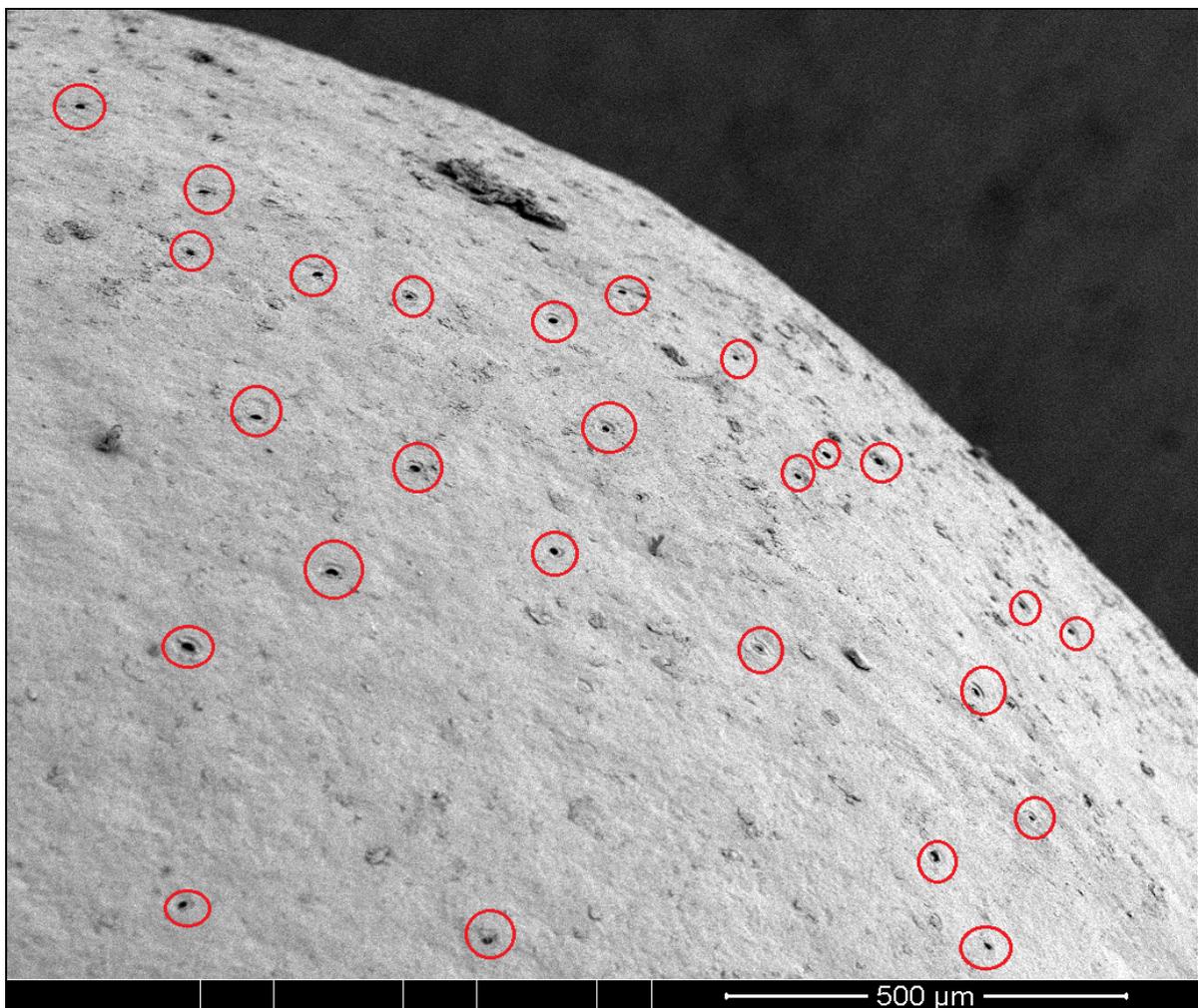
4.2.2 Caracterização física: massa específica

Na determinação da massa específica real obteve-se o valor médio de $(1,20 \pm 0,01)$ g/cm³. Já para a massa específica aparente, realizada através da picnometria líquida em hexano, obteve-se o valor de $(0,82 \pm 0,01)$ g/cm³.

Esta diferença entre as massas específicas real e aparente indicam a provável existência de poros nas partículas, que se mantiveram após o processo de secagem dos frutos, como pode ser observado no resultado típico mostrado na imagem da Figura 4.7, obtida por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Na Figura 4.7, as regiões assinaladas em vermelho indicam a presença dos poros.

Figura 4.7 – Micrografia de microscopia eletrônica de varredura da semente *in natura* ampliada 200X, indicando a presença de poros.

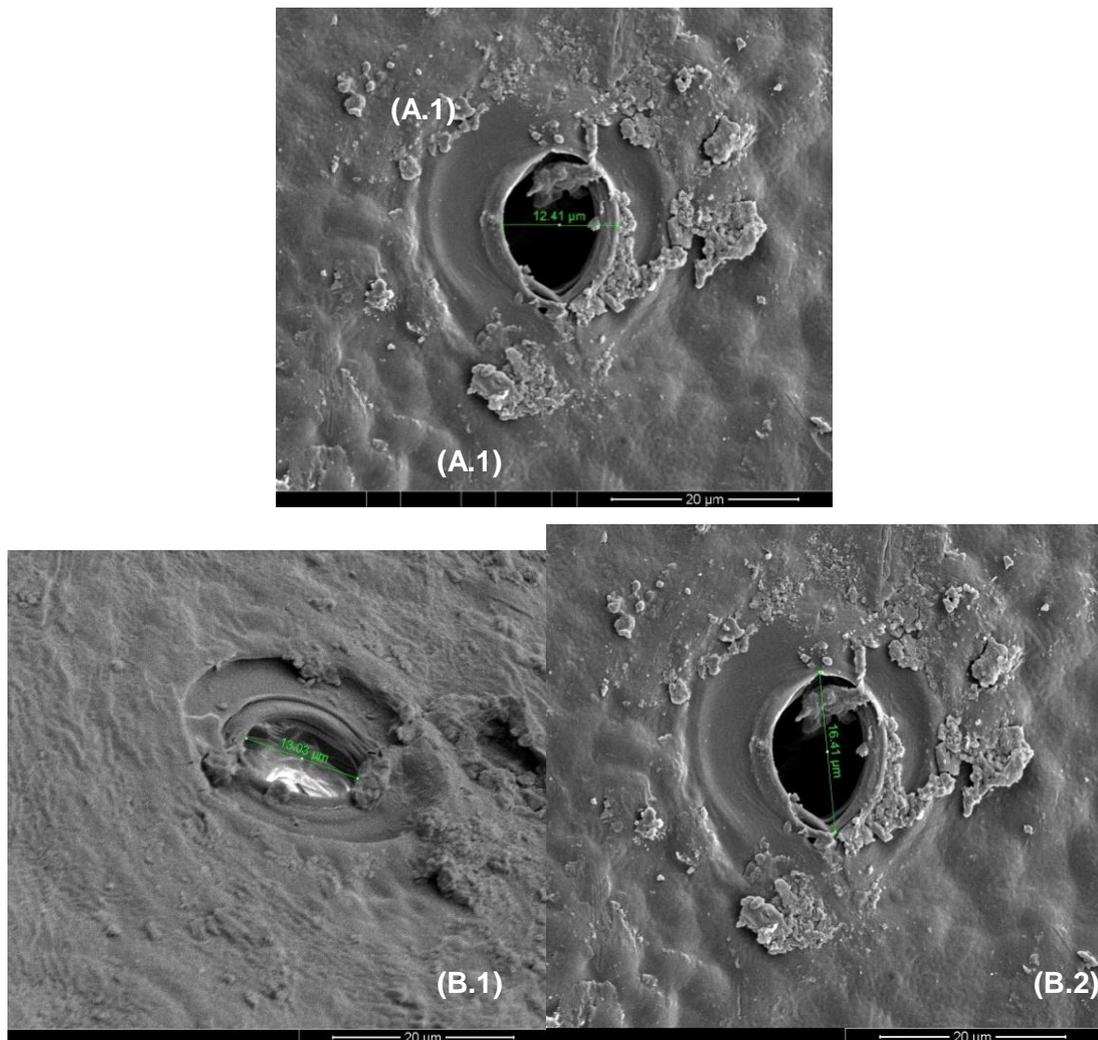


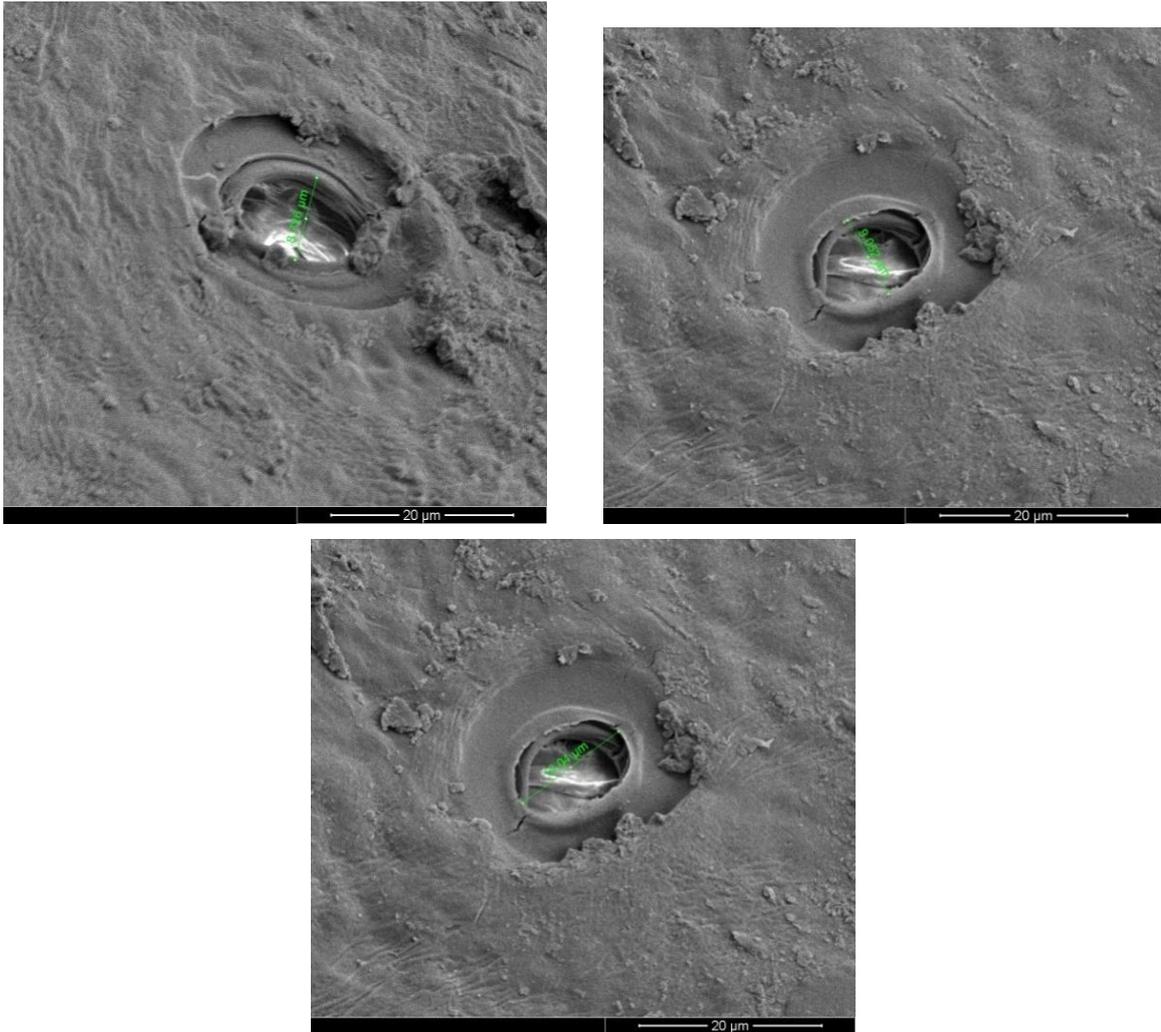
FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Em ampliações de até 5.000 vezes nas imagens obtidas do MEV, foi possível medir o tamanho aproximado de alguns poros, como mostra a Figura 4.8. De modo

que se encontrou um valor médio de $(14,16 \pm 1,95) \mu\text{m}$ para o diâmetro maior e $(10,04 \pm 2,04) \mu\text{m}$ para o diâmetro menor dos poros.

Figura 4-8 - Micrografias de microscopia eletrônica de varredura para a análise do tamanho dos poros aumentada 5.000X. (A.1) Poro 1 diâmetro menor. (A.2) Poro 1 diâmetro maior. (B.1) Poro 2 diâmetro menor. (B.2) Poro 2 diâmetro maior. (C.1) Poro 3 diâmetro menor. (C.2) Poro 3 diâmetro maior.





Logo, com base nas imagens das Figuras 4.7 e 4.8, a partir dos valores da massa específica real e aparente foi possível quantificar a porosidade média das sementes (Equação 9), com seus respectivos erros propagados, que foi de aproximadamente $(32\pm 1)\%$. Não foram encontrados na literatura consultada dados sobre a porosidade das sementes de *M. fistulifera*. Desta maneira, com o intuito de comparação com outra oleaginosa deiscente, observou-se que as sementes de *M. fistulifera* apresentaram valores aproximados aos determinados para as sementes de *Jatropha curcas* L. (Pinhão manso), que é em torno de 36,1% (FIRMINO et al., 2010).

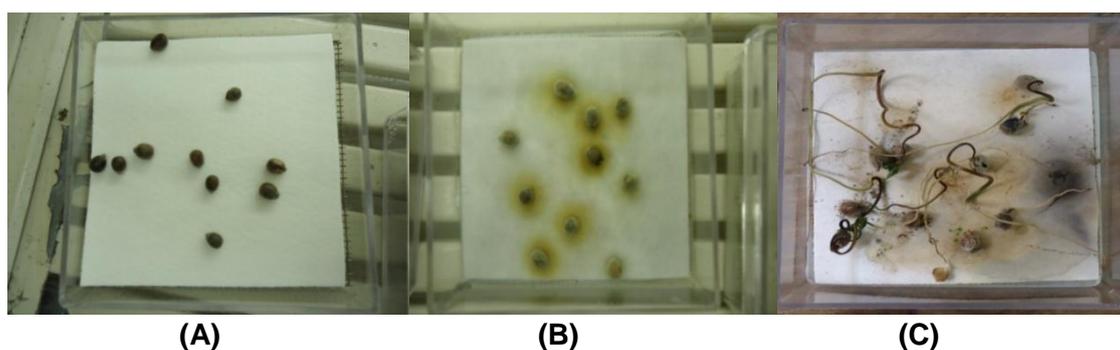
Depois de realizadas as caracterizações físicas de dimensão, forma e massa específica realizaram-se as determinações das propriedades fisiológica e química das sementes.

4.2.3 Caracterização fisiológica: testes de germinação

A *M. fistulífera* é uma espécie nativa pouco conhecida, deste modo, a fim de se obter informações sobre a sua capacidade de recomposição fisiológica realizaram-se, primeiramente, os testes padrão de germinação (TPG) em Germibox®, ou seja, através do método indireto. Porém, as sementes submetidas a este teste de germinação não estimularam o desenvolvimento foliar nem radicular. Observou-se que, após uma semana do início dos testes de germinação em Germibox®, houve a ocorrência de fungos nas amostras, o que provavelmente inviabilizou o desenvolvimento dos embriões.

Um dos prováveis motivos para esta ocorrência deve-se ao alto teor de água na vizinhança das partículas considerando que esta espécie é nativa de regiões com exposição direta de luz (LORENZI, 2007). Assim, novos testes TPG foram realizados regulando-se a quantidade de água presente nas amostras, de modo que, pequenas quantidades de água eram adicionadas durante as quatro semanas de duração dos testes. Neste período, realizou-se o acompanhamento do desenvolvimento das sementes, como mostra o resultado típico da Figura 4.9.

Figura 4.9 – Estágios de germinação das sementes via método indireto. (A) Início do teste de germinação. (B) Uma semana após o início do teste. (C) 30 dias após o início do teste.



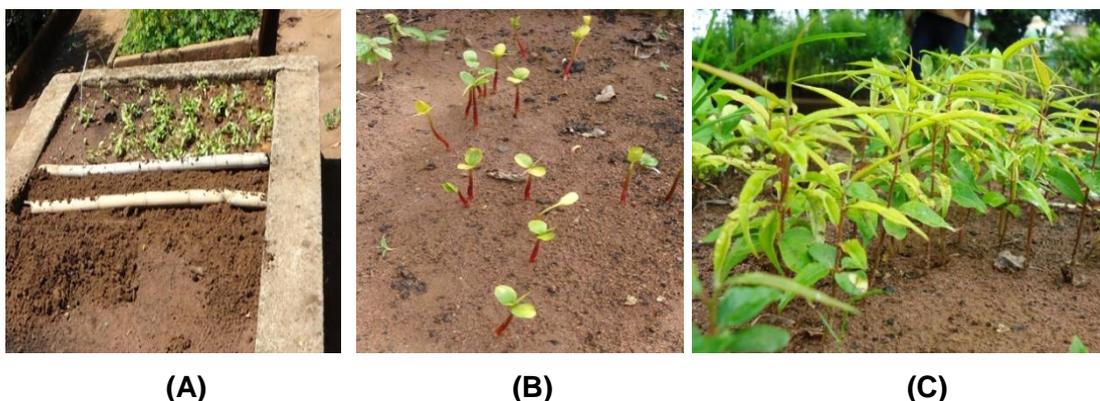
FONTE: Acervo pessoal, 2012.

A Figura 4.9 (A) mostra o início do teste de germinação sem a umidificação do papel toalha (ELEOTEST®), apenas com uma pequena quantidade de água no fundo do Germibox®. Após uma semana do início do teste de germinação via método indireto as sementes também apresentaram regiões com crescimento de fungos, Figura 4.9 (B), mesmo em condições reguladas de umidade. Porém, na Figura 4.9 (C), nota-se que mesmo nestas condições, as sementes

apresentaram desenvolvimento radicular, a partir do qual se realizou a contagem das sementes germinadas obtendo-se um percentual de germinação de $(67,5 \pm 4,0\%)$.

Por outro lado, os testes de germinação conduzidos por meio do método direto apresentaram em torno de 62% de germinação e desenvolvimento normal dos embriões, conforme os resultados típicos mostrados na Figura 4.10.

Figura 4-10 - Estágios de germinação das sementes. (A) plantio das sementes, (B) 27 dias após o plantio e (C) 40 dias após a sementeira.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

A Figura 4.10 (A) mostra o canteiro do Horto Florestal Navarro de Andrade, onde as sementes de mamoninha-do-mato “*in natura*” foram semeadas. A Figura 4.10 (B) apresenta as mudas após 27 dias da sua sementeira e com a taxa de germinação de 46%. Depois de decorridos 40 dias do plantio, Figura 4.10 (C), 62% das sementes haviam germinado, isto resulta em uma velocidade de germinação média de $(1,5 \pm 0,1)$ sementes/dia. Este resultado já era esperado, pois segundo Lorenzi (2008), a taxa de germinação desta espécie é geralmente baixa.

Após 40 dias da sementeira, as mudas de *M.fistulífera* apresentavam aproximadamente 4 folhas por planta, com sistema radicular em torno de 7 cm e parte aérea em torno de 6 cm.

A partir dos resultados obtidos nos métodos indiretos e diretos de germinação constata-se que o desenvolvimento radicular das sementes de *M. fistulífera* ocorre entre 21 e 30 dias, assim como as sementes de Tapiá (*Alchomea triplinervia* (Sprengel) Mueller Argoviensis), família das *Europhorbiaceae* de frutos deiscentes, que ocorre entre 21 e 50 dias. Além do período de germinação das

sementes, estas espécies possuem índice de germinação, via método direto, aproximados sendo 67% para as sementes de *M. fistulífera* e 75% para as sementes de Tapiá (PARANÁ, 2013).

4.2.4 Caracterização química

Com base nas amostras enviadas para a análise das propriedades químicas na EMBRAPA, conforme já comentado, são apresentados Tabelas 4.3 e 4.4 os resultados típicos de matéria seca total (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA), lignina (LIG) e celulose (Cel).

Tabela 4.3 – Resultados típicos das propriedades químicas das sementes e cascas de *M. fistulífera* em relação à matéria seca.

Amostra		(%)MS	(%) MM	(%) PB	(%) FDA	(%) LIG	(%) Cel
Cascas	Valor Médio	98,74	2,23	6,37	41,96	11,21	30,44
	Desvio	1,67	0,06	0,05	0,69	0,66	1,29
Sementes	Valor Médio	82,93	2,98	19,03	26,00	16,53	9,24
	Desvio	0,11	0,08	0,78	0,40	1,58	1,20

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Tabela 4.4 – Resultados típicos dos macronutrientes presentes nas cascas e sementes de *M. fistulífera* em relação à matéria seca.

Amostra		Ca (g/Kg)	Mg (g/Kg)	P (g/Kg)	K (g/Kg)	S (g/Kg)
Cascas	Valor Médio	1,18	2,38	4,96	9,10	1,94
	Desvio	0,06	0,09	0,06	0,43	0,08
Sementes	Valor Médio	1,18	0,65	0,58	13,45	0,70
	Desvio	0,11	0,03	0,04	0,33	0,03

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Cada componente determinado e apresentado nas Tabelas 4.3 e 4.4 representam uma função na dieta alimentar animal. A fibra bruta, por exemplo, regula a passagem do alimento pelo trato intestinal, pois retarda a digestão o que permite a absorção dos nutrientes. A matéria seca estabelece o cálculo da dieta, já que o consumo do alimento pelos animais é expresso em kg de matéria seca/animal/dia. Já a proteína indica o valor energético do alimento (RODRIGUES, 2010).

Com base nos valores das Tabelas 4.3 e 4.4 pode-se constatar que as sementes de Mamoinha-do-mato são promissoras para constituir a dieta alimentar de animais, pois possuem grande capacidade protéica e a presença de fibra. Esta análise é possível, tendo em vista a relação dos constituintes de caroços de algodão, por exemplo, que possuem 90,78% de MS, 23,13% de PB e 35,27% de FDA (VALADARES Filho, 2002) e são comumente utilizados na formulação de farelos para alimentação de gado leiteiro (ABDALLA et al., 008).

Na Tabela 4.3 pode-se observar que as cascas dos frutos de *M. fistulífera* apresentam maior quantidade de matéria seca (MS), quando comparada a quantidade apresentada pelas sementes. Entre diversos fatores, isto se verifica provavelmente devido à redução de umidade ocorrida durante os processos de secagem aos quais os frutos foram submetidos para a extração das sementes. Podendo ter causado mudanças nas características físicas da casca e o aumento do percentual de matéria seca.

Na Tabela 4.4 apresentam-se os valores obtidos para os macronutrientes cálcio, magnésio, fósforo, potássio e enxofre, tanto para as cascas quanto para as sementes. Os resultados obtidos para os macronutrientes analisados nas sementes diferem dos resultados encontrados na literatura consultada. Durigan et al. (2008) obtiveram os resultados de 2,55 de magnésio, 5,35 de fósforo, 8,78 de potássio e 2,54 de enxofre, em g/kg de matéria seca das sementes. Esta diferença nos resultados pode estar associada ao local de coleta dos frutos, uma vez que, para este estudo coletaram-se os frutos na região central do estado de São Paulo e o local de coleta escolhido por Durigan et al. (2008) foi a cidade de Castilhos, extremo oeste do estado de São Paulo. O que já era esperado, pois segundo Carvalho e Nakagawa (2000), frutos coletados em regiões e períodos diferentes podem apresentar características diferentes. No entanto, não foram encontrados dados na literatura consultada sobre a composição química das cascas dos frutos de *M. fistulífera*.

4.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RECOBRIMENTO

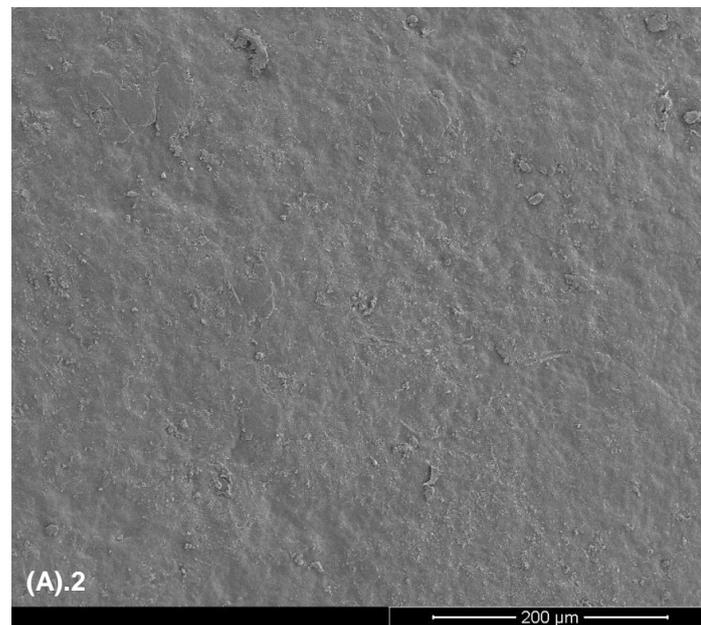
Neste item serão apresentados os resultados referentes à segunda etapa do trabalho, ou seja, do processo de recobrimento das sementes, desde o preparo da partícula até a aplicação do recobrimento no interior da panela rotatória.

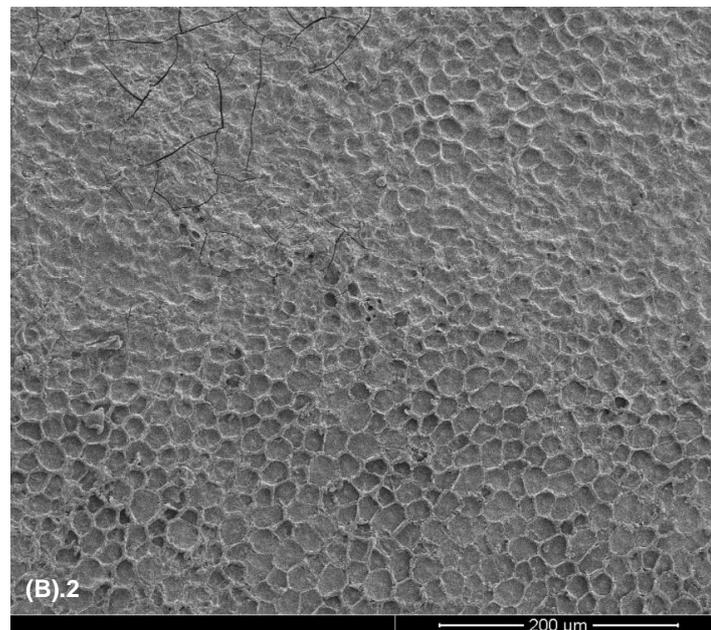
4.3.1 Avaliação do preparo da superfície das sementes

Durante a condução de testes preliminares de recobrimento com alginato de sódio, observou-se uma fraca adesão do gel à superfície das sementes, embora estas tivessem sido submetidas à etapa de reumidificação em solução saturada de cloreto de cálcio para a promoção da reação química. Desta forma, tendo em vista melhorar a aderência entre as sementes e o gel alginato de sódio, realizou-se a escarificação das sementes (Figura 4.13) visando ao aumento da rugosidade na superfície da partícula.

Nota-se na Figura 4.11 que a escarificação das sementes proporcionou o aumento da rugosidade na superfície das mesmas, conforme já era esperado. Esta mudança é observada tanto a olho nu quanto em imagens obtidas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Visualmente apenas se constata a remoção da camada superficial da semente, que Pozitano e Rocha (2011) denominam de cera, como pode ser verificado confrontando-se as Figuras 4.11 (A).1 e 4.11 (B).1. Nas imagens obtidas via MEV com aumento de até 500X, observa-se na semente escarificada a formação de “picos e vales”, Figura 4.11 (B).2, quando comparadas às sementes “*in natura*”, Figura 4.11 (A).1, efeito provocado pela ação do ácido sulfúrico (SOUZA et al., 2007).

Figura 4.11 – Imagens das superfícies das sementes. (A).1 sementes "in natura" à olho nu. (A).2 semente "in natura" com aumento de 500X. (B).1 semente escarificada à olho nu. (B).2 semente escarificada com aumento de 500X.



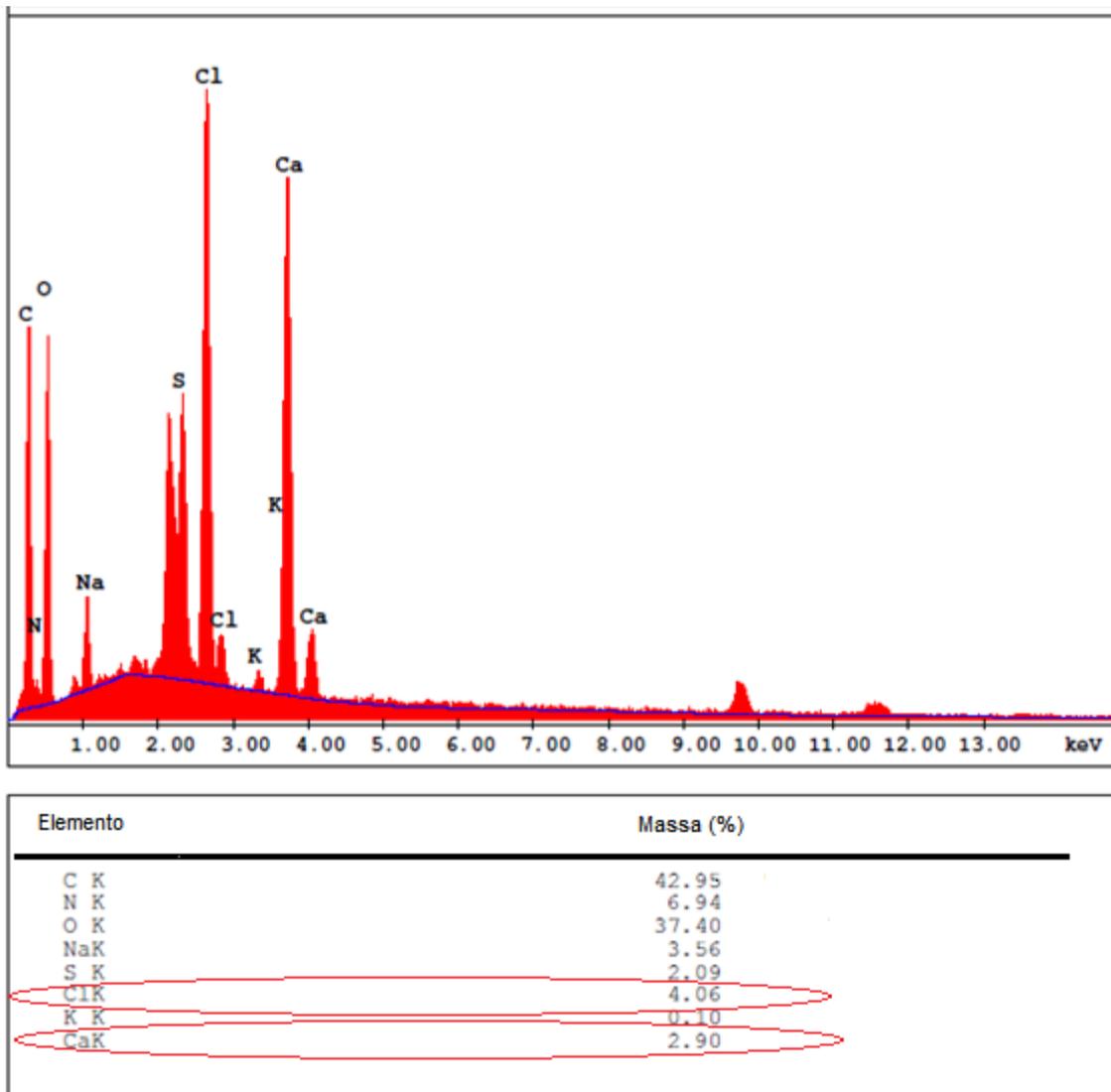


FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Segundo Gay (2002), quando o material adesivo é flexível, a rugosidade na superfície do substrato, neste caso as sementes, pode aumentar a energia na interface. Isto porque, provavelmente pequenas bolhas de ar podem ter sido presas na interface durante o contato entre a semente e a cobertura, na região denominada vale (Figura 2.7), e causar o efeito de sucção em consequência da tração na camada de recobrimento, deste modo, o contato entre a semente e o material de cobertura se estenderá do pico ao vale, formando um filme de cobertura na partícula.

Além de aumentar a interação entre o agente de cobertura e as partículas, a escarificação também auxiliou na adsorção da solução de cloreto de cálcio na superfície das sementes, pois uma vez desgastado o tegumento, uma maior permeabilidade da solução foi obtida. Isto pode ser verificado no resultado típico do espectro obtido através do MEV-DRX, apresentado na Figura 4.12.

Figura 4-12 - Espectro das sementes escarificadas submetidas à reumidificação em solução de cloreto de cálcio, obtido no MEV-DRX.

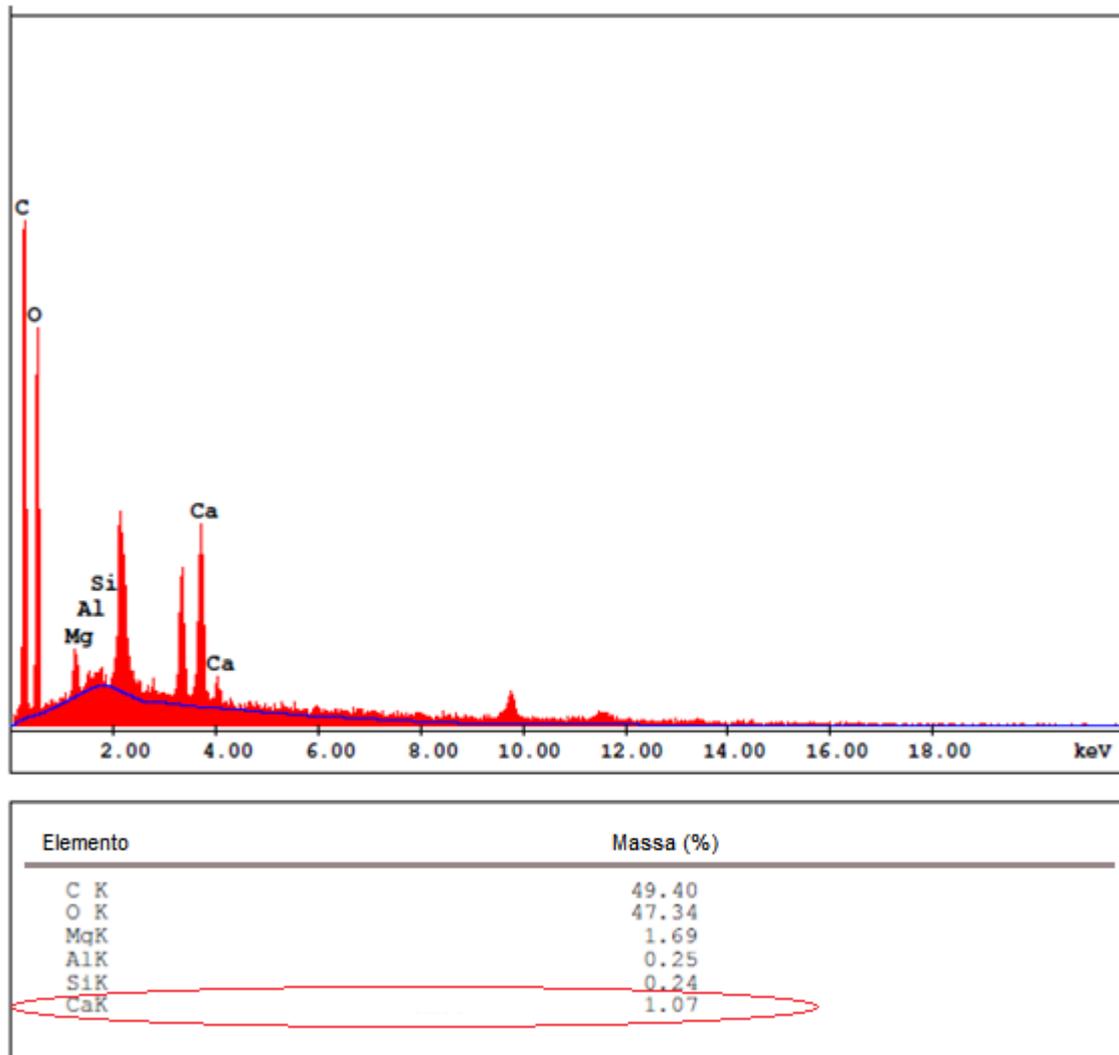


FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Nota-se no espectro apresentado na Figura 4.12, a presença dos elementos de cálcio e cloro aproximadamente na mesma proporção em que se apresentam na solução de reumidificação, na proporção de 2:1, ou seja, dois cloros para um cálcio (CaCl_2). Porém, não se observa o mesmo no espectro obtido via

MEV-DRX, das sementes "*in natura*" submetidas à reumidificação, como mostra o resultado típico apresentado na Figura 4.13.

Figura 4-13 - Espectro das sementes "*in natura*" submetidas à reumidificação em solução de cloreto de cálcio, obtido no MEV- DRX.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

No espectro apresentado na Figura 4.13, verificou-se a presença de cálcio, possivelmente proveniente de impurezas, mas não se observou a presença do elemento cloro. Logo, tem-se que a solução não foi adsorvida pela semente no período utilizado para o processo de reumidificação usado neste estudo, que foi em torno de 48 horas. Desta maneira, justifica-se a não aderência do filme de revestimento nos testes preliminares, visto que a solução de cloreto de cálcio é a

responsável pela doação do cátion divalente para a geleificação do alginato de sódio.

Após a preparação da superfície das sementes os testes de recobrimento foram iniciados.

4.3.2 Revestimento das sementes

Verificou-se na etapa de revestimento, que o contato com o alginato de sódio era realizado com uma fração das amostras de sementes, como pode ser observado na foto típica da Figura 4.14. Porém, à medida que ocorre o movimento de rotação da panela rotatória e devido ao movimento de rotação das partículas entre si, todo o leito de sementes foi revestido.

Figura 4-14 - Sementes de *Mabea fistulífera* Mart. sendo revestidas com alginato no interior da drageadora, na condição operacional com o ângulo de inclinação de 35° e rotação da panela em 35 rpm.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Observa-se também a partir da Figura 4.14, a aderência do filme sobre as sementes escarificadas, de modo que o recobrimento das partículas ocorreu pela superposição de camadas do agente de cobertura. Porém, ao final do processo de recobrimento, na medida em que as sementes eram retiradas da panela rotatória, a camada de recobrimento se desprendia da superfície da partícula ao simples contato

com a colher utilizada para o recolhimento da amostra. O mesmo ocorreu no recobrimento de sementes de milho realizado por Pinto (2012), visto que o filme de revestimento não se manteve estável sobre a superfície das sementes.

Assim, visando à fixação do gel sobre a superfície das sementes, após a etapa de recobrimento com o alginato de sódio, adicionou-se como agente de fixação do filme o sal de glutamato monossódico, reagente muito utilizado na indústria de alimentos. Posteriormente, realizou-se uma nova adição do gel de cobertura, a fim de se obter sementes totalmente recobertas, como mostra o resultado típico na Figura 4.15.

Figura 4-15 - Sementes de *M. fistulífera* recobertas em drageadora em operação com ângulo de 25° e rotação de 25 rpm.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Com base na Figura 4.15, pode-se observar que o revestimento ocorreu sem a formação de aglomerados, o que segundo Costa (2011) minimiza os problemas existentes com a sementeira de várias sementes para se obter plantas saudáveis isoladas. Além disto, a partir dos resultados obtidos, a utilização do alginato de sódio para o recobrimento em drageadora torna-se promissora em relação às outras matrizes poliméricas, como o gel ágá, por exemplo. Isto porque para recobrir sementes de milho com o gel ágá, via drageadora, Cordeiro (2006) necessitou recorrer ao uso de equipamentos auxiliares na tentativa de evitar os aglomerados de sistemas semente-gel ágá.

Depois de recobertas, as sementes foram submetidas ao processo de cura da matriz polimérica via secagem em um secador Ohaus® de radiação infravermelho (IV), nas condições estabelecidas no item 3.5.3, obtendo-se aproximadamente 96% de sementes recobertas. Desta maneira, constata-se a viabilidade do processo de recobrimento das sementes “*in natura*” com mistura gel via drageadora.

Estabelecida a metodologia para o recobrimento das sementes “*in natura*” buscou-se avaliar as condições adequadas de velocidade de rotação e ângulo de inclinação da panela rotatória no processo de revestimento de sementes de *M. fistulífera*. Desta forma, a cada teste realizado segundo o planejamento experimental (Quadro 3.1), realizaram-se as pesagens das massas das sementes reumidificadas, do gel alginato e do sal glutamato monossódico antes de iniciar o processo de recobrimento e ao final deste pesaram-se a massa das sementes recobertas e a massa do alginato de sódio juntamente com o glutamato monossódico (ambos não aderidos às sementes). Assim, através da diferença entre as massas das sementes reumidificadas e das sementes recobertas, tem-se a quantidade de massa aderida sobre as partículas, adotada como a variável de resposta dos experimentos. As sementes oriundas dos testes de recobrimento foram armazenadas em embalagens hermeticamente fechadas, a fim de se avaliar os efeitos latentes do processo de recobrimento, como uma das etapas futuras sugeridas para a continuidade deste estudo.

Na Tabela 4.5 estão apresentadas as variáveis originais e codificadas, seus respectivos níveis e o valor da resposta obtida para o processo de recobrimento de sementes de *M. fistulífera* em drageadora, conforme o planejamento estatístico adotado neste trabalho.

A matriz de experimentos consta de 9 testes e 1 replicata para cada teste, totalizando 18 experimentos.

Tabela 4.5 – Matriz de experimentos e resultados das variáveis de resposta para o processo de recobrimento.

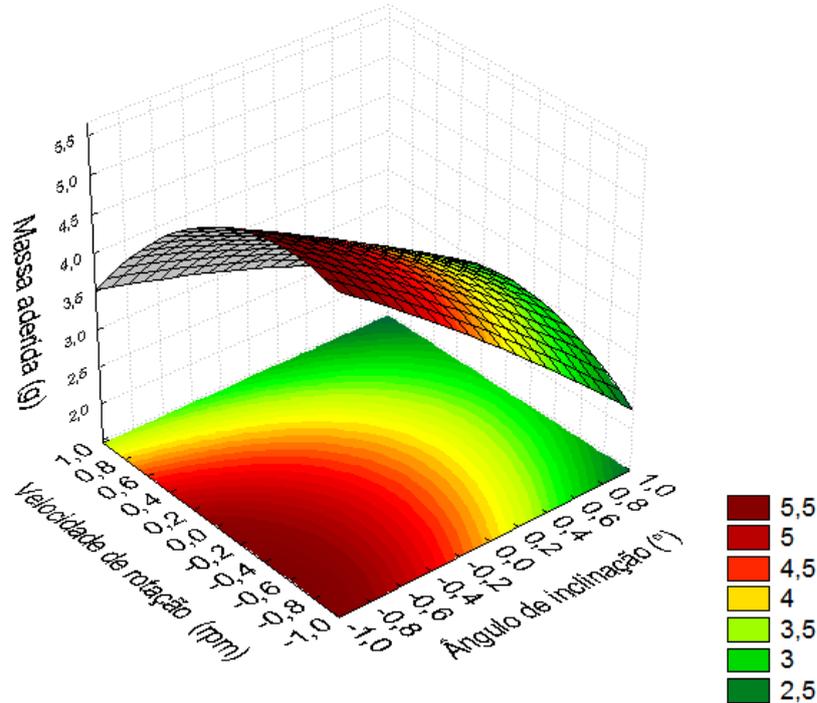
Experimentos	Variáveis codificadas		Variáveis originais		Variável de resposta
	X ₁	X ₂	Ângulo (°)	Rotação (rpm)	Massa aderida (g)
1	-1	-1	25	25	5,2024
2	-1	0	25	30	4,1849
3	-1	1	25	35	3,9537
4	0	-1	35	25	4,4130
5	0	0	35	30	3,4318
6	0	1	35	35	1,1741
7	1	-1	45	25	1,9204
8	1	0	45	30	4,2844
9	1	1	45	35	1,2358
10	-1	-1	25	25	6,0716
11	-1	0	25	30	5,6506
12	-1	1	25	35	3,7594
13	0	-1	35	25	4,1787
14	0	0	35	30	5,1252
15	0	1	35	35	4,2009
16	1	-1	45	25	1,9333
17	1	0	45	30	2,5460
18	1	1	45	35	2,9316

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Com os resultados obtidos na execução dos experimentos, realizou-se uma análise estatística, com o auxílio do aplicativo *STATISTICA*® 7.0, a partir da qual se avaliou a influência dos fatores e sua combinação no recobrimento das sementes, a um nível de significância de 5%.

Para analisar a dependência da variável de resposta em relação ao ângulo de inclinação e velocidade de rotação da panela rotatória apresenta-se a superfície de respostas na Figura 4.16.

Figura 4-16 - Superfície de respostas do processo de recobrimento de sementes de *M. fistulífera* via drageadora.



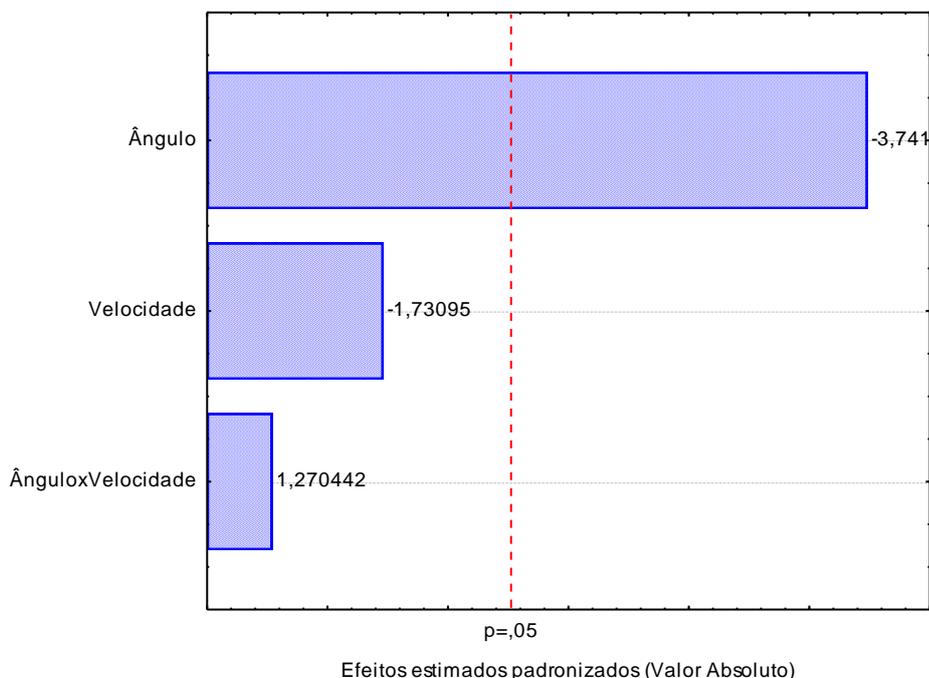
FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

A partir da superfície de respostas, Figura 4.16, pode-se observar que o maior valor de massa aderida ocorre quando o ângulo de inclinação e a velocidade de rotação da drageadora são deslocados para o nível mínimo. Para identificar qual variável independente exerce maior influência na resposta considerada foram avaliados quantitativamente os efeitos estimados e os respectivos desvios padrões, que podem ser representados pelo gráfico de barras ou diagrama de Pareto, mostrado na Figura 4.17.

Com base na Figura 4.17, observa-se que a velocidade de rotação exerce influência desprezível na quantidade de massa aderida sobre as partículas, pois seus efeitos estão localizados a esquerda da região de hipótese nula. O mesmo ocorre para a interação entre as variáveis ângulo e velocidade de rotação. Porém quando o ângulo é analisado separadamente, constata-se que este influencia na variável de resposta, uma vez que, seus efeitos estão localizados a direita da região de hipótese nula. Verifica-se que o ângulo exerce efeito negativo sobre a variável de resposta. Isto indica que a maximização da massa aderida deve ser alcançada deslocando-se o ângulo para o nível mais baixo do planejamento fatorial,

confirmando a análise feita anteriormente através da superfície de respostas, Figura 4.16.

Figura 4-17 - Diagrama de Pareto das variáveis analisadas no recobrimento das sementes de *M. fistulífera*.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Ao se analisar em conjunto as Figuras 4.18 e 4.19, verificam-se que as diferenças observadas nos resultados de recobrimento obtidos para cada experimento, Tabela 4.5, devem-se, segundo Oliveira (1992), principalmente, aos diferentes padrões de circulação das sementes na drageadora e as distribuições de velocidade, uma vez que, além da velocidade de rotação da mesma existe a velocidade de rotação das partículas entre si. Associado a isto, tem-se o crescimento e a geometria das sementes.

Deste modo, analisando-se a combinação entre o ângulo de inclinação e a velocidade de rotação da drageadora, que opera com estas variáveis a fim de alcançar a condição adequada de revestimento, constata-se que a maximização dos resultados é encontrada para o ângulo de 25° e a velocidade de 25rpm. Porém este resultado difere da literatura, uma vez que, Sahni et al. (2011) observaram que no ângulo de 32° e na rotação de 40 rpm foi possível obter um recobrimento mais uniforme de esferas de lactose com pigmento vermelho. Pinto et al. (2012) verificou

que para o revestimento de milho via reação entre alginato de sódio e cloreto de cálcio, baixas rotações apresentam menor índice de recobrimento. Cabe ressaltar que a geometria das partículas utilizadas por Sahni et al. (2011) e Pinto et al. (2012) não se aproximam da geometria das sementes de *M. fistulífera*, oblongas a obovóides, o que pode desta forma explicar os diferentes resultados, visto que, para cada caso a circulação e as distribuições das velocidades das partículas são diferentes. Demonstrando-se que o estudo deve ser realizado para cada caso específico de sementes.

Na avaliação das dimensões das sementes recobertas de *M. fistulífera* observa-se um aumento médio de $(6,5\pm 2,4)\%$ no diâmetro máximo das sementes e de $(8,3\pm 3,2)\%$ no diâmetro mínimo, quando comparadas às medidas das sementes sem recobrimento (Tabela 4.1).

As medidas referentes aos diâmetros das sementes recobertas encontram-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Resultados das dimensões e forma das sementes recobertas de acordo com o planejamento experimental utilizado.

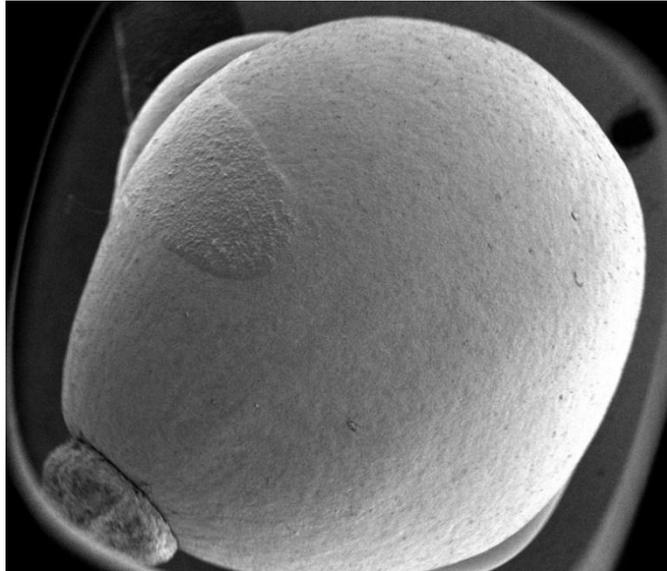
Ângulo(°)	Rotação (rpm)	D _{max} (cm)	D _{min} (cm)	Esfericidade
25	25	0,85±0,04	0,65±0,04	0,76±0,03
25	30	0,82±0,04	0,62±0,04	0,78±0,05
25	35	0,82±0,04	0,64±0,04	0,75±0,05
35	25	0,81±0,04	0,63±0,05	0,74±0,05
35	30	0,87±0,05	0,65±0,04	0,76±0,06
35	35	0,84±0,05	0,68±0,04	0,79±0,04
45	25	0,82±0,05	0,63±0,04	0,76±0,05
45	30	0,83±0,05	0,62±0,06	0,74±0,05
45	35	0,82±0,05	0,63±0,04	0,76±0,04

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

Na Tabela 4.6 também se apresentam os valores das esfericidades das sementes recobertas. A partir dos resultados reunidos nesta tabela, pode-se verificar que o recobrimento manteve aproximadamente a forma original das sementes, pois as sementes recobertas apresentaram valores de esfericidades próximos aos das sementes “*in natura*” ($0,75\pm 0,01$). De acordo com Oliveira (1992), isto indica que o padrão de circulação das sementes no interior da panela rotatória foi

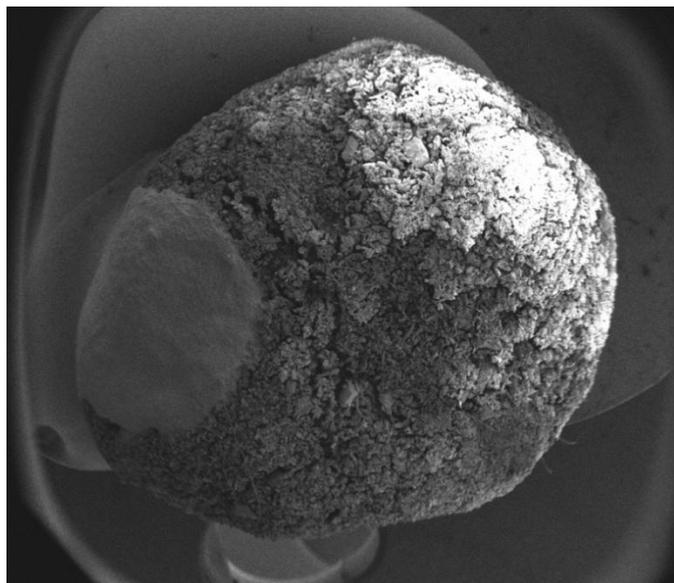
aproximadamente uniforme, o que possibilitou transferir para cada partícula camadas aproximadamente iguais de revestimento. Nas Figuras 4.18 e 4.19 encontram-se reunidas as imagens das sementes "in natura" e recoberta, respectivamente.

Figura 4-18 - Imagem da semente "in natura" obtida por MEV 43X.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Figura 4-19 - Imagem da semente recoberta obtida no MEV 43X.



FONTE: Acervo pessoal, 2012.

Com base na Figura 4.19, verifica-se que o revestimento ocorreu por granulação da suspensão de recobrimento. Tem-se também que a camada

depositada é porosa, característica típica deste tipo de revestimento, o que permite a recomposição fisiológica dos embriões (COSTA, 2010).

A partir dos resultados do revestimento das sementes foi possível determinar a eficiência do processo de revestimento em cada combinação de ângulo e velocidade de rotação da drageadora, de acordo com o planejamento experimental utilizado.

4.3.3 Avaliação da eficiência de revestimento

A Tabela 4.7 apresenta os resultados típicos obtidos na determinação da eficiência do processo de revestimento. A Tabela 4.7 também apresenta as variáveis originais e codificadas, seus respectivos níveis e o valor da resposta, neste caso, a eficiência do revestimento de sementes de *M. fistulífera* foi calculada através da Equação 8.

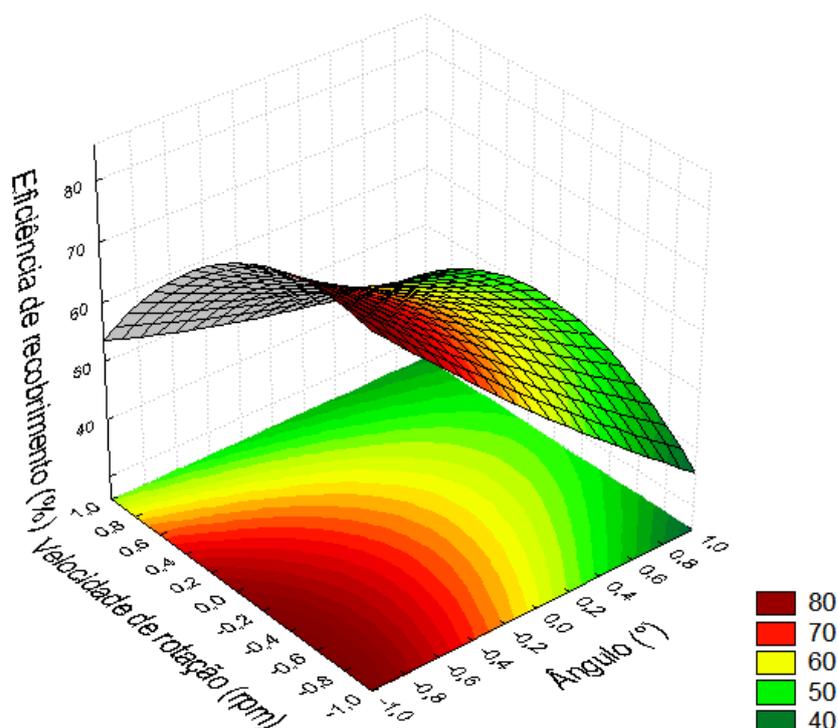
Tabela 4.7 – Resultados obtidos para a eficiência do processo de revestimento.

Experimentos	Variáveis codificadas		Variáveis originais		Variável de resposta Eficiência (%)
	X ₁	X ₂	Ângulo (°)	Rotação (rpm)	
1	-1	-1	25	25	92,70
2	-1	0	25	30	83,93
3	-1	1	25	35	59,03
4	0	-1	30	25	67,32
5	0	0	30	30	52,03
6	0	1	30	35	17,93
7	1	-1	35	25	30,67
8	1	0	35	30	39,24
9	1	1	35	35	60,63
10	-1	-1	25	25	79,91
11	-1	0	25	30	62,34
12	-1	1	25	35	59,62
13	0	-1	30	25	56,66
14	0	0	30	30	77,83
15	0	1	30	35	64,25
16	1	-1	35	25	30,88
17	1	0	35	30	73,55
18	1	1	35	35	19,66

FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4.7 e com o intuito de analisar as tendências da eficiência de recobrimento, apresenta-se a superfície de respostas, Figura 4.20.

Figura 4-20 - Superfície de respostas da eficiência do processo de recobrimento.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

A partir da superfície de respostas, Figura 4.20, pode-se observar que a eficiência de recobrimento atinge valores máximos nas condições operacionais em que as variáveis ângulo de inclinação e velocidade de rotação da panela rotatória são deslocadas para os níveis mais baixos.

Este resultado já era esperado, uma vez que, para o cálculo da eficiência utiliza-se indiretamente a massa de recobrimento aderida sobre as partículas. Desta forma, verifica-se que a eficiência do processo de recobrimento também está diretamente relacionada à circulação das sementes no leito de sementes e às distribuições de velocidade.

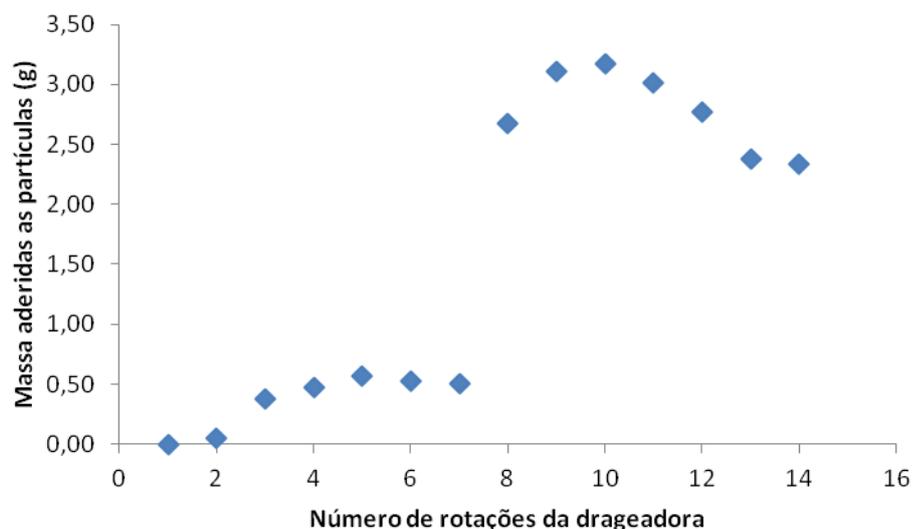
4.3.4 Avaliação do crescimento das partículas

Com base nas análises realizadas por meio da superfície de respostas, em que os valores máximos de massa aderida e eficiência de recobrimento são obtidos nos níveis mais baixos de velocidade e ângulo de inclinação da panela utilizados, escolheu-se para a realização dos testes de crescimento das partículas os níveis mais baixos das variáveis independentes do planejamento experimental. Assim, utilizou-se o ângulo de inclinação de 25° e velocidade de rotação da drageadora de 25 rpm para a condução dos experimentos.

A Figura 4.21 apresenta o resultado típico da quantidade de massa aderida na superfície da semente em função da rotação da panela rotatória.

Observa-se a partir da Figura 4.21, que o primeiro estágio do revestimento apresenta comportamento crescente de aumento de massa, ou seja, é uma etapa de superposição de camadas (OLIVEIRA, 1992), tendendo a se manter contínuo. Após a aplicação do glutamato monossódico, verifica-se que ocorreu uma descontinuidade na curva de crescimento provocada pelo aumento da massa aderida. Isto indica a imediata fixação do glutamato monossódico sobre a superfície das sementes, o que demonstra a aplicação deste sal como agente fixador do recobrimento via alginato de sódio, e caracteriza o segundo estágio do recobrimento. Nesta etapa, verifica-se inicialmente um período crescente com valor máximo de massa aderida sobre a partícula na condição operacional de aproximadamente 10 rotações da panela. Em seguida, a curva apresenta um período decrescente, o que demonstra a perda de massa das partículas. Isto pode ocorrer, segundo Oliveira e Freire (1992) e Pinto (2012), devido à quebra da partícula, por demolição ou pela abrasão que ocasiona desgastes das partículas, por exemplo.

Figura 4-21 – Representação da massa aderida sobre as partículas durante o recobrimento.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2012.

A partir da Figura 4.21 também se verifica que o período decrescente prolonga-se até a condição em que foram realizadas em torno de 12 rotações da panela rotatória, visto que posteriormente constata-se uma tendência a se manter constante a massa aderida.

Como comentado anteriormente, a maior quantidade de massa aderida ocorre ao se realizar aproximadamente 10 rotações na drageadora, isto corresponde ao tempo de aproximadamente 24 segundos. Desta forma, determina-se o tempo apropriado de permanência das sementes de *M. fistulifera* no interior da panela, na condição operacional de 25° para o ângulo de inclinação e 25 rpm para a velocidade de rotação.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e discutidos, a respeito do processo de secagem do fruto para a extração das sementes e do processo de recobrimento, nas condições utilizadas neste estudo, apresentam-se as conclusões a seguir.

A coleta dos frutos de *Mabea fistulífera* procedeu-se de forma adequada, uma vez que foram obtidos frutos com maturidade fisiológica e de boa qualidade, que permitiram a extração das sementes através de diferentes métodos de secagem dos frutos.

Demonstrou-se que os métodos avaliados para a extração das sementes foram adequados, pois foi possível obter sementes de boa qualidade. Dentre os métodos avaliados o processo de secagem via drageadora foi o que apresentou a maior velocidade de abertura do epicarpo em comparação aos processos de secagem via radiação solar, convecção forçada e convecção natural.

As metodologias utilizadas para as determinações das propriedades físicas foram adequadas para este tipo de semente, com base na análise estatística adotada. Os valores dos diâmetros e de esfericidade confirmaram a forma das sementes, oblongas a obovóides, típica do gênero *Mabea*.

A partir das características químicas avaliadas verificou-se que a *M. fistulífera* é promissora para o fornecimento de matéria-prima para a alimentação animal.

As diferenças entre as massas específicas real e aparente indicaram a presença de poros nas sementes secas, comprovado via análise por meio de microscopia eletrônica de varredura, com porosidade em torno de 32%.

Constatou-se que os diferentes métodos de secagem utilizados na extração das sementes dos frutos capsulares, garantiram a recomposição fisiológica dos embriões para a formação de novas plântulas.

Tendo em vista o valor de umidade das sementes, em torno de 7% b.u., oriundas dos métodos de extração via secagem dos frutos, e os resultados obtidos a partir dos testes de germinação, constatou-se que as sementes de *M. fistulífera* são sementes ortodoxas.

Verificou-se que a escarificação química das sementes “*in natura*” pode aumentar a rugosidade na superfície da partícula, favorecendo o processo de recobrimento.

Demonstrou-se que para recobrir sementes de *M. fistulífera* em drageadora é necessário aumentar a rugosidade na superfície da partícula, o que auxilia a adsorção da solução de cloreto de cálcio, para posteriormente realizar a aplicação do gel, promovendo a reação de simples troca na superfície das sementes, e fixar o filme formado com a adição de glutamato monossódico.

Mostrou-se a possibilidade de utilização do sal glutamato monossódico como agente de fixação do recobrimento sobre as superfícies das sementes.

A aplicação de recobrimento na superfície da semente de *M. fistulífera* no interior da panela giratória padrão ocorreu sem a necessidade de utilização de equipamentos auxiliares, mas sim devido ao movimento característico das partículas no interior deste equipamento.

Dentre as variáveis independentes avaliadas no recobrimento, de acordo com o planejamento experimental utilizado, o ângulo de inclinação do eixo da drageadora exerceu maior influência sobre o revestimento das sementes, pois interferiu diretamente na circulação das sementes no interior da panela rotatória.

A partir da análise da superfície de repostas foi possível constatar que os níveis mais baixos da variável ângulo promovem maior quantidade de massa aderida sobre a partícula, uma vez que, no ângulo de 25° observou-se maior eficiência do processo de recobrimento.

Nos experimentos de crescimento das partículas foi possível obter o tempo necessário para o recobrimento de sementes de *M. fistulífera* nas condições operacionais pré-estabelecidas.

Finalmente, demonstrou-se a possibilidade de beneficiamento de sementes pioneiras de *M. fistulífera* através de diferentes métodos de secagem, para a extração das sementes, e posterior aplicação do recobrimento no interior da panela rotatória, de modo que este se manteve fixo na superfície das sementes. Desta forma, possibilitando o armazenamento das sementes recobertas de forma segura.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista a continuidade sobre os estudos do processo de recobrimento de sementes silvestres, via panela giratória, sugerem-se:

a) a partir das informações do processo de recobrimento obtidas neste trabalho, estudar o processo em unidades de maior escala, visando ao aproveitamento da matéria prima em termos comerciais e industriais;

b) verificar a influência da umidade e foto período sobre a germinação via método indireto das sementes de *Mabea fistulífera* Mart;

c) avaliar o movimento de rotação das partículas no interior da panela rotatória em cada ângulo de inclinação e velocidade de rotação da panela giratória;
e,

d) avaliar o efeito latente do recobrimento na preservação da viabilidade das sementes armazenadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, F. et al. Investigation of paper drying picking, web transfer and quality issues using a new web adhesion and drying simulator. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22(2), p. 217-225, 2005.

ALMEIDA, L. D. Efeitos de métodos de escarificação na germinação de sementes de cinco leguminosas forrageiras. **Revista Científica do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 38, n. 9, p. 83-96, 1979.

ANDRADE, J.; SANQUETTA, C.R.; UGAYA, C. **Identificação de áreas prioritárias para recuperação da Mata Ciliar na UHE Salto do Caxias**. Paraná, 2005. 8 p. Relatório técnico.

AOAC. **Official Methods of Analysis**. Arlington – USA, 1995. 16th Ed.

ARNOSTI Júnior, S. **Desenvolvimento de um Secador Transportador do Tipo Esteira com Escoamento Cruzado e Caracterização de Sementes de Gramíneas**. 1997. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.

ARNOSTI Júnior, S.; FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. Analysis of shrinkage phenomenon in *Brachiaria brizantha* seeds. **Drying Technology**. v.18, n.6, p. 1339-1348, 2000.

ARRIECHE, L. S. **Evolução da forma e encolhimento de um sistema gel durante a secagem por convecção forçada**. 2003. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

ARRIECHE, L. S.; PICELLI, R. M.; SARTORI, D. J. M. Drying and characterization of pioneer arboreal seeds, In: International Drying Symposium, 17., 2010, Magdeburg. **Anais do Proceedings of the 17th International Drying Symposium**, Magdeburg, 2010, v. B, p. 883-889.

ASSUMPÇÃO, C. T. *Cebus apella* and *Brachyteles arachnoides* (Cebidae) as potential pollinators of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae). **Journal of Mammalogy**, Lawrence, v.62, n.2, p. 386-388, 1981.

BARROZO, M. A. S. **Transferência de Calor e Massa entre o Ar e Sementes de Soja em leito Deslizante e Escoamentos Cruzados**. 1995. 163 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade federal de São Carlos, São Carlos, 1995.

BASTOS, G. Q.; NUNES, R. S.; CRUZ, G. M. R. Reavaliação de quebra de dormência em sementes de Algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC). **Revista Brasileira de sementes**, v.14, n.1, p. 17-20, 1992.

BLACK, M.; OBENDORF, R. L.; PRITCHARD, H. W. Damage and tolerance in retrospect and prospect. In: BLACK, M.; PRITCHARD, H. W. **Desiccation and survival in plants: drying without dying**. Wallingford: CABI, 2002. p. 367-382.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília – Distrito Federal, 2009. 406 p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and Storage of Grains and Oilseeds**, An AVI Book published by Van Nostrand Reinhold, New York, 450p., 1992.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J.. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CHANDRASEKAR, V.; VISVANATHAN, R. Physical and thermal properties of coffee. **Journal of Agricultural Engineering Research.**, v.73, p.227-234, 1999.

CORDEIRO, F. G. **Desenvolvimento de *Pennisetum glaucum* L. com cobertura polimérica**: revestimento, secagem, caracterização, fortificação e recomposição. Trabalho de graduação. 2006. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

CORDEIRO, I., SECCO, R. *Mabea*. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/index?mode=sv&group=Root_Angiospermas_&family=Root_Angiospermas_Euphorbiaceae_&genus=Mabea&species=&author=&common=&occurs=1®ion=&state=&phyto=&endemic=&origin=&vegetation=&last_level=subspecies&listopt=1>. Acesso em: setembro 2011.

CORRÊA, L. J. **Estudo da secagem de sementes de embaúba em leito fluidizado**. 2012. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

CORRÊA, L. J.; ARRIECHE, L. S.; SARTORI, D. J. **Evaluation of drying process in fluidized bed seed pioneer forest**. In: International drying symposium, 18. 2012, Xiemen – China. CD-ROM.

COSTA, C. M. L. **Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de Jambu em leito fluidizado**. 2010. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Área de Concentração de Engenharia de Processos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

DAUD, R. D.; FERES, R. J. F. The value of *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae), indigenous plant from Brazil, as reservoir for the predator *Euseius citrifolius* Denmark & Muma (Acari, Phytoseiidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 3, p. 453-458, 2004.

DUANGKHAMCHAN, W.; RONSSE, F.; DEWETTINCK, K.; PIETERS, J. G. CFD study of solids concentration in a fluidised-bed coater with variation of atomisation air pressure. **Powder Technology**, v. 212, n. 1, p. 103-114, 2011.

DONIDA, M. W. **Análise das influências das características do sólido e da suspensão no processo de recobrimento em leito de jorro**. 2004. 157 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Área de Concentração de Engenharia de processo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

DURIGAN, M. R. et al. Seleção simultânea para teor de macronutrientes em uma população natural de *Mabea fistulifera* Mart. In: **Congresso Brasileiro de Genética**, 54. 2008, Salvador – Bahia. **Resumos...** Disponível em: < <http://web2.sbg.org.br/congress/sbg2008/pdfs2008/25243.pdf>>. Acesso em: janeiro 2013.

DUTTA, S.K.; NEMA, V.K.; BHARDWAJ, R.K Physical properties of gram. **Journal of Agricultural Engeneering Research**, v. 39, p.259-268, 1988.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour? I. Coffee. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 41, n. 230, p. 1167-1174, 1990a.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour? II. Effects of provenance, immaturity, and imbibition on desiccationtolerance in coffee. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 238, p. 653-657, 1990b

FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artemd, 2004. 323p.

FERREIRA, M. M. P. **Desenvolvimento, caracterização e secagem de sementes com cobertura artificial**. 2003. 235 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

FIGLIOLIA, M.B.; OLIVEIRA, E. C.; PINÃ-RODRIGUES, F.C.M. **Sementes florestais tropicais**. Brasília - Distrito Federal: ABRATES, 1993. 38 p. Informativo.

FIRMINO, P. T. et al. Determinação das propriedades físicas de sementes de pinhão manso. In: Congresso Brasileiro de Mamona e Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 4. 1., 2010, João Pessoa – PB, 2010. **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 2025-2030 Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/858346/1/SEM50.pdf>>. Acesso em: novembro 2012.

FLORES, A. V. et al. **Tecnologia e comercialização de sementes florestais: aspectos gerais**. ABRATES, 2011. 6 p. Informativo.

FORZZA, R.C. et al. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB128482>>. Acesso em: setembro de 2011.

FUMAGALLI, F. **Estudo da secagem das sementes de Brachiaria brizantha**. 2007. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

GACESA, P. Alginates. **Carbohydrate Polymers**, v. 8, p. 161–182, 1988.

GAY, C. Stickiness: some fundamental of adhesion. **Integrative and Comparative Biology**, v. 42, p. 1023-1026, 2002.

GOMBOTZ, W.R.; WEE, S.F. Protein release from alginate matrices. **Advanced Drugs Delivery Reviews**, San Diego, v. 31, p. 267- 285, 1998.

GUPTA, R.K.; DAS, S.K. Physical properties of sunflower seeds. **Jounal Agricultural Engeneering Research**, v.66, p.1-8, 1997.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). International rules for seed testing. **Seed Science and Technology**, 2007. 68 p.

KALOYERAS, S. A. Rancidity as a factor in the loss of viability of pine and other seeds. **The Journal of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, v.35, p.176-179, 1958.

KAUFMAN, G. Seed Coating: A tool for stand establishment; a stimulus to seed quality. **Hort Technology**, v.1, p. 98-102, 1991.

KEBAUY, G. B. **Filosofia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogam, 2004. 452p.

KEEY, R. B. Theoretical foundation of drying technology. In: **Advances in Drying**. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. p 1-19.

KETTERHAGEN, W. R. Modeling the motion and orientation of various pharmaceutical tablet shapes in a film coating pan using DEM. **International Journal of Pharmaceutics**. 409(1-2):13, 2011.

LEES, R. **Analisis de los alimentos: métodos analíticos y de control de calidad**. 2. ed. Zaragoza: Editorial Acribia,1980. 287 p.

LIEW, C. V., CHAN, L. W., CHING, L. A., HENG, P. W. S. Evaluation of sodium alginate as drug release modifier in matrix tablets. **International Journal Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 309, p. 25-37, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v.1, 368p.

MARCOS Filho, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MARTINS, S.V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2001. 254 p.

MASSARANI, G.; TELLES, A. S. Aspectos da secagem de material sólido particulado. In: Freire, J. T. e Sartori, D. J. M. **Tópicos Especiais em Secagem**. São Carlos: Editora UFSCar, 1992. v.1, p. 1-39.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Operations of Chemical Engineering**. McGraw-Hill INC, 1993. 1028p.

McLACHLAN, J. Macroalgae (seaweeds): industrial resources and their utilization. **Plant Soil Science**, Scandinavica, v.89, p. 137–57, 1985.

MEDEIROS, A. C. S.; EIRA, M. T. S. **Comportamento fisiológico, secagem e armazenamento de sementes florestais nativas**. Colombo – Paraná: EMBRAPA, 2006. 13 p. Circular Técnica.

MOREIRA, R. et al. Mathematical modeling of the drying kinetics of chestnut (*Castanea sativa Mill*) – influence of the natural shells. **Food and Bioproducts Processing**, v. 4, n. 83, p. 306-314, 2005.

MUJUNDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 3. ed. Taylor & Francis Group, 1995.

NAKAGAWA, J. et al. Efeitos de adubos fosfatados e de métodos de aplicação na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 12, n.3, p. 28-39. 1990.

NERY, F. C. et al. Caracterização Morfológica e Química de Sementes de *Calophyllum brasiliense* Cambess. **Revista Brasileira de Biociências**. v. 5, supl. 2, p. 144-146, 2007.

NEWITT, D. M.; CONWAY-JONES, J.M. A contribution to theory and practice of granulation. **Transactions of the Institution Chemical Engineering**, v. 36, p. 422-442, 1958.

NITZ, M. **Fluidodinâmica, secagem e recobrimento em leito pulso-fluidizado**. 2006. 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Área de concentração de Engenharia de Processos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

NOGUEIRA, A. C.; MEDEIROS A. C. S. **Extração e beneficiamento de sementes florestais nativas**. Colombo – Paraná: Embrapa, 2007. 7 p. Circular Técnica.

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**, v. 18, n.1, p. 33-40, 1996.

NUNES, L. A. P. L. et al. Rebrotas de espécies arbóreas em fragmento florestal degradado por fogo em Viçosa, MG. In: Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira Recuperação de áreas Degradadas, 2002.

NUNES, R. V. et al. Composição química e valores energéticos do milho e da silagem de grãos úmidos de milho para aves. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.9, n.1, p. 82-90, 2008.

OLIVEIRA, W.P.; FREIRE, J.T. Aspectos tecnológicos dos processos de recobrimento de partículas. In: Freire, J.T e Sartori, D.J.M. **Tópicos Especiais de Secagem**. São Carlos: Editora UFSCar, 2003. v. 1, p. 211-251.

OVERHULTS, D.G. et al. Drying soybeans with heated air. In: **Transactions of the ASAE**, 1973. p. 112-113.

PARANÁ, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ. **Conheça melhor algumas espécies florestais nativas do Paraná**. Disponível em: <http://www.mataciliar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=9>>. Acesso em: abril 2013.

PARK, K. J. et al. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2007. 121 p.

PEREIRA, A. V. **Caracterização e secagem de sementes de painço**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

PEREIRA, F. E. A. **Biodiesel produzido a partir do óleo de sementes de *Mabea fistulifera* Mart.** 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

PICELLI, R. M.; ARRIECHE, L.S.; SARTORI, D.J.M. . Secagem de sementes arbóreas pioneiras em leito fluidizado. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, n. 34, 2010, Campinas. **Anais do XXXIV ENEMP**. São Carlos: Cubo Multimídia, 2010.

PINTO, A. P. O. P. **Revestimento artificial de sementes com matriz biodegradável**. 2013. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2013.

PINTO, A. P. O. P.; PRADO, M. M; SARTORI, D. J. M. Comparative analysis of seed coating techniques to improve germination and seedling stablishment of millet. In: International Drying Symposium, 18., 2012, Xiamen – China. **CD-ROM**.

POZITANO, M.; ROCHA, S. C. S. Caracterização física e germinação de sementes de *Senna macranthera*. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina, v. 33, n. 4, 2011.

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: Latin American Congress in Heat and Mass Transfer, 9., 2002, San Juan - Puerto Rico. **Anais...** San Juan: UPRM, 2002. v.1.

PRADO, M. M. **Secagem em leito fixo de sementes com mucilagem**. 2004. 162 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

PRADO, M. M.; FERREIRA, M. M. P.; SARTORI, D. J. M. Drying of seeds and gels. **Drying Technology**, v. 24, p. 281-292, 2006.

PRADO, M.M.; CORDEIRO, F.G.; SARTORI, D.J.M.. Effects of different agar-based polymeric matrices on shrinkage and structural changes. In: International drying symposium, 15., 2006, Budapeste. **CD-ROM**.

RAGHAVAN, G.S.V. et al. Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. **Braz. Journal of Chemical Engineering**, v. 22(2), p. 195-201, 2005.

REGO, S.S. **Tolerância à desidratação e armazenamento de sementes de *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) Berg. E *Casearia decandra* Jacq.** 2012. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012

REIS, C. et al. Avaliação preliminar do óleo da semente de *Mabea fistulifera* Mart. (canudo-de-pito) para a produção de biodiesel. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2., 2005, Varginha – São Paulo. **Anais...** v. 1. p. 2005. p 734-738.

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

ROCHA, S. C. S.; TARANTO, O. P. Fluidodinâmica do leito de jorro bi-dimensional para partículas não esféricas. In: **Anais** do Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 9., 1992, Salvador, Bahia.

RUMPF, H. **Particle Adhesion**. In: Agglomeration 77, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, 1977. p 97 – 129.

SAHNI, E.; YAU, R.; CHAUDHURI, B. Understanding granular mixing to enhance coating performance in a pan coater: Experiments and simulations. **Powder Technology**, v. 205, p. 231-241, 2011.

SANTOS, T.O.; MORAIS, T.G.O.; MATOS, V.P. Escarificação mecânica em sementes de Chichá (*Sterculia foetida* L.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 1-6, 2004.

SÁTIRO, L. N. et al. A família Euphorbiaceae nas caatingas arenosas do médio rio São Francisco, BA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 99-118, 2008.

SEIFFERT, N. F. **Métodos de escarificação de sementes de leguminosas forrageiras tropicais**. Campo Grande – Mato Grosso do Sul: EMBRAPA, 1982, n. 13. Comunicado técnico.

SENA, C. M. de; GARIGLIO, M. A. **Sementes florestais: colheita, beneficiamento e armazenamento**. Natal: MMA/Secretaria de Biodiversidade e Florestas - Departamento de Florestas - Programa Nacional de Florestas - Unidade de Apoio ao PNF no Nordeste, 2008. 28p.

SILVA, L. D.; HIGA, A. R. Planejamento e implantação de pomares de sementes de espécies florestais nativas. In: HIGA, A. R.; SILVA, L. D. **Pomar de sementes de espécies florestais nativas**. Curitiba: FUPEF, 2006. p. 13–39.

SHAH, Y. T.; PORTER, J. H. A model for gel drying. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 17, p. 605-618, 1973.

SILVA, A. da; FIGLIOLIA, M. B.; AGUIAR, I. B. de. Secagem, extração e beneficiamento de sementes. In: AGUIAR, I. B. de; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SINGH, K.K.; GOSWAMI, T.K. Thermal properties of cumin seed. **Journal of Food Engineering**, v. 45, p. 181-187, 2000.

SOKHANSANJ, S.; LANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 63, p.129-136, 1996.

SOUZA, E. R. B. et al. Efeito de métodos de escarificação do tegumento em sementes de *leucaena diversifolia* L. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37(3), p. 142-146, 2007

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**. Montroux: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. v. 3, 448 p.

SUTHAR, S.H.; DAS, S.K. Some physical properties of karingda [*Citrullus lanatus* (Thumb) Mansf] seeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 65, p.15-22, 1996.

TANG, J.; SOKHANSANJ, S. Geometric changes in lentil seeds caused by drying. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 56, p.313-326, 1993.

TARANTO, O.P.; ROCHA, S.C.S.; RAGHAVAN, G.S.V. Convective heat transfer during coating of tablets in two-dimensional spouted bed. **Drying Technology**, v. 15, n. 6-8, p. 1909-1918, 1997.

TARANTO, O.P.; ROCHA, S.C.S.; RAGHAVAN, G.S.V. Recobrimento de partículas em leito de jorro bi-dimensional: crescimento e coeficiente de transferência de calor gás-partícula. **Anais...** Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 24., 1996, Uberlândia. v.1, p. 93-98.

TOBISKA, S.; KLEINEBUDDE, P. Coating uniformity and coating efficiency in a Bohle Lab-Coater using oval tablets. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 56, p. 3-9, 2003.

TOBISKA, S.; KLEINEBUDDE, P. A simple method for evaluating the mixing efficiency of a new type of pan coater. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 224, p. 141 – 149, 2001.

TYKHONIUK, R. et al. Ultrafine cohesive powders: from interparticle contacts to continuum behavior. **Chemical Engineering**, v. 62, p 2843-2864, 2007.

VALADARES Filho, S. C.; ROCHA Júnior, V. R.; CAPPELLE, E. R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. CQBAL 2.0. Viçosa: Suprema, 2002, 297p.

VALLILO, M. I. et al. Caracterização química parcial das sementes de *Lecythis pisonis* Camb. (SAPUCAIA). **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 131-140, 1998

VIEIRA, G. N.; Metodologia para a determinação entre propriedades físicas de grãos com a umidade: aplicação para linhaça. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS**, 306., 2011, Vassouras. **Anais...Vassouras-RJ: UFRRJ**, 2011.

VIEIRA, M. F.; CARVALHO-OKANO, R. M. Pollination biology of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae) in southeastern Brazil. **Biotropica**, Washington, v.28, n.1, p. 61-68, 1996.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; Diagnósticos e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: Reunião Temática Matérias-Primas Oleoginosas no Brasil: Diagnóstico, Perspectiva e Prioridades de Pesquisa, 1997. Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa – CNPA/MAA/ABIOVE, p 139-150. (Embrapa – CNPA. Documentos, 63).

WELCH,G.B. **Exercícios práticos sobre equipamentos de beneficiamento de sementes**. Sergio Renato F. Fagundes (Trad.). Brasília: Ministério da Agricultura, 1976. 104 p.

WOOD, D. W.; LONDGEN, P. C.; SCOTT, R. K. Seed size variation its extent, source and significance in field crops. **Seed Science and Technology**, Zurich., v.5., n.2., p.337-352. 1977.

ZHANG, F. J.; CHENG, G. X.; YING, X. G. Emulsion and macromolecules templated alginate based polymer microspheres. **Reactive and Functional Polymers**, Amsterdam, v. 66, p. 712-719, 2006.

ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia – Santa Catarina: Embrapa Suínos e Aves, 1996. 5 p. Comunicado Técnico.