



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA – FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO MORFOLÓGICO DA PLANTA *SALVINIA MOLESTA*: UMA
CONTRIBUIÇÃO PARA A BIÔNICA E O DESIGN DE PRODUTO.**

Ana Paula Steigleder

Porto Alegre

2010

Ana Paula Steigleder

**ESTUDO MORFOLÓGICO DA PLANTA *SALVINIA MOLESTA*: UMA
CONTRIBUIÇÃO PARA A BIÔNICA E O DESIGN DE PRODUTO.**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Design como requisito final para obtenção do título de Mestre em Design, da Escola de Engenharia e Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora e Professora Dra. Liane Roldo

Porto Alegre

2010

Ana Paula Steigleder

ESTUDO MORFOLÓGICO DA PLANTA *SALVINIA MOLESTA*: UMA
CONTRIBUIÇÃO PARA A BIÔNICA E O DESIGN DE PRODUTO

Dissertação de Mestrado apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Design
como requisito final para obtenção do título
de Mestre em Design, da Escola de
Engenharia e Faculdade de Arquitetura da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Profa. Dra. Liane Roldo
Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Amilton José Vieira de Arruda
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Profa. Dra. Underléa Miotto Bruscato
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Profa. Dra. Tatiana Louise Avila de Campos Rocha
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PGDESIGN/UFRGS

S818e Steigleder, Ana Paula

Estudo morfológico da planta *Salvinia Molesta*: uma contribuição para a biônica e o design de produto / Ana Paula Steigleder. – Porto Alegre, 2010.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Design. Porto Alegre, BR-RS, 2010.

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Liane Roldo

1. Design de produto. 2. Biônica. 3. Morfologia. I. Roldo, Liane, orient. II. Título.

CDU-744(043)

*Dedico este trabalho a meus pais,
Margared e Marco Antônio Steigleder, pelo exemplo
de humildade, coragem e persistência.*

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia PGDesign/ UFRGS, pela oportunidade de realizar este trabalho. Ao CNPq. Ao coordenador do programa Professor Dr. Wilson Kindlein Júnior.

À equipe do LdSM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais, que me auxiliou nesta pesquisa: Sidnei Luiz Pedrotti Júnior, Camila Ferreira Escobar, Sandra Souza dos Santos, Lara Elena Sobreira Gomes, Msc. Roner Jose Salvador e Leciane Cristina Mancuzzo.

Ao Msc. Antonio Takimi, do Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER.

À colega de estudos em biônica Monique Arabites.

Aos colegas da segunda turma do programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia: Andressa Schneider Alves, Suzana Funk e Ronaldo Braga Magalhães.

À Msc. Cristiane Oliveira e a engenheira Solange Guidali Amaral do Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental – LTM da UFRGS.

À Professora Cláudia Marques no auxílio das traduções.

A Ana Lucia Richter e a Sra. sua Mãe Eslandia Richter pelo fornecimento das plantas para as análises.

Aos professores da banca examinadora Profa. Dra. Underléa, Profa. Dra. Tatiana e Prof. Dr. Amilton.

Ao William, pelo seu amor, e compreensão.

Ao meu irmão Daniel, pela nossa união em todos os momentos de nossas vidas.

A minha avó Rosalina Steigleder.

Em especial, agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Liane Roldo que esteve presente em todos os momentos desta pesquisa.

Agradeço a DEUS, e a todos que de uma ou de outra forma cooperaram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A análise biônica é uma ferramenta versátil que apresenta grande potencial tecnológico tanto em aplicações industriais como bens de consumo, pois através dela, o designer, pesquisa e busca na biologia indicações e orientações de elementos e mecanismos funcionais e formais que possibilitem o desenvolvimento de produtos. Assim, produtos que necessitem de conforto térmico, impermeabilização de paredes, lajes, telhas e produtos afins ou mesmo problemas como a retirada de resíduos do fundo de embalagens têm na análise biônica soluções inteligentes e otimizadas pela natureza. Desta forma, esta pesquisa teve o objetivo de analisar a morfologia da planta aquática *Salvinia Molesta* no intuito de investigar a capacidade de repelência da água na superfície da folha, para posteriormente reproduzir suas propriedades visando o desenvolvimento de produtos que necessitem de superfícies impermeáveis. Para esta análise foram realizados distintos métodos de caracterização: microscopia via microscópio estereoscópico, microscopia eletrônica de varredura - MEV, medida do ângulo de contato, medida da histerese do ângulo de contato e análise por dispersão de energia - EDS. Após a compilação destas informações foi desenvolvida uma simulação computacional 3D a qual serviu tanto para a demonstração quanto para uma melhor compreensão do mecanismo de funcionamento da capacidade de repelência de água da planta *Salvinia Molesta*. A caracterização por microscopia eletrônica de varredura apresentou a estrutura do tricoma onde por sua vez, identificou os locais onde havia presença e ausência de ceras nos tricomas da planta. A medida do ângulo de contato da superfície da folha é um dado de importante, pois define a capacidade de absorção de água na superfície da planta. Os resultados de caracterização indicaram a hidrofobicidade da *Salvinia Molesta* que até o momento não havia sido mencionado pela literatura. Esta pesquisa foi ainda precedida de uma metodologia biônica que conduziu em uma pesquisa sistemática onde avaliou a necessidade, os potenciais e as limitações da planta *Salvinia Molesta* podendo ser esta metodologia aplicada no estudo biônico de plantas em geral.

Palavras-chave: *Salvinia Molesta*, Morfologia, Biônica, Design de Produto.

ABSTRACT

The bionic analysis is a versatile tool that shows great technological potential either in industrial applications as well as in consumption goods because by its usage the designer researches and seeks in Biology indications and orientations of elements, and functional and formal mechanisms that enable the development of products. Thus, products that need thermal comfort, proofing of walls, slab stones, tiles, and similar products or even problems with the removal of residues from the bottom of packages have got in bionic analysis intelligent solutions optimized by nature. This research aims to analyze the morphology of the aquatic plant *Salvinia Molesta* with the purpose to investigate the capacity of water repellence on the surface of the leave in order to later reproduce its properties aiming at the development of products that necessitate impermeable surfaces. For this analysis there has been carried out distinct characterization methods, such as: stereoscopical microscopy, scanning electron microscopy - SEM, measurement of the contact angle, measurement of the hysteresis of the angle, and analysis by energy dispersion system - EDS. After the compilation of these data a 3D computer simulation was developed which served as a demonstration as well as a better comprehension of the mechanism on the way the water repellence capacity of *Salvinia Molesta* works. The characterization by scanning electron microscopy showed the structure of the hair where it identified the places where there were the presence and absence of waxes on the plant's hairs. The measurement of the contact angle of the leave surface is an important data because it defines the capacity of water absorption on the surface of the plant. The characterization results indicate *Salvinia Molesta's* hydrophobicity which had not been mentioned in the literature up to now. This research was also preceded by a bionic methodology which conducted in a systematic research where *Salvinia Molesta's* necessity, potentials, and limitations were evaluated, enabling this methodology to be applied in the bionic study of plants in general.

Keywords: *Salvinia Molesta*, Morphology, Bionics, Product Design.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01: Imagens de produtos: em (a) embalagem de xampu, em (b) embalagem de batom labial, em (c) embalagem de mostarda, em (d) sombrinha e em (e) telha ondulada para coberturas.....**22**
- Figura 02: Velcro utilizado em (a) bota e (b) mochila.**23**
- Figura 03: Fruto do carrapicho observado pelo microscópio eletrônico de varredura. Em (a) filamentos, gerando uma formação estrelada, e em (b) e (c) os ganchos, que aderem facilmente a texturas com pêlos, fios e tecidos.....**24**
- Figura 04: Modelo de fixação do velcro. Em (a), o sistema contínuo de duas faixas de tecido, uma delas com uma série de pequenos ganchos. Em (b) série de laços na forma de argolas também fixadas no tecido.**25**
- Figura 05: Obras do arquiteto espanhol Antonio Gaudí. Em (a) Parque Güell. Em (b1) parte interna da Igreja Sagrada Família. Em (b2) fachada da Igreja.**26**
- Figura 06: Folhas da Victória Régia, típica da região amazônica.**26**
- Figura 07: Em (a) Rasgo na folha da Victória Régia, do qual a água escorre, permanecendo a superfície sempre seca. Em (b) Parte inferior da planta Victória Régia, que apresenta sistema de nervuras radiais na parte inferior da folha.**27**
- Figura 08: Em (a) Estufa com estrutura plissada em ziguezague interpretando a estrutura da folha da planta Victória Régia. Em (b) Palácio de Cristal de Londres, desenvolvido por Joseph Paxton, a partir da estrutura nervurada da folha da planta Victória Régia.**27**
- Figura 09: Modelo simplificado da estratificação da cutícula e da cera de uma folha.**29**
- Figura 10: Cera presente na casca da uva Red Globe. Coloração branca em sua superfície.....**29**
- Figura 11: Imagens obtidas a partir do microscópio eletrônico de varredura de alguns tipos de ceras epicuticulares de plantas. Em (a), crosta de cera fissurada da planta *Crassula Ovata*. Em (b), corte transversal da parede periclinal da planta *Aloe Striata* (indicada por um círculo verde) e a camada do topo com ceras em formato de plaquetas. Em (c), túbulos de cera da planta *Eucalyptus Gunnii* e em (d) a planta *Thalictrum Flavum Glaucum* também com ceras em formatos de túbulos.**31**

Figura 12: Tipo de cera, relevo epidérmico, epiderme e ângulo de contato de gotículas de água em diferentes espécies de plantas.....	33
Figura 13: Características micromorfológicas da superfície de folhas repelentes à água de algumas das espécies plantas.....	35
Figura 14: Em (a) folha de lótus em uma lagoa. Em (b) gotículas de água sobre a folha de lótus.	37
Figura 15: Imagens do MEV (a) e (b), de folhas de Lótus. Em (b) inserção de uma imagem de uma gota de água da folha de Lótus em seu formato esférico, cujo ângulo de contato é de 161° , mostrando uma excelente propriedade superhidrofóbica.....	38
Figura 16: Esquematização de estrutura dupla, rugosidade formada por micro e nanopilares.	39
Figura 17: Em (a) Planta <i>Salvinia Molesta</i> . Em (b) Ilustração da Planta, e em (c) Ilustração dos tricomas terminados em “gaiolas”.	41
Figura 18: Imagem da planta <i>Salvinia Molesta</i> . Em (a), superfície foliar densamente coberta por pêlos. Em (b), quatro pêlos agrupados em cima de uma haste conduzindo a uma estrutura. Em (c), célula terminal de cada pêlo, formando uma capa de quatro células na parte superior. Em (d), superfície foliar coberta por cristais de cera com exceção da parte superior.....	42
Figura 19: Escaneamento a partir do microscópico eletrônico de baixa temperatura da folha da <i>Salvinia Molesta</i> com as gotas congeladas e aplicadas com uma solução aquosa de glicerol. Imagem (b) e (c), vista lateral da zona de contato hidrofílica.	43
Figura 20: Em (a) microscopia óptica da superfície foliar após submersão em 0,01% de solução de azul de metileno. Áreas hidrofílicas foram coradas com a solução. Em (b) microscopia óptica da interface ar-água sobre uma folha submersa de <i>Salvinia Molesta</i>	44
Figura 21: Formas básicas que compõem uma textura. Em (a) círculo, (b) triângulo equilátero, e em (c) quadrado.....	46
Figura 22: Hexágono aplicado sobre a ampliação na estrutura da folha da figueira da Índia.	47
Figura 23: Esquematização do contorno básico das células epidérmicas.....	48
Figura 24: Esquematização da divisão estrutural da superfície das células.	49
Figura 25: Aumento da capacidade de absorção de água.	50
Figura 26: Micrografia a partir do MEV da asa da borboleta <i>Vanessa Cardui</i> . Em (a) e (b) apresenta a face superior da asa. Em (c) e (d) a face inferior.....	51
Figura 27: Ângulo de Contato.....	53

Figura 28: Esquema de partículas de sujeiras (bolinhas marrons) e de uma gota de água aplicada em uma superfície convencional (a), e em uma superfície texturizada (b) e (c).	53
Figura 29: Esquematisação da medida do ângulo de contato de uma gota de água aplicada em uma superfície lisa (a) e rugosa (b).	54
Figura 30: Ângulo de Inclinação – Histerese.	54
Figura 31: Esquematisação de uma superfície superhidrofílica.	56
Figura 32: Fotografias de vidros. (a) superfície do vidro embaçado, (b) vidro revestido com dióxido de titânio após suficiente iluminação UV.	58
Figura 33: Em (a) ângulo de contato inicial que chegou a quase zero, no decorrer de 350 minutos. Em (b), superfície é gradualmente reconvertida aproximando-se ao estado hidrofóbico.	59
Figura 34: Micrografia da forma das gotas de água sobre a eletrodeposição de filmes finos de TiO ₂ em (a). Filme eletrodepositado que foi armazenado no escuro (b).	60
Figura 35: Em (a) besouro, <i>Stenocara sp.</i> Em (b) microscopia eletrônica de varredura do casco do besouro.	61
Figura 36: Análise macroscópica da planta por uma câmera digital Sony. Em (a) vista superior da planta em que se observa os grupos de frondes, em (b) detalhe da fronde com uma gota depositada.	65
Figura 37: Em (a) pontos que foram feitos o EDS da Planta <i>Salvinia Molesta</i> . Em (b) ilustração do tricoma da planta, em que as gaiolas foram circuladas por uma elipse na cor vermelha. Em (c) análise da composição química da planta a partir do ponto um (círculo azul).	67
Figura 38: Medida do ângulo de contato da planta <i>Salvinia Molesta</i>	69
Figura 39: Em (a) vista lateral do tricoma, composto por uma linha vertical e duas elipses uma sobreposta à outra. Em (b) caracterização por estereoscópio mostrando o tricoma no formato de “gaiolas”. Parâmetros de operação: aumento de 10 vezes. Equipamento utilizado: microscópio estereoscópio olympus – SZ... ..	71
Figura 40: Em (a) caracterização por estereoscópio mostrando o topo da planta. Em (b) a variação do triângulo equilátero aplicado sobre os dois traços cruzados que formam o “x”. Parâmetros de operação: aumento de 30 vezes. Equipamento utilizado: microscópio estereoscópio olympus – SZ	71
Figura 41: Caracterização da planta <i>Salvinia Molesta</i> por microscópio estereoscópio. Em (a) “gaiolas” extremamente simétricas. Parâmetros de operação: aumento de 20 vezes. Em (b) aplicação de uma gota para visualização no estereoscópio; esta funciona como lente de aumento. Parâmetros de operação: aumento de 10 vezes. Equipamento utilizado: microscópio estereoscópio olympus – SZ.	72

- Figura 42: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Observam-se as gaiolas dos tricomas distribuídos assimetricamente. Parâmetros de operação: aumento de 30 vezes.73
- Figura 43: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Tricomas da planta densamente cobertos por complexos pêlos com terminados de quatro pêlos conectados, formando uma estrutura semelhante a “batedor de ovos”. Parâmetros de operação: aumento de 100 vezes.....74
- Figura 44: Caracterização da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Em detalhe a junção dos quatro pêlos, formando uma capa na parte superior do tricoma. A vista superior assimila-se a dois traços cruzados formando um “x”. Parâmetros de operação: aumento de 250 vezes.....75
- Figura 45: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Zona de junção dos quatro pêlos, formando uma capa na parte superior do tricoma. Parâmetros de operação: aumento de 430 vezes – 10KV.....76
- Figura 46: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Pequenas ceras, distribuídas por intervalos de espaços existentes no tricoma da planta. Parâmetros de operação: aumento de 1,200 vezes – 10KV.....77
- Figura 47: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Partes hidrofóbicas (círculo amarelo), partes hidrofílicas (círculo verde) da planta. Parâmetros de operação: aumento de 1,200 vezes – 10KV78
- Figura 48: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* pelo MEV. Áreas hidrofílicas indicadas pela seta branca e áreas hidrofóbicas denominadas pelos círculos na cor amarela. Parâmetros de operação: aumento de 2,500 vezes.....79
- Figura 49: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* pelo MEV. Áreas hidrofílicas indicadas pela seta branca e áreas hidrofóbicas denominadas pelos círculos na cor amarela. Parâmetros de operação: aumento de 2,500 vezes – 10KV.....80
- Figura 50: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Ceras como crostas mostradas pelo círculo amarelo e ceras isoladas denominadas de plaquetas são mostradas por meio do círculo verde. Parâmetros de operação: aumento de 10,000 vezes – 10KV.81
- Figura 51: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Ceras em formatos de plaquetas, distribuídas por pequenos intervalos de espaços em que existe uma concentração de ceras. Parâmetros de operação: aumento de 10,000 vezes – 10KV82
- Figura 52: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Tratamento das imagens em negativo no software *Photoshop* para contagem do número de ceras. Em (a) 114 plaquetas, em (b) 94 plaquetas, e em (c) 100 plaquetas.....83
- Figura 53: Medidas do ângulo de contato da planta *Salvinia Molesta*, confirmando hidrofobia da planta.84

Figura 54: Medidas do ângulo de contato de uma gota de água aplicada à superfície de vidro, lisa, confirmando uma hidrofília.	84
Figura 55: <i>Storyboard</i> desenvolvido a partir do roteiro do filme.	86
Figura 56: Cenas da animação 3D. Em (a) apresenta os tricomas alinhados simetricamente, é possível visualizar as ceras nas partes inferiores do tricoma. Em (b) é mostrado o topo dos tricomas, as áreas hidrofílicas da planta, sem cera. Em (c) as primeiras gotas caindo. Em (d) uma das gotas fixa-se na parte hidrofílica da planta, no topo do tricoma. Em (e) outra gotícula cai sobre a gota mostranda na imagem (d) aumentando o tamanho da gota anterior e chegando as áreas hidrofóbicas da planta. Em (f) a gotícula cai para fora da superfície foliar.	87
Figura 57: Em (a) tricoma com uma pequena parte hidrofílica da planta. Em (b) tricoma com maior área desprovida de cera (espalhamento da gota na área hidrofílica).....	90
Figura 58: Fluxograma da metodologia biônica aplicada a <i>Salvinia Molesta</i>	92

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- A – Anticlinais, (área da célula diretamente conectada);
- CA – Campo anticlinal;
- EDS – Sistema de análise por dispersão de energia;
- MEV – Microscópio eletrônico de varredura;
- PC – Parede central da célula, que delimita o campo central;
- PTE – Pteridófito;
- SC – Parte interna da superfície da célula;
- TiO₂ – Dióxido de titânio
- UV – Radiação ultravioleta;
- μm – Micrômetro;
- nm – Nanômetro;

LETRAS GREGAS

- θ – Tetha
- γ γ – Gama
- γ_{SA} – γ_{SA} – Tensão interfacial entre sólido - ar;
- γ_{SL} – Tensão interfacial entre sólido - líquido;
- γ_{LA} – Tensão interfacial entre líquido - ar;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO.....	18
1.2 OBJETIVO GERAL.....	18
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3 DIVISÃO DOS CAPÍTULOS.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 BIÔNICA E DESIGN DE PRODUTO.....	20
2.2 CARACTERÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DAS PLANTAS.....	28
2.2.1 PLANTAS AQUÁTICAS.....	36
2.2.1.1 Flor De Lótus.....	36
2.2.1.2 Salvinia Molesta.....	39
2.3 SISTEMA DE ORGANIZAÇÃO FORMAL NA NATUREZA.....	45
2.4 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DE SUPERFÍCIES.....	49
2.4.1 HIDROFOBIA.....	50
2.4.2 HIDROFILIA.....	52
2.4.3 MEDIDA DO ÂNGULO DE CONTATO.....	52
2.5 SUPERFÍCIES ARTIFICIAIS.....	55
2.6 METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO.....	62
2.6.1 MICROSCÓPIO ESTEREOSCÓPIO.....	62
2.6.2 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA – MEV E ANÁLISE POR DISPERSÃO DE ENERGIA – EDS.....	62
2.6.3 MEDIDA DO ÂNGULO DE CONTATO.....	63
2.6.4 HISTERESE DO ÂNGULO DE CONTATO.....	63
2.6.5 SIMULAÇÃO EM SOFTWARE.....	64

3 MATERIAL E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	65
3.1 MATERIAL ANALISADO	65
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	66
3.2.1 MICROSCÓPIO ESTEREOSCÓPIO	66
3.2.2 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA E EDS	66
3.2.3 ANÁLISE DA FORMA	68
3.2.4 MEDIDA DO ÂNGULO DO CONTATO – <i>SALVINIA MOLESTA</i>	68
3.2.5 HISTERESE DO ÂNGULO DE CONTATO – <i>SALVINIA MOLESTA</i>	69
3.2.6 SIMULAÇÃO EM SOFTWARE	70
4 RESULTADOS	70
4.1 ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PLANTA POR ESTEREOSCÓPIO	70
4.2 CARACTERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA ...	73
4.3 MEDIDA DO ÂNGULO DE CONTATO E HISTERESE.....	83
4.4 ROTEIRO E <i>STORYBOARD</i> DA SIMULAÇÃO EM SOFTWARE	85
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	88
6 CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES	94
REFERÊNCIAS	96
GLOSSÁRIO	99

1 INTRODUÇÃO

Os produtos lançados no mercado estão cada vez mais competitivos. Uma das principais razões é o investimento que as empresas realizam em pesquisas de inovação e tecnologia para agregar valor aos produtos. Para se manterem no mercado, as empresas precisam introduzir continuamente produtos funcionais com o objetivo de satisfazer as necessidades dos consumidores. As tecnologias, os equipamentos para pesquisas e as ferramentas de troca rápida de produtos estão reduzindo o tempo de desenvolvimento de novos produtos (BAXTER, 1998).

Os projetos de produtos devem ser embasados em pesquisa e na busca por informação para que o resultado final seja conveniente com o esperado. Manzini e Vezzoli (2008) destacam que já não é mais possível conceber qualquer atividade do Design sem confrontá-la com o conjunto de relações que um produto terá durante seu ciclo de vida. Atualmente, os produtos devem ser projetados considerando a produção, a distribuição e a utilização pensando na sustentabilidade.

Antes de iniciar um processo de desenvolvimento de um projeto, seja ele de caráter gráfico ou produto, deve-se compreender quais são as necessidades relevantes para esse projeto. Muitas vezes, projetos são desenvolvidos sem essa avaliação inicial, prejudicando o resultado final devido à falta de informações no início do projeto. Uma abordagem consistente no desenvolvimento de produtos pode ser uma análise biônica.

A biônica é a ciência que estuda os processos biológicos dos seres vivos, se caracteriza como uma ótima ferramenta de sistemas e produtos em várias áreas do saber, pois reproduz as técnicas de elementos naturais na indústria por meio de uma investigação sistemática da natureza visando colher dados para soluções de problemas técnicos (HSUAN-NA, 2002).

Segundo Hsuan-na (2002), para um estudo aprofundado que envolva biônica é importante que o investigador tenha contato com os mecanismos, resposta e a reação da natureza para que se possa assimilar e observar o equilíbrio, a harmonia,

o contraste, o ritmo, o ordenamento, o movimento e muitas outras características de cada ser vivo. Portanto, é de extrema importância o contato com a fauna, flora e minerais para que se possa macroscopicamente e/ou microscopicamente verificar o agarre, fixação, locomoção, transmissão, sustentação, filtragem, proteção e a textura.

A natureza possui inesgotáveis soluções que podem ser aplicadas na indústria. O Velcro, por exemplo, foi um produto desenvolvido a partir de estudos feitos com o auxílio da biônica, que se baseia no fruto de *Acanthospermum* sp. do gênero botânico *Arctium* pertencente à família *Asteraceae*. Esses frutos foram analisados microscopicamente e verificaram-se diversos filamentos entrelaçados terminados por pequenos ganchos que causam a grande aderência em superfícies que tenham presença de fios, pêlos e tecidos (AMARAL *et al.*, 2002).

Segundo Sajadinia e Sharif (2010), a capacidade de absorção de água em superfícies sólidas é uma das áreas da biônica que envolve diversas pesquisas, devido a sua vasta possibilidade de aplicações na indústria e na vida diária. As superfícies superhidrofóbicas artificiais são aplicadas não apenas para resistirem à água, mas também para prevenir a contaminação. O aperfeiçoamento das técnicas de medição da rugosidade nas superfícies nas últimas duas décadas tornou possível o controle da produção de superfícies artificiais texturizadas em micro e nano escalas de uma forma controlada. Foi constatado, por exemplo, na teoria e na prática que a combinação de uma micro e nano rugosidade é a combinação básica para o desenvolvimento de superfícies superhidrofóbicas.

“A superfície é o envelope do volume e pode anular ou ampliar a sua sensação”(LE CORBUSIER, 1977).

Existe uma diversidade de estruturas de superfícies em diferentes tamanhos. As micro e nano estruturas das plantas desempenham um papel especial na capacidade de absorção de água. A exemplo, do efeito lótus, um dos aspectos funcionais das estruturas das superfícies das plantas é a redução da adesão de

partículas como também as propriedades autolimpantes das folhas superhidrofóbicas, que será abordado no capítulo 2.2.1.1(KOCH *et al.*, 2008).

1.1 PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO

Como reproduzir as características presentes na superfície dos tricomas da planta *Salvinia Molesta* em diferentes materiais para que se possa obter as mesmas propriedades de hidrofobia que a caracteriza?

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é analisar com o olhar da biônica a morfologia da planta *Salvinia Molesta* e investigar a repelência da água na superfície da folha, para possível reprodução dos elementos hidrofóbicos da planta visando à aplicação no design de produto.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver embasamento teórico sobre biônica e a planta *Salvinia Molesta* para uma melhor compreensão da aplicação da textura em superfícies;
- Analisar a morfologia da superfície da planta por microscópio estereoscópio, e microscopia eletrônica de varredura - MEV;
- Simular em software 3D os elementos hidrofóbicos da planta para possível aplicação da textura em superfícies;

1.3 DIVISÃO DOS CAPÍTULOS

No capítulo um, é apresentada a introdução da pesquisa, seguido pela proposta de investigação, objetivos gerais e objetivos específicos.

No capítulo dois, é abordada a fundamentação teórica da pesquisa, iniciando sobre estudo da biônica, seguindo pelas características das superfícies das plantas, plantas aquáticas, dentre elas a Flor de Lótus e a *Salvinia Molesta*, sistema de organização formal na natureza, capacidade de absorção de água de superfícies, hidrofobia e hidrofília, medida do ângulo de contato e superfícies artificiais.

No capítulo três, é apresentado o material analisado, no qual serão apresentados os procedimentos experimentais realizados tais como: análise por microscópio estereoscópio, análise por microscópio eletrônico de varredura - MEV, análise por dispersão de energia - EDS, medida do ângulo de contato, ângulo de histerese e a simulação em software.

No capítulo quatro, estão os resultados da pesquisa, iniciando pela análise da estrutura da planta *Salvinia Molesta* por estereoscópio, imagens obtidas a partir da caracterização realizada por estereoscópio, imagens a partir da caracterização feita pelo microscópio eletrônico de varredura - MEV, imagens da análise por dispersão de energia - EDS, imagens obtidas a partir da medida do ângulo de contato, ângulo de histerese e, por fim, o roteiro e *storyboard* para simulação em software 3D da planta.

No capítulo cinco, são apresentadas as discussões dos resultados e, no capítulo seis, são apresentadas as conclusões e proposições desta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BIÔNICA E DESIGN DE PRODUTO

Há algumas décadas a biônica vem sendo estudada com grande interesse por investigadores que têm como objetivo a reprodução de elementos reais que a natureza possui, tais como: acústicos, térmicos, óticos, impermeáveis, aerodinâmicos em produtos para nosso cotidiano (HSUAN-AN 2002).

O termo biônica foi trazido pelo major Jack E. Steel, da Força Aérea Americana em 1960, durante o primeiro congresso sobre essa área nos Estados Unidos, Dayton – Ohio, agrupando biólogos, físicos, engenheiros e matemáticos, com a intenção de aplicar sistemas vivos à resolução de problemas técnicos. Jack E. Steel, distingue a biônica como a ciência dos sistemas artificiais que apresentam características comuns aos seres vivos ou cujo funcionamento se baseia em sistemas naturais (BROECK, 1995).

Hsuan-an (2002), afirma que o objetivo de descobrir, conhecer, assimilar e aplicar princípios funcionais à biônica é uma ciência multidisciplinar, que estuda os processos biológicos dos seres vivos, a fim de reproduzir as técnicas naturais na indústria.

Conforme Koch *et al.*, (2008), a biônica descreve o processo no qual idéias e conceitos desenvolvidos pela natureza são tomados e interpretados tecnologicamente. Uma grande área da pesquisa Biomimética que lida com micro e nano estruturas funcionais, a transmissão de princípios biológicos e estruturas funcionais é de grande interesse para o Design de modernos materiais funcionais. Um exemplo é a capacidade de repelência de água em uma superfície, que é baseado em fatores físico-químicos, estes não estão apenas restritos a organismos vivos, pois são transferíveis para superfícies técnicas.

Segundo Bartolo (1995), o importante é não copiar a natureza, não instaurar processos imitativos, mas interpretar a natureza, deduzindo suas funções e então, por meio de uma obra modelística, verificar estruturalmente o funcionamento, a compreensão do fenômeno. Esse processo é chamado de “Biônica aplicada ao Design”.

A biônica não é meramente imitação, mas a assimilação das essências formal, estrutural e funcional de um modelo biológico. Toda forma natural apresenta uma série de princípios, propriedades, características, que se destacam como essências da sua configuração, tanto física como comportamental, para seu desenvolvimento pela sobrevivência e adaptação no meio onde vive. A análise biônica, por sua vez, é aplicada como um método para a exploração destas essências por meio da leitura, da compreensão e da sua conversão em novos objetos (HSUAN-NA, 2002).

É importante entender a complexidade com que se relaciona a natureza, suas estruturas, processos, funções, organizações e relações. O uso da biônica em um projeto insere uma ferramenta alternativa para o designer, pois é uma ciência multidisciplinar que pesquisa, nos sistemas naturais, princípios, propriedades e seus mecanismos com o objetivo de aplicá-los no desenvolvimento de novos produtos ou para solucionar problemas técnicos existentes na projeção (KINDLEIN *et al.*, 2002).

Contudo, mesmo quando a natureza possui as soluções de sucesso, essas não são necessariamente ótimas para o bom desempenho da técnica. A biônica seria o entendimento dos princípios das soluções da natureza e a transferência deles para sistemas artificiais do que simples cópia da natureza (KOCH *et al.*, 2008).

Uma parte do processo criativo é, na verdade, uma síntese dos momentos em que refletimos sobre nossa própria cultura e conhecimento. O método depende da nossa própria vivência, das perguntas que fazemos, depende da atitude experimental que se possa fazer, da capacidade de reativar os próprios sentidos, do modo de ver, ouvir, degustar, tocar, e cheirar aquilo que nos rodeia, procurando propor criativamente novas hipóteses (BARTOLO, 1995).

Existem produtos que apresentam dificuldade de limpeza, ou que deixam resíduos em suas extremidades, a que se justifica a aplicação da biônica. Alguns exemplos de produtos que necessitam de impermeabilização podem ser observados na Figura 01, na qual as imagens (a), (b), e (c) apresentam embalagens de produtos em que, no final do uso, há dificuldade da retirada de restos acumulados nas extremidades. Em muitos casos, esses produtos apresentam falhas técnicas que ocorrem devido à falta de investigação, como o estudo de materiais tecnológicos, os processos de fabricação e o design do produto.

As imagens (d) e (e) mostram uma sombrinha e uma telha ondulada para construção civil. Neste caso a propriedade de autolimpeza é fundamental no que se refere a problemas de impermeabilização.



Figura 01: Imagens de produtos: em (a) embalagem de xampu, em (b) embalagem de batom labial, em (c) embalagem de mostarda, em (d) sombrinha e em (e) telha ondulada para coberturas.

Fonte: Fotografias feitas pela autora.

A natureza possui inesgotáveis soluções que podem ser aplicadas na indústria. Alguns produtos já foram desenvolvidos a partir de estudos feitos tendo como base uma análise da biônica.

Segundo Koch *et al.*, (2008), o primeiro exemplo proeminente de uma transferência com sucesso de estruturas de superfície biológica é estrutura de superfície da pele do tubarão. Recentemente, a estrutura da pele do tubarão tem sido usada como modelo para o desenvolvimento de roupas para natação que diminuem o atrito com a água.

Como dito anteriormente, o Velcro também foi um produto desenvolvido a partir de uma análise biônica. Georges de Mestral baseou-se na semente do Carrapicho, frutos do gênero botânico *Acanthospermum sp.* pertencente à família *Asteraceae*. Como a ligação das sementes a seus receptáculos são extremamente fracos, elas acabam fixando-se aos pêlos de animais sendo levadas a lugares que a planta nem sequer poderia alcançar, mesmo com o vento. Dessa forma, a propagação da espécie fica garantida (VASCONCELOS, 2000).

Segundo Amaral *et al.*, (2002), o Velcro é utilizado desde a década de 40, até os dias de hoje. Esse produto, que permite unir e desunir tecidos sem rasgá-los, vem sendo usado para diversas finalidades (Figura 02), como na aplicação em botas, mochilas, tênis, luvas, jaquetas e artigos em geral que necessitam dessa capacidade de agarre e fixação.

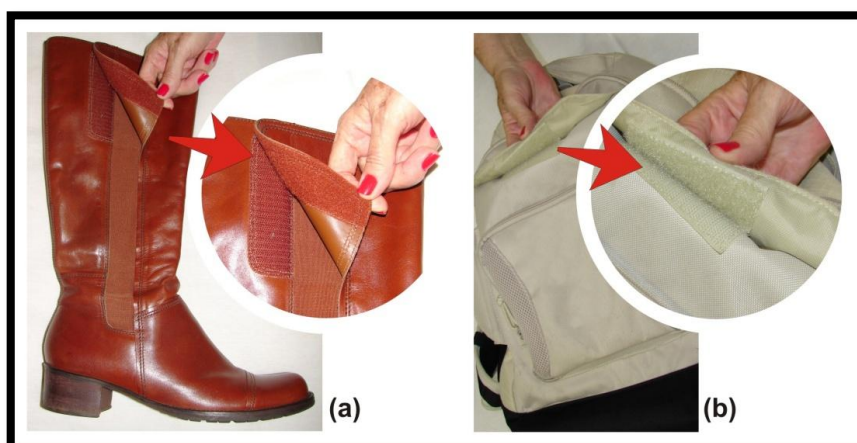


Figura 02: Velcro utilizado em (a) bota e (b) mochila.
Fonte: Fotografias feitas pela autora.

Conforme Vasconcelos (2000), o Velcro é chamado desta forma devido à junção das palavras francesas *Velours* (veludo) e *Crochet* (gancho), abreviadamente **VELCRO**.

Segundo Amaral *et al.*, (2002), foi estudada a morfologia do fruto no microscópio eletrônico de varredura (MEV), conforme mostra a Figura 03. O fruto apresenta diversos filamentos, gerando uma formação estrelada, conforme é mostrado na Figura 3 (a).

Nas extremidades, existem ganchos, que podem aderir facilmente a texturas com pêlos, fios e tecidos, Figura 03 (b) e (c). Na imagem (c), que apresenta um aumento de 317 vezes, constata-se a morfologia do gancho o que resulta na facilidade de agarre desses ganchos em tecidos e pêlos de animais, desprendendo-se do fruto da planta.

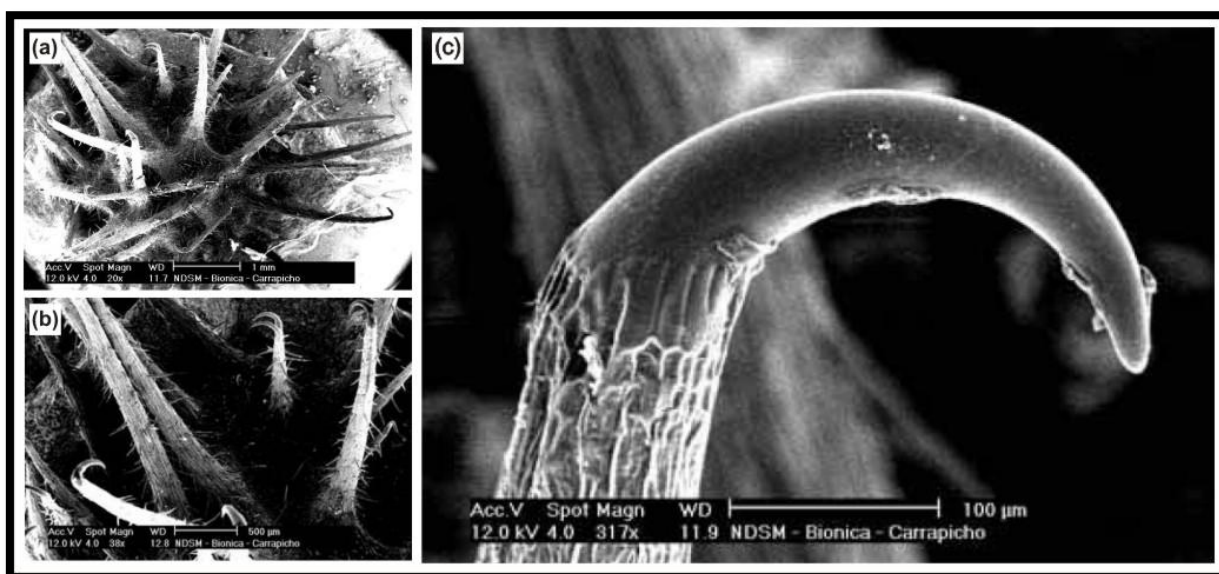


Figura 03: Fruto do carrapicho observado pelo microscópio eletrônico de varredura. Em (a) filamentos, gerando uma formação estrelada, e em (b) e (c) os ganchos, que aderem facilmente a texturas com pêlos, fios e tecidos.

Adaptado Fonte: AMARAL *et al.*, 2002.

A Figura 04 representa o modelo de fixação do Velcro. É um sistema contínuo de duas faixas de tecido, uma delas com uma série de pequenos ganchos (a), fixados no tecido, e a outra com uma série de laços na forma de argolas também fixadas no tecido (b). Pressionando essas duas faixas, os ganchinhos de uma das

faixas se fixam nas argolas e as duas partes ficam grudadas (VASCONCELOS, 2000).

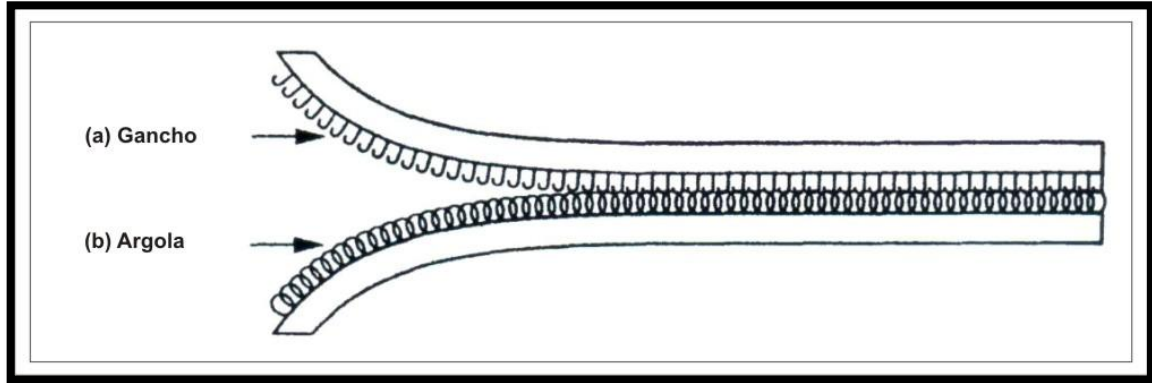


Figura 04: Modelo de fixação do velcro. Em (a), o sistema contínuo de duas faixas de tecido, uma delas com uma série de pequenos ganchos. Em (b) série de laços na forma de argolas também fixadas no tecido.

Fonte: PETROSKI, 1996, *apud* VASCONCELOS, 2000, p. 301.

A análise biônica também pode ser observada nas obras do arquiteto espanhol Antonio Gaudí. Inspirado nas formas da natureza desenvolveu obras conhecidas na Espanha, como por exemplo: o Parque Güell e a famosa Igreja Sagrada Família. O seu trabalho deriva da observação e o estudo sobre as estruturas naturais que, por meio de seu método experimental, traduz para estruturas físicas. Sua arquitetura se caracteriza pela pesquisa do equilíbrio da estrutura arquitetônica, assim como o impacto entre ela e o ambiente (ARRUDA, 2000).

A Figura 05 (a) apresenta o Parque Güell e em (b1) e (b2) a Igreja Sagrada Família, onde é possível observar a inspiração do arquiteto a partir dos elementos da natureza, troncos e galhos das árvores.

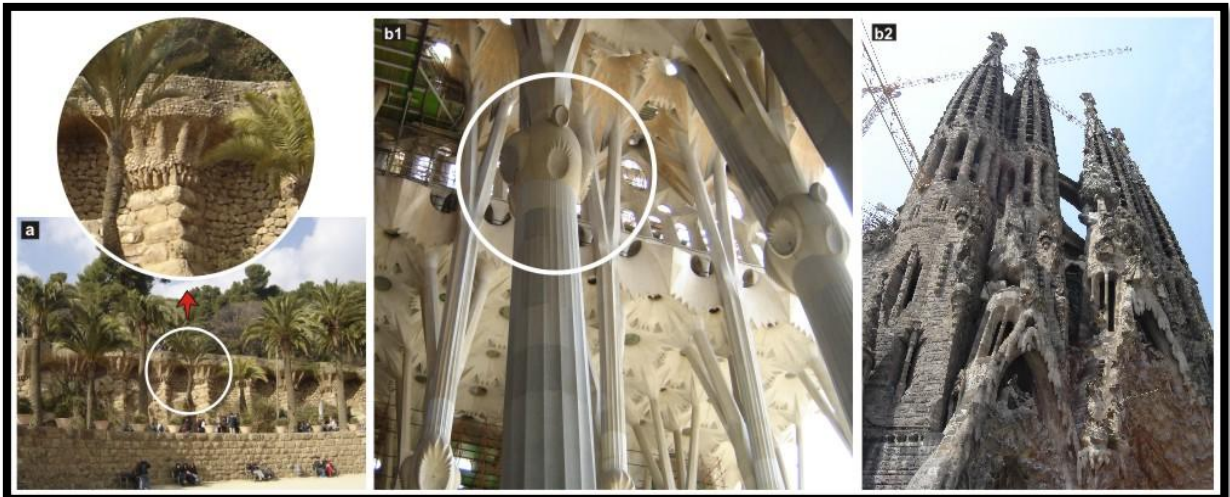


Figura 05: Obras do arquiteto espanhol Antonio Gaudí. Em (a) Parque Güell. Em (b1) parte interna da Igreja Sagrada Família. Em (b2) fachada da Igreja.
Fonte: Fotografias feitas pela autora.

A Victória Régia, é uma planta aquática da família dos Nenúfares, possui enormes folhas flutuantes, podendo atingir até 2 metros de diâmetro. É extremamente resistente, rígida, podendo suportar o peso de uma criança de oito anos de idade, Figura 06. Suas raízes situam-se por baixo da água e seu tronco, espinhoso, cresce até chegar à superfície da água (VASCONCELOS, 2000).



Figura 06: Folhas da Victória Régia, típica da região amazônica.
Fonte: VASCONCELOS, 2000.

Em época de temporais, a água não consegue encher totalmente a folha, pois existe um rasgo, do qual a água escorre, permanecendo a superfície sempre seca, conforme mostra a Figura 07 (a). Na fase adulta, apresenta um sistema de nervuras radiais na parte inferior da folha, onde os acúleos são densos, Figura 07 (b).

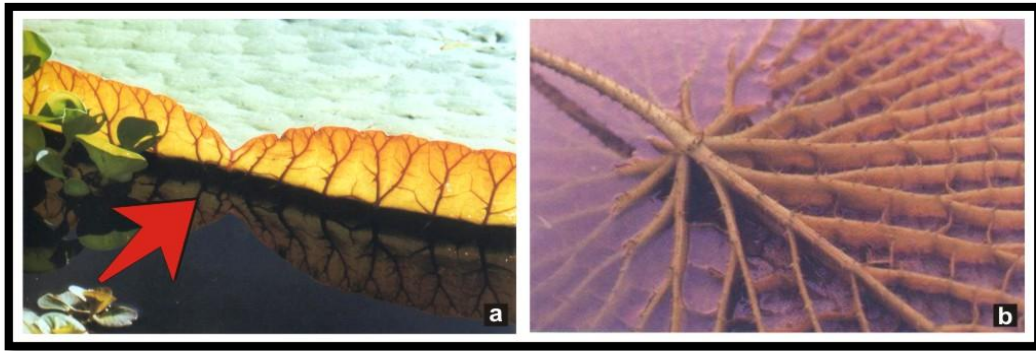


Figura 07: Em (a) Rasgo na folha da Victória Régia, do qual a água escorre, permanecendo a superfície sempre seca. Em (b) Parte inferior da planta Victória Régia, que apresenta sistema de nervuras radiais na parte inferior da folha.
Adaptado Fonte: VASCONCELOS, 2000.

O arquiteto Joseph Paxton, em 1849, encantado com a estrutura da planta Victória Régia, construiu no castelo de Chatsworth (grande palácio rural localizado na Inglaterra) uma estufa com estrutura plissada em ziguezague, interpretando a estrutura da folha da planta Victória Régia, típica da região amazônica, conforme mostra a Figura 08 (a). Paxton se dedicava ao paisagismo, à cultura de plantas em estufas e a todos os tipos de obras do castelo (VASCONCELOS, 2000).

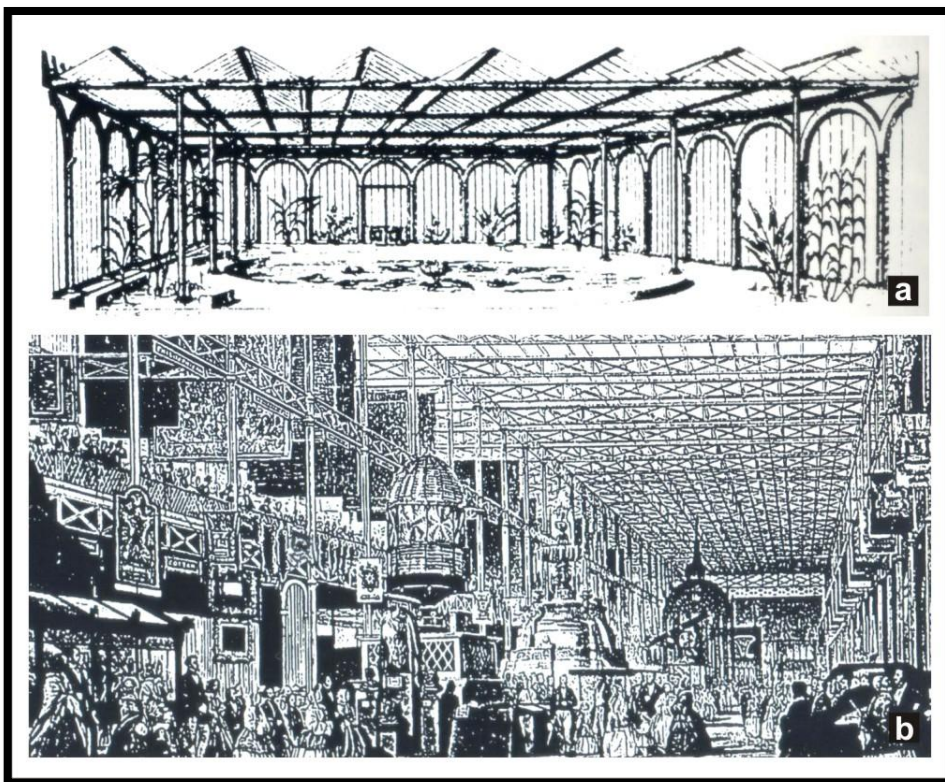


Figura 08: Em (a) Estufa com estrutura plissada em ziguezague interpretando a estrutura da folha da planta Victória Régia. Em (b) Palácio de Cristal de Londres, desenvolvido por Joseph Paxton, a partir da estrutura nervurada da folha da planta Victória Régia.
Fonte: VASCONCELOS, 2000.

Em 1850, essa estufa foi patenteada e, no ano seguinte em 1851, Paxton desenvolveu uma proposta para a execução do Palácio de Cristal de Londres, conforme Figura 08 (b), seguindo a mesma proposta da estrutura nervurada da folha da planta *Victoria Régia* (VASCONCELOS, 2000).

Superfícies biológicas são interfaces que fornecem uma ampla diversidade de estruturas e funções. Nesse foco, produtos com capacidade de repelência à água se tornam alvo para inúmeros experimentos. Muitas plantas possuem propriedades repelentes à água, podendo ser citada a superhidrofobicidade e autolimpeza das superfícies das folhas de lótus, o chamado efeito lótus descrita por Neinhuis e Barthlott (KOCH *et al.*, 2008).

2.2 CARACTERÍSTICAS DAS SUPERFÍCIES DAS PLANTAS

Muitas plantas apresentam capacidade de repelência de água na superfície das folhas, facilitando a remoção de partículas, resultando na purificação das superfícies por meio da água da chuva, nevoeiro ou orvalho, o chamado efeito lótus (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

Segundo Neinhuis e Barthlott (1997), pesquisas mostram que a micromorfologia das folhas das plantas vem sendo estudada principalmente usando técnicas de análise como microscopia eletrônica e escaneamento. A partir dessas caracterizações observou-se uma variedade de estruturas cuticulares na superfície das folhas. Conforme Koch *et al.*, (2008), a parte mais importante da célula epidérmica é a cutícula, elas estabilizam o tecido da planta e possuem diversas propriedades protetoras. Uma das propriedades mais importantes é a barreira da transpiração; as cutículas reduzem a perda de água.

Elas também desempenham um papel importante na estrutura celular e na capacidade de absorção de água na superfície e tem um papel importante na interação com insetos e microorganismos, como na apreensão e deslizamento dos insetos. As cutículas protegem as plantas contra os danos da irradiação. A Figura 09

mostra um modelo simplificado da estratificação da cutícula e das ceras (KOCH *et al.*, 2008).

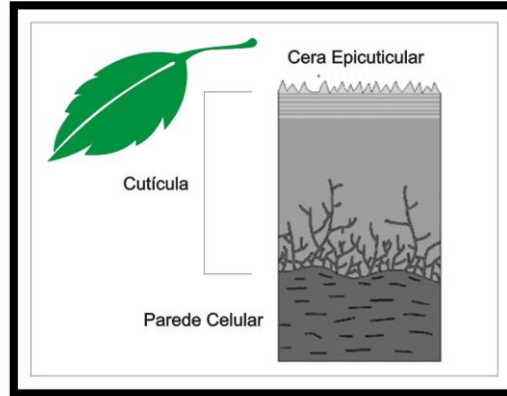


Figura 09: Modelo simplificado da estratificação da cutícula e da cera de uma folha.
Adaptado Fonte: KOCH *et al.* 2008.

As ceras epicuticulares são o tipo mais comum de estrutura celular. Diversas investigações a partir de microscopia eletrônica de varredura mostraram que a maioria das ceras são formadas por estruturas tridimensionais com grandes variações em suas morfologias. Essas ceras são, muitas vezes, visíveis com uma coloração branca ou azulada em algumas frutas, como uvas e ameixas. A Figura 10, mostra em detalhe a cera presente na casca da uva Red Globe, cujo nome científico é *Vitis Vinífera*. Em função de as ceras serem um componente das cutículas das plantas, pode-se concluir que todas as células epidérmicas são cobertas com cera, pelo menos com uma fina camada de moléculas de cera (KOCH *et al.*, 2008).



Figura 10: Cera presente na casca da uva Red Globe. Coloração branca em sua superfície.
Fonte: Fotografias feitas pela autora.

As ceras epicuticulares são finos filmes bidimensionais e/ou estruturas tridimensionais nas superfícies das cutículas da maioria das plantas. No caso de ceras epicuticulares tridimensionais, a espessura pode variar entre 0,5 até 100µm, enquanto que filmes de ceras bidimensionais apresentam espessuras que variam de moléculas de até 0,5µm. Se existem ceras tridimensionais, estas são combinadas com um fino filme de cera bidimensional, que cobre a superfície da cutícula (KOCH *et al.*, 2008).

Ceras epicuticulares tridimensionais são responsáveis pela manutenção da capacidade de absorção de água e das propriedades autolimpantes, do deslizamento de insetos, da absorção da irradiação UV e da redução da adesão de partículas (KOCH *et al.*, 2008).

Conforme Koch *et al.*, (2008), as morfologias de ceras mais comuns são filmes finos e diversas estruturas tridimensionais tais como crostas maciças, fios, chapas horizontais, plaquetas, filamentos, varetas e túbulos. As mais comuns são túbulos e plaquetas como pode ser visto nas micrografias mostrada na Figura 11. Em (a), apresenta uma crosta de cera fissurada da planta *Crassula Ovata*. Em (b), um corte transversal da parede periclinal da planta *Aloe Striata* (indicada por um círculo verde) e a camada do topo com ceras em formato de plaquetas. Em (c), túbulos de cera da planta *Eucalyptus Gunnii* e em (d) a planta *Thalictrum Flavum Glaucum* também com ceras em formatos de túbulos.

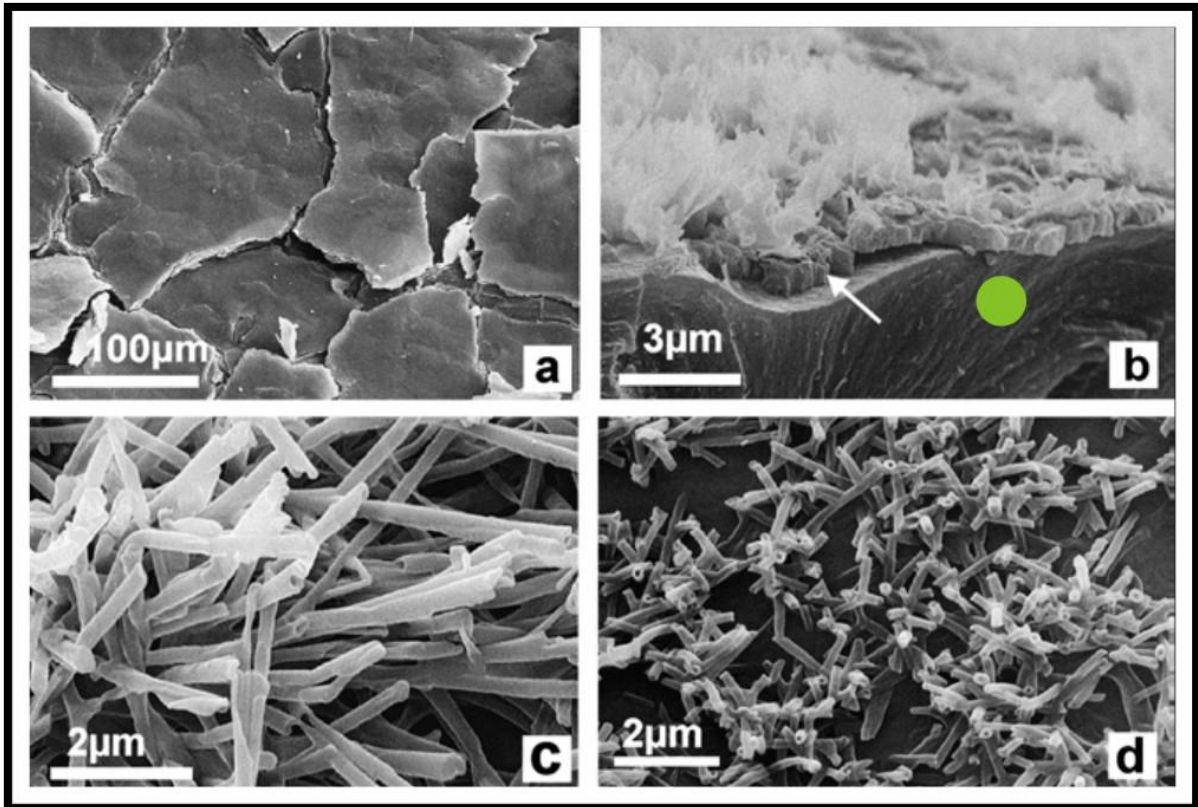


Figura 11: Imagens obtidas a partir do microscópio eletrônico de varredura de alguns tipos de ceras epicuticulares de plantas. Em (a), crosta de cera fissurada da planta *Crassula Ovata*. Em (b), corte transversal da parede pericarpial da planta *Aloe Striata* (indicada por um círculo verde) e a camada do topo com ceras em formato de plaquetas. Em (c), túbulos de cera da planta *Eucalyptus Gunnii* e em (d) a planta *Thalictrum Flavum Glaucum* também com ceras em formatos de túbulos. Adaptado Fonte: KOCH *et al.* 2008.

A presença ou ausência de uma camada de cera na superfície da folha pode ser característica de gênero ou família de cada espécie. Os termos “ceroso” e “não-ceroso” são usados para as superfícies das folhas. Ceroso indica que as superfícies são cobertas por cristais de cera que podem ser reconhecidos com clara saliência pelo MEV, e não-ceroso, também são superfícies cobertas com cera, mas é apresentado como um filme dificilmente visível pelo MEV (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

Segundo Neinhuis e Barthlott (1997), a forma de cada cristal de cera é irrelevante no que diz respeito à propriedade de absorção da água, assim como suas dimensões. Todas as formas de cristais são encontradas em folhas que repelem água.

A área de contato e adesão entre partículas e a superfície são reduzidas devido à rugosidade causada pelos cristais de ceras epicuticulares na superfície das folhas. Como resultado, as partículas aderem à superfície das gotículas de água e são evacuadas. Todo o fenômeno é baseado na razão da tensão interfacial entre a água, a superfície da folha e as partículas (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

Conforme Neinhuis e Barthlott (1997), 200 espécies de plantas foram analisadas em uma pesquisa realizada no Jardim Botânico da Universidade de Bonn, na Alemanha, com o objetivo de medir o ângulo de contato da gota de água na superfície de plantas como também o tipo de cera, conforme é mostrado na Figura 12. A medida do ângulo de contato em uma superfície depende de vários fatores, tais como: a energia da superfície, a rugosidade, a maneira como a superfície foi preparada e a limpeza da superfície.

Segundo Koch *et al.*, (2008), a medida do ângulo de contato é o principal método para caracterização da hidrofobicidade e hidrofiliabilidade de superfícies. O ângulo de contato mede a capacidade de absorção de água em superfícies. No capítulo 2.4.3, será abordado com maior profundidade, a caracterização a partir da medida do ângulo de contato em superfícies.

Na Figura 12, duas espécies de plantas de interesse para esta pesquisa foram marcadas com uma tarja amarela, a *Salvinia Auriculata* e a *Salvinia Mínima*, que apresentam a epiderme da planta como pêlos e os cristais de cera epicuticulares como plaquetas. Já o ângulo de contato da planta não foi informado nesta pesquisa (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

ESPÉCIE	ÂNGULO DE CONTATO	EPIDERME	RELEVO EPIDÉRMICO E CRISTAIS DE CERA EPICUTICULAR
<i>Ranunculus gramineus</i>	160	Convexo	Varetas
<i>Robinia pseudoacacia</i>	158	Convexo	Plaquetas
<i>Rollinia mucosa*</i>	157	Convexo	Varetas
<i>Rumex scutatus</i>	154	Convexo	Túbulos
<i>Salvinia auriculata</i>	-----	Pêlos	Plaquetas
<i>Salvinia minima</i>	-----	Pêlos	Plaquetas
<i>Schizostylis coccinea</i>	162	Papilas	Plaquetas
<i>Sedum spathulifolium</i>	150	Convexo	Fios

Figura 12: Tipo de cera, relevo epidérmico, epiderme e ângulo de contato de gotículas de água em diferentes espécies de plantas.
Adaptado Fonte: NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997.

Nesta caracterização, segundo Neinhuis e Barthlott (1997), a água aplicada nas superfícies das folhas formou gotículas esféricas que rolaram imediatamente para fora da superfície, mesmo com leves ângulos de inclinação. Os ângulos de contato das espécies investigadas variaram de 150° a 160° independente de qualquer tipo de relevo nas superfícies (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

Conforme Neinhuis e Barthlott (1997), a capacidade de absorção de água nas folhas com pêlos dependeu fortemente da presença ou ausência de cristais de cera sobre os tricomas. Folhas sem ceras nos tricomas apresentaram repelência à água por um curto período de tempo. Baseada na investigação das espécies, as folhas que são repelentes à água podem ser divididas em dois grupos:

I - as que mantêm permanentemente a repelência da água;

II - as que mantêm a repelência da água por um curto período de tempo, predominantemente durante a expansão foliar.

As folhas com ceras nos tricomas são extremamente repelentes à água, os tricomas mediram até 2 mm de altura e estavam vagamente distribuídos ao longo da superfície foliar (ex.: *Salvinia Auriculata* e *Pistia Stratiotes*).

As funções dos pêlos podem ser relacionadas a diversos fatores que incluem sua densidade, sua orientação, seu tamanho, formato e sua estrutura de superfície. Estruturas com pêlos são mais complexas. Densas camadas de pêlos também podem diminuir ou aumentar a perda de água e influenciar a capacidade de absorção de água nas superfícies (KOCH *et al.*, 2008).

Muitas das espécies investigadas não apresentaram propriedades repelentes à água por todo seu tempo de vida, uma delas é assinalada com um asterisco (*) na Figura 12. Elas mostraram que essa propriedade apenas durava durante sua expansão foliar e por um período limitado de tempo. Uma considerável erosão da cera das plantas pode ser observada dentro de um período de 4 a 6 semanas, após o crescimento da folha ter cessado. A chuva é a principal causa da erosão da cera na superfície das folhas, pois a água bate nas pontas dos cristais de cera das plantas (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

Segundo a investigação das diferentes espécies de plantas feitas por Neinhuis e Barthlott (1997), foi muito difícil detectar a medida do ângulo de contato da superfície foliar da espécie *Salvinia*. O tipo de relevo epidérmico de cristais de cera epicuticulares foi definido como plaquetas, diferente das outras espécies que apresentaram cristais de ceras com formatos de túbulos, cilindros e filamentos, conforme visto na Figura 12.

Na Figura 13, é possível observar características micromorfológicas de superfícies de folhas repelentes à água de outras espécies investigadas.

As superfícies epidérmicas das folhas repelentes à água mostraram várias características especiais. Muitas folhas repelentes à água se caracterizam pelas células epidérmicas papilosas. Nas superfícies analisadas, aparecem como células únicas ou cada célula formando papilas, ou células epidérmicas divididas em várias papilas, Figura 13 (a) e (b). Muitas espécies mostram uma diferenciação epicuticular na camada da cera. Em uma camada uniforme foram encontrados grupos maiores de ceras, Figura 13 (c) e (d). A escala epidérmica variou de 5 μ m até 100 μ m. Essa

variação de escala não teve quase efeito na capacidade de absorção da água (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

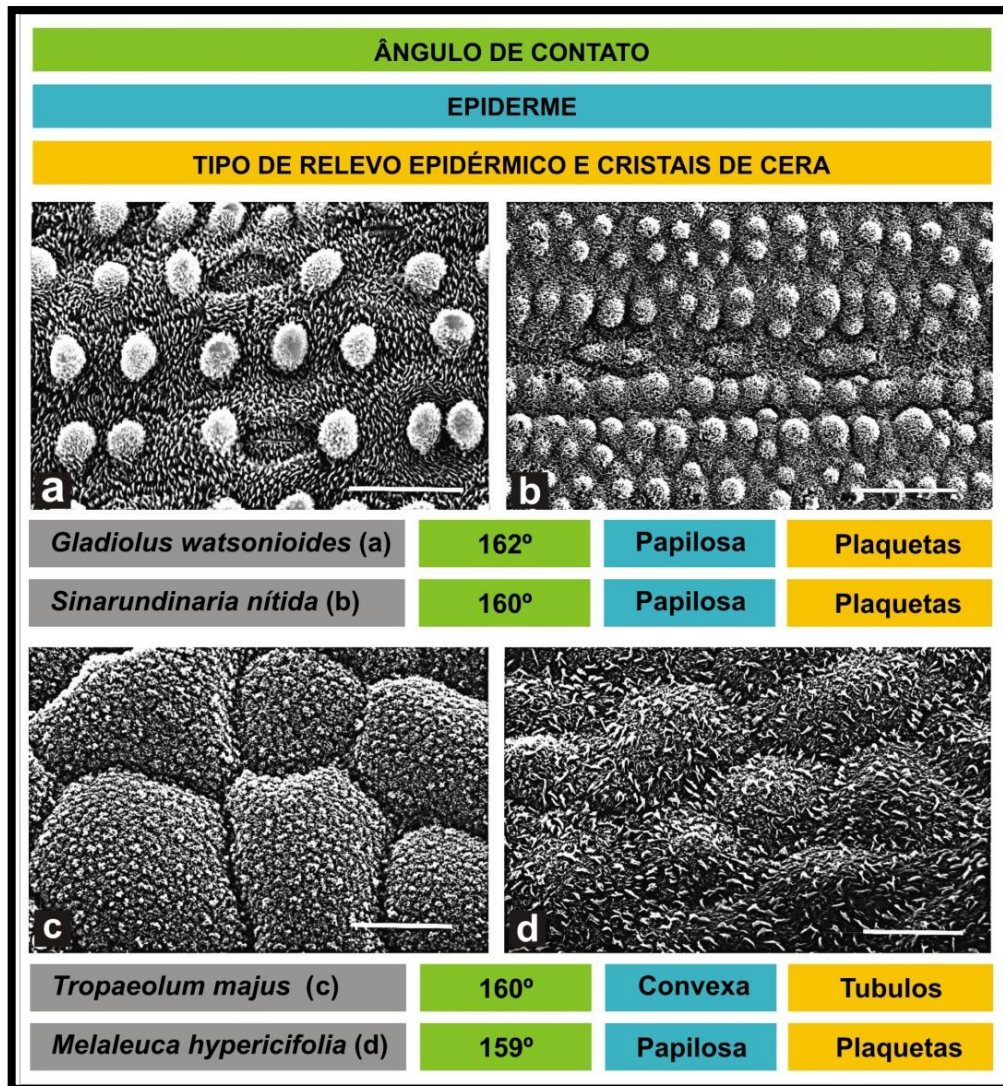


Figura 13: Características micromorfológicas da superfície de folhas repelentes à água de algumas das espécies plantas.

Adaptado Fonte: NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997.

Nesta pesquisa segundo Neinhuis e Barthlott (1997), foi difícil determinar se a repelência das plantas à água depende da densa disposição dos cristais de cera na superfície das plantas.

No próximo capítulo, será abordada a propriedade de absorção de água das plantas aquáticas flor de lótus, pertencente à família *Nelumbonaceae*, e da *Salvinia*

Molesta pertencente à família *Salviniaceae* as quais possuem propriedades superhidrofóbicas e hidrofóbicas.

2.2.1 Plantas Aquáticas

A propriedade de autolimpeza é de extrema importância para plantas aquáticas. *Habitats* aquáticos ou semi-aquáticos são caracterizados pela alta umidade do ar e pela presença de muita água o que dá subsídios a muitos organismos patogênicos: esporos e fungos que precisam de água para a germinação. Plantas aquáticas ou semi-aquáticas são, na maioria dos casos, ervas frágeis com cutículas muito finas e são, dessa forma, facilmente infectáveis. As plantas reduzem esse perigo produzindo uma superfície repelente à água que é limpa a cada precipitação, por exemplo, com a água da chuva ou do orvalho da manhã. Isso dificulta a adesão da água necessária para a germinação dos patógenos. Essa proteção falha se a camada de cera estiver danificada a tal nível que não possa ser substituída com a regeneração da cera ou se um patógeno adaptar-se às condições particulares da superfície das folhas (NEINHUIS; BARTHLOTT, 1997).

Segundo Neinhuis, e Barthlott (1997), a maioria das plantas aquáticas são repelentes à água. Esse grupo também contém espécies com maior rugosidade na superfície. A rugosidade é causada por diferentes elementos estruturais, tais como os tricomas, as paredes das células periclinais papilosas e as ceras epicuticulares, mas não é necessariamente pré-requisito para a capacidade de repelência à água. Considerações teóricas sobre a propriedade de absorção de água revelam que um material hidrofóbico torna-se repelente à água se o ar ficar retido entre a superfície da estrutura e uma gotícula de água.

2.2.1.1 Flor de Lótus

Em diversos países e regiões asiáticas, especialmente na China, a flor de lótus, pertencente à família *Nelumbonaceae* de gênero *Nelumbo Nucífera*, é referenciada como um símbolo de pureza devido a sua propriedade autolimpante.

Muitas plantas na natureza, incluindo a folha do lótus, exibem uma capacidade de absorção de água incomum, características de superhidrofobicidade (propriedade que será abordada no capítulo 2.4), e propriedades de autolimpeza. Essa propriedade de autolimpeza tem sido investigada em profundidade, e a principal razão é a fraca interação entre a superfície e a água resultando na superhidrofobicidade (GUO; LIU, 2007).

A descoberta do efeito lótus é de grande interesse tecnológico. Conforme Guo, e Liu, (2007), muitos resultados de pesquisas, demonstram que a natureza realiza esse efeito fascinante em virtude da sua especial topografia da superfície. As superfícies superhidrofóbicas artificiais são aplicadas não apenas para resistirem à água, mas também prevenir a contaminação. O desenvolvimento da tecnologia e suas aplicações potenciais tem se estendido para novos campos tais como: biocompatibilidade, lubricidade e durabilidade dos materiais.

Segundo Guo, e Liu, (2007), as folhas de lótus desabrochadas são intocadas pela poluição mesmo quando emergem de águas lamacentas, Figura 14 (a). Após a chuva, normalmente é possível observar gotículas esféricas sobre as folhas que levam a sujeira depositada sobre elas, conforme mostra a Figura 14 (b).

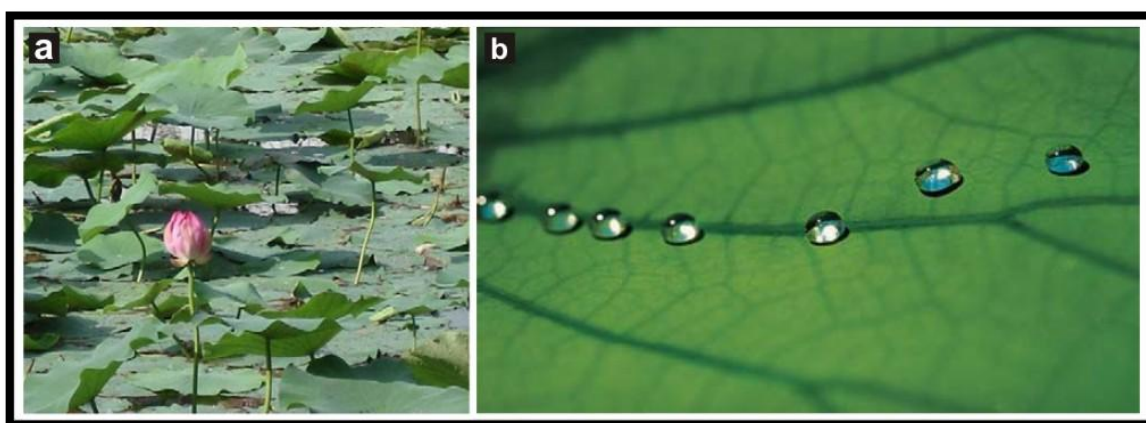


Figura 14: Em (a) folha de lótus em uma lagoa. Em (b) gotículas de água sobre a folha de lótus.
Fonte: STO, 2009 e GUO; LIU, 2007.

Esse fenômeno deve-se à combinação de micro e nanoestruturas na superfície da folha, que minimiza a área de contato de qualquer elemento que entre em contato com a superfície da folha. A Figura 15 (a) e (b) apresenta imagens do MEV da folha de lótus. Pode-se observar claramente que a superfície da folha de

lótus é texturizada com ondulações entre 3 e 10 μ m e cristais de cera, conforme Figura 15 (b). A Figura 15 (a) apresenta picos e vales (calosidades) distribuídos uniformemente nas folhas de lótus, garantindo que a área disponível de contato com a água seja muito pequena, enquanto que as ceras hidrofóbicas evitam a penetração da água nos vales (GUO; LIU, 2007).

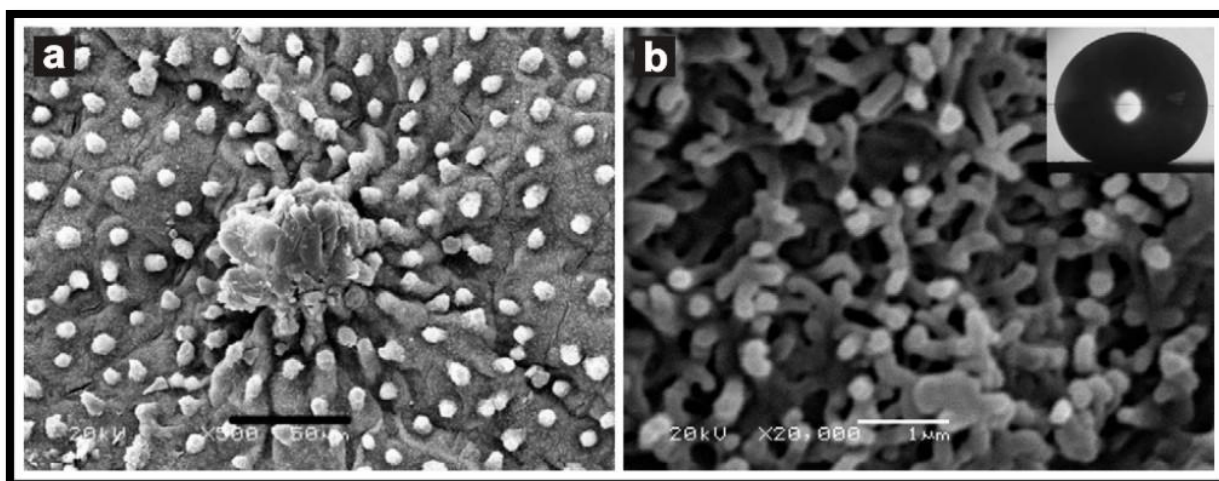


Figura 15: Imagens do MEV (a) e (b), de folhas de Lótus. Em (b) inserção de uma imagem de uma gota de água da folha de Lótus em seu formato esférico, cujo ângulo de contato é de 161°, mostrando uma excelente propriedade superhidrofóbica.

Fonte: GUO; LIU, 2007.

Os cristais de cera que cobrem a superfície geram uma camada de água repelente, reforçada pela rugosidade da superfície. O resultado é que as gotículas de água não molham a superfície, pois tomam formas quase esféricas, resultando em uma superfície superhidrofóbica com um ângulo de contato com a água de 161° e uma baixa histerese de aproximadamente 3°, apresentando propriedades superhidrofóbicas. A histerese do ângulo de contato será abordada no capítulo 2.6.4 (GUO; LIU, 2007).

Segundo Sajadinia e Sharif (2010), a partir da folha de lótus, estudos revelam que a rugosidade em estrutura dupla (em micro e nano escala), é a origem da capacidade de repelência de água. Essa hierarquia de rugosidade nas superfícies sólidas e o ar circundante entre os pilares, possuem um papel crucial na estabilidade da superhidrofobicidade, fazendo com que a gota se acomode na superfície composta pelo sólido (micro e nano pilares) e o ar, aumentando seu ângulo de contato. A Figura 16 esquematiza o modelo dessa estrutura dupla.

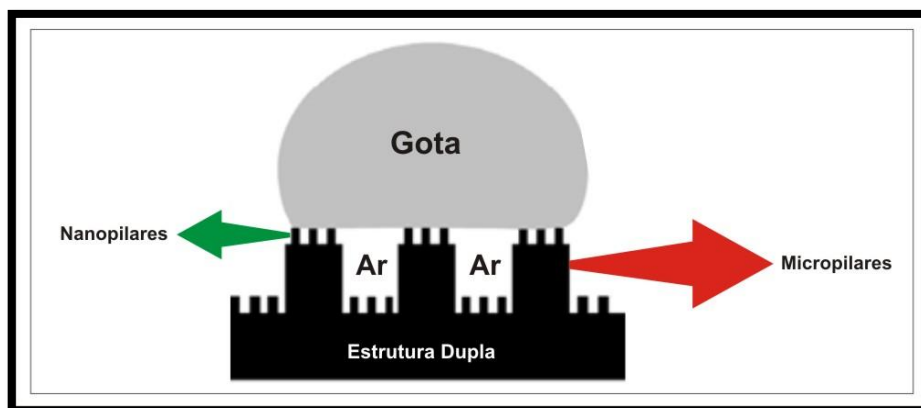


Figura 16: Esquemática de estrutura dupla, rugosidade formada por micro e nanopilares. Adaptado Fonte: SAJADINIA e SHARIF, 2010.

Barthlott (1997) percebeu que o efeito é provocado pela combinação de duas características da superfície da folha: as ceras e as calosidades microscópicas que a recobrem. A presença de cera torna as folhas hidrofóbicas e as inúmeras calosidades fazem com que a superfície do lótus se torne superhidrofóbica. O ar aprisionado entre a água e a superfície da folha, ao redor das calosidades aumenta o ângulo de contato da superfície.

Segundo Ensikat *et al.*, (2009), a água fica em contato apenas com uma parte limitada das estruturas da superfície, em que uma camada de ar fica presa entre a superfície e a água.

2.2.1.2 *Salvinia Molesta*

A *Salvinia* é o único gênero da família *Salviniaceae*, pertencente ao grupo de plantas (PTE) Pteridófitas, (sem semente). São cerca de doze espécies, bem como alguns híbridos (vegetal procriado por duas espécies distintas, mas pertencentes ao mesmo gênero) e vários deles no Brasil. O chamado “complexo auriculata” apresenta as principais plantas infestantes. A característica marcante desse complexo é a presença de pêlos, denominados de tricomas, divididos nas folhas, juntando-se novamente na parte apical onde formam um tipo de “gaiola”, capaz de aprisionar bolhas de ar, o que ajuda na flutuação. Barthlott *et al.*,(2010), também afirma que arquitetura hierárquica da superfície da folha é dominada por complexos pêlos elásticos no formato de “batedores de ovos” revestidos por cristais de cera (KISSMANN,1997).

As espécies do “complexo auriculata” são as seguintes:

- *Salvinia auriculata* Aubl.
- *Salvinia biloba* Raddi
- *Salvinia herzogii* Sota
- *Salvinia Molesta* D.S.Mitchell

A *Salvinia Molesta* é uma das espécies do “complexo auriculata” se destaca como a mais importante espécie infestante. Isto é, sob condições favoráveis formam enorme massa vegetativa na superfície da água, impedindo a navegação, obstruindo turbinas e também afetando a vida de peixes e outros organismos.

Segundo Kissmann (1997), a textura da folha da *Salvinia Molesta*, apresenta milhares de pêlos denominados de tricomas com altura de 2mm, alinhados de forma precisa um ao lado do outro conforme mostra a Figura 17 (c). São plantas de até 30cm de comprimento, que são formadas em grupos, Figura 17 (a).

São acaules (sem caule), estendendo-se de rizomas (tipo de caule) flutuantes em sentido horizontal, sempre em grupos de três, ficam expostas na superfície para efetuar a fotossíntese. A Figura 17 (b) apresenta as frondes, que são as folhas verdes. Os tricomas têm como característica principal, repelir a água, deixando a superfície sempre limpa e seca (KISSMANN,1997).

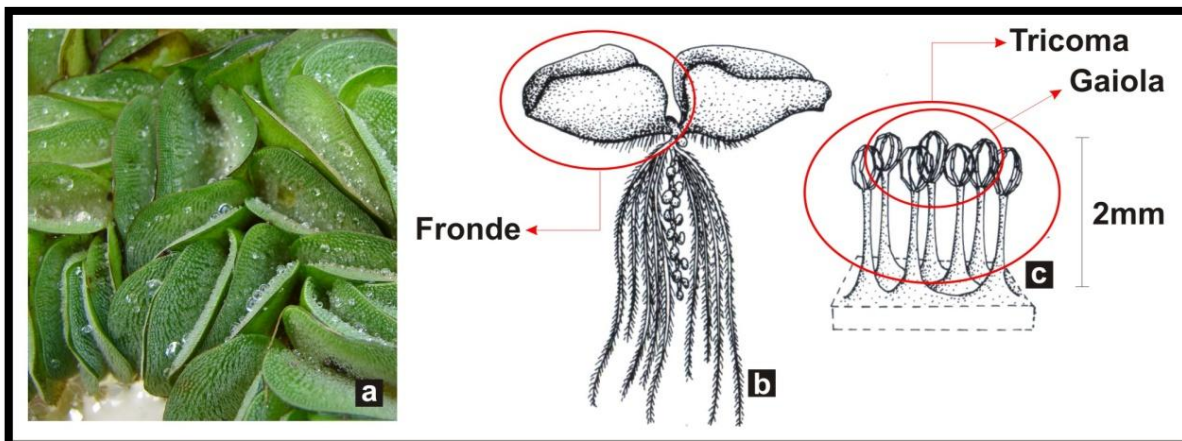


Figura 17: Em (a) Planta *Salvinia Molesta*. Em (b) Ilustração da Planta, e em (c) Ilustração dos tricomas terminados em “gaiolas”. Adaptado Fonte: KISSMANN,1997.

Segundo Kissmann (1997), o aspecto das frondes varia conforme a situação. Em plantas novas e em ambiente aberto, são pequenas, com cerca de 10mm de diâmetro. Numa segunda fase, crescem até 25mm de comprimento. Numa terceira fase, ocorre um desenvolvimento lateral, até 40mm. A Figura 17 (a), mostra que na face superior das frondes ocorrem pêlos muito singulares, hidrofóbicos. E na parte apical (superior), formam uma estrutura de “gaiola”, que ajuda a manter bolhas de ar quando submersa. Essa estrutura é típica de plantas do “complexo auriculata”.

As áreas superiores de cada pêlo carecem de cristais de cera e formam fragmentos hidrofílicos regularmente distribuídos, cobrindo aproximadamente 2% do que, de outra maneira, seria uma superfície completamente hidrofóbica. Esses fragmentos hidrofílicos estabilizam a camada de ar, segurando a interface ar-água nas pontas desses pêlos. Submersa em água, as folhas são capazes de reter uma camada de ar por diversas semanas (BARTHLOTT *et al*, 2010).

Segundo Barthlott *et al.*,(2010), a combinação de fragmentos hidrofílicos em superfícies hidrofóbicas - chamado de “efeito salvinia” proporciona um conceito promissor para o desenvolvimento de revestimentos com propriedades de retenção de ar a longo prazo.

Conforme Barthlott *et al.*, (2010), o lado superior das folhas da *Salvinia Molesta* é densamente coberto por complexos pêlos (tricoma), conforme é mostrado

na Figura 18 (a). Com o auxílio do MEV, observam-se terminações de quatro pêlos conectados, formando uma estrutura no formato de um batedor de ovos, mostrado na Figura 18 (b). A Figura 18 (c) apresenta as folhas adultas da planta *Salvinia Molesta*, na qual a célula terminal de cada pêlo forma uma capa. Com exceção dessas quatro células, toda a folha é coberta por cristais de cera, conforme mostra a Figura 18 (d).

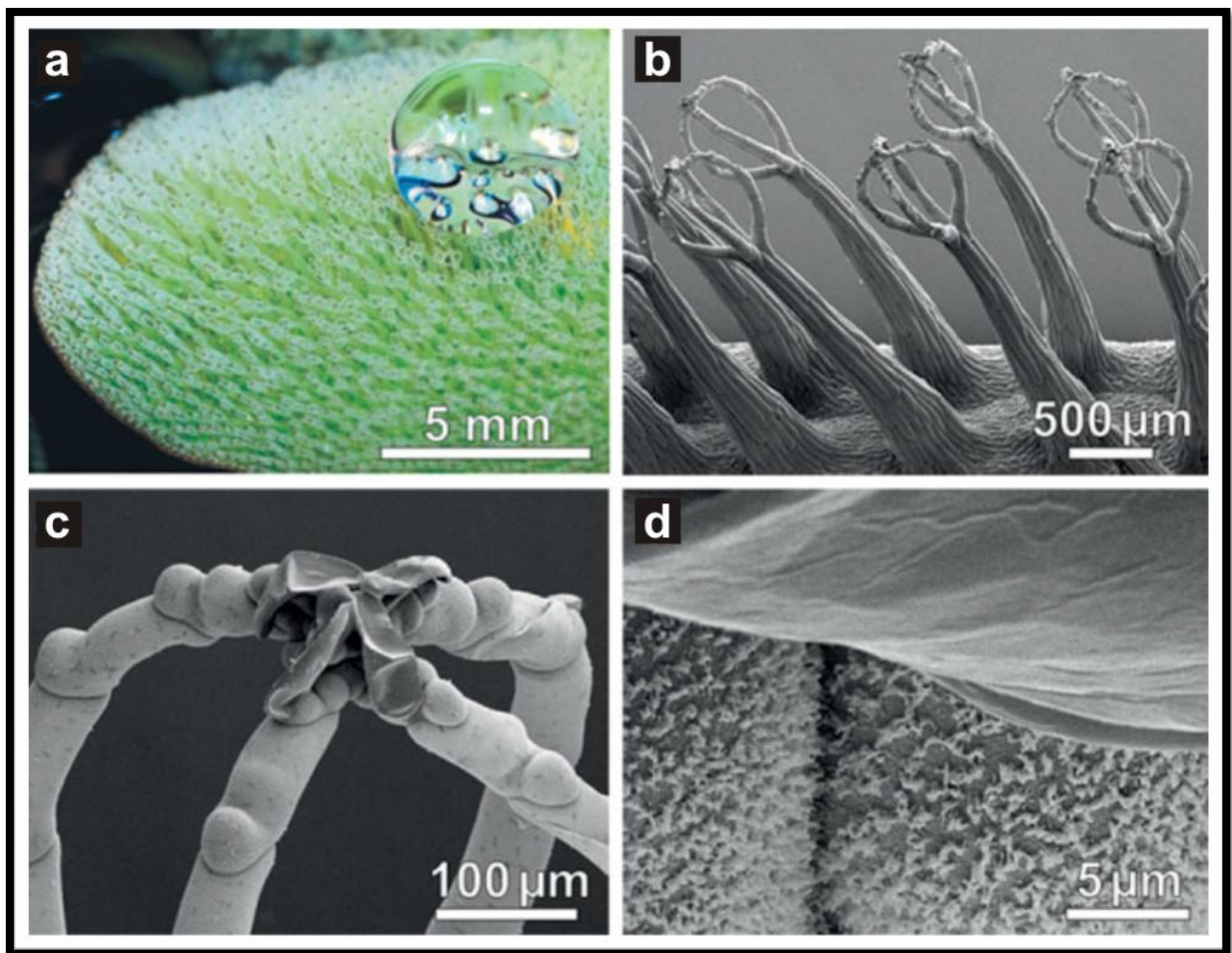


Figura 18: Imagem da planta *Salvinia Molesta*. Em (a), superfície foliar densamente coberta por pêlos. Em (b), quatro pêlos agrupados em cima de uma haste conduzindo a uma estrutura. Em (c), célula terminal de cada pêlo, formando uma capa de quatro células na parte superior. Em (d), superfície foliar coberta por cristais de cera com exceção da parte superior.

Fonte: BARTHLOTT *et al*, 2010.

Gotas de água aplicadas sobre a planta *Salvinia Molesta* formam esferas, confirmando uma forte hidrofobicidade da planta, conforme mostra a Figura 19 (a) e (b). A adesão da gota é tão forte, que os pêlos elásticos se curvam e balançam de volta quando as pontas se separam da gotícula, indicando que as pontas das

estruturas dos pêlos facilmente se molham com a água. Para testar, foi realizado um experimento com folhas frescas congeladas da planta, cobertas com uma solução de água e glicerol e observou-se a zona de contato, realizando um escaneamento MEV com câmera de vácuo. A Figura 19 (b) e (c) mostram a vista lateral das células terminais molhadas pela solução (BARTHLOTT *et al*, 2010).

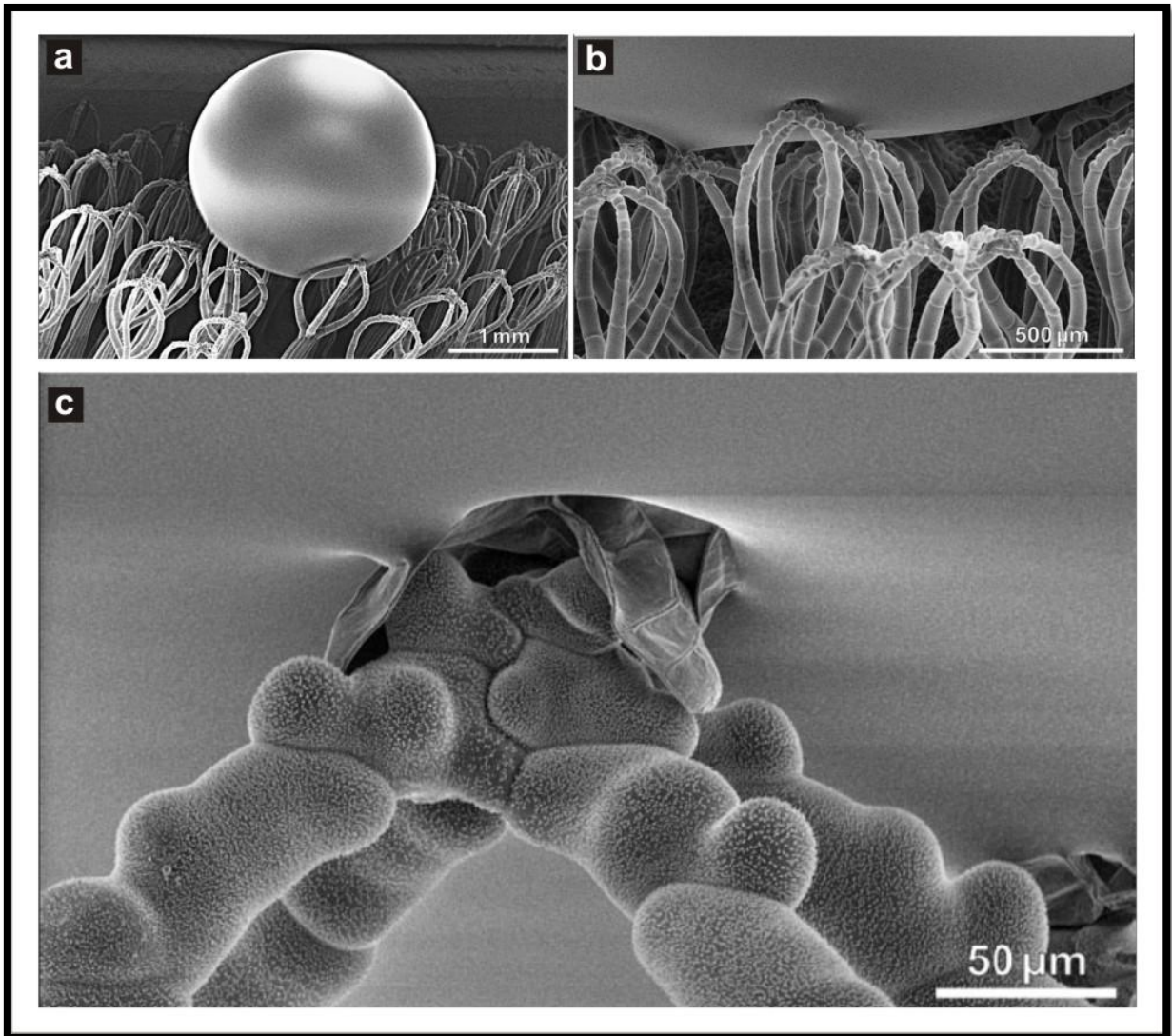


Figura 19: Escaneamento a partir do microscópio eletrônico de baixa temperatura da folha da *Salvinia Molesta* com as gotas congeladas e aplicadas com uma solução aquosa de glicerol. Imagem (b) e (c), vista lateral da zona de contato hidrofílica.

Fonte: BARTHLOTT *et al*, 2010.

Em outro experimento, segundo Barthlott *et al.*, (2010), para identificar a distribuição e o tamanho dessas áreas molháveis, folhas frescas de *Salvinia Molesta* foram submergidas em água destilada com 0,01% de azul de metileno e analisadas por microscopia óptica. A parte superior de cada estrutura de batedor de ovos ficou

manchada, conforme mostra a Figura 20 (a), indicando apenas essas poucas partes como hidrofílicas.

Essas pequenas áreas, das pontas do tricomas, possuem uma alta molhabilidade, enquanto que, nas partes hidrofóbicas da planta, a solução de azul de metileno aderiu apenas nas pontas dos cristais de cera. As partes hidrofílicas delimitam a interfase água – ar nas pontas das estruturas de batedor de ovos e, desta forma previnem um desprendimento parcial e a perda de ar devida às oscilações (BARTHLOTT *et al*, 2010).

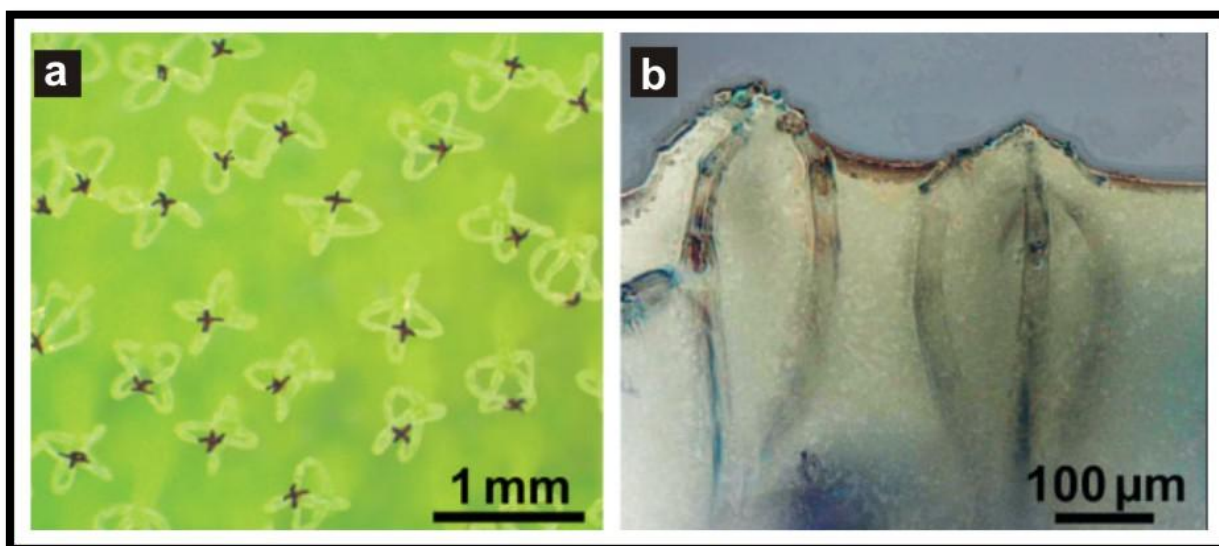


Figura 20: Em (a) microscopia óptica da superfície foliar após submersão em 0,01% de solução de azul de metileno. Áreas hidrofílicas foram coradas com a solução. Em (b) microscopia óptica da interface ar-água sobre uma folha submersa de *Salvinia Molesta*.

Adaptado Fonte: BARTHLOTT *et al*, 2010.

Conforme Barthlott *et al.*, (2010), com a ajuda de um microscópio óptico foi investigada a interface do topo das folhas submersas em água da *Salvinia Molesta* para investigar as propriedades da interface água-ar. A Figura 20 (b) mostra que as estruturas com formato de batedor de ovos agem de forma muito eficiente, como pilares que suportam a interface água-ar, similar a uma tenda ou uma cabana.

Segundo Barthlott *et al.*,(2010), a função dos pêlos no formato do batedores de ovos é óbvia: eles permitem a apreensão de uma fina camada de ar que alcança a superfície da folha até a ponta dos pêlos.

A combinação de partes hidrofílicas e hidrofóbicas serve para um propósito em comum: a estabilização da interfase água-ar no topo dos pêlos. Quando a interface água-ar se aproxima da superfície da planta é necessário energia para que a superfície dos pêlos hidrofóbicos sejam molhados. Portanto, as propriedades elásticas dos pêlos com formato de batedor de ovos são altamente vantajosas (BARTHLOTT *et al*, 2010).

Conforme Barthlott *et al.*,(2010), o desenvolvimento de superfícies técnicas que retêm o ar se restringe à capacidade limitada de manter a camada de ar por tempos maiores. O “efeito salvinia”, ou seja, a retenção da interface água-ar a um nível pré-definido pelas partes hidrofílicas é a chave para a solução desse propósito, abrindo perspectivas intrigantes para o desenvolvimento de projetos de superfícies artificiais baseadas nesse efeito com propriedades de retenção de ar por um período maior de tempo.

2.3 SISTEMA DE ORGANIZAÇÃO FORMAL NA NATUREZA

O crescimento espiralado dos vegetais é uma constante e pode ser encontrado em uma semente de germinação, no crescimento vertical e no deslocamento dos ramos e das folhas em torno dos galhos. As plantas se desenvolvem em equilíbrio, ritmo e a harmonia (BARTOLO, 1995).

A natureza é fonte poderosa de cores, formas, texturas e estruturas que podem ser observadas a olho nu ou com o auxílio de instrumentos. Podemos dividir as unidades biológicas em macroscópicas e microscópicas. A macroscopia refere-se a tudo que enxergamos sem o auxílio de instrumento de ampliação; nosso olho não é um instrumento perfeito e, muitas vezes, se limita no que se refere a características microscópicas. A microscopia permite observações que estão fora do alcance da visibilidade humana, nos permite uma visão microestrutural.

Quando se realiza um ensaio microscópico é possível observar elementos minúsculos. As unidades de medidas em microscopia compreendem o micrômetro

cujo símbolo é (μm), e o nanômetro de símbolo (nm). Segundo Callister (2002), um micrômetro (μm), é igual a 10^{-6} metros (0,000001m). Um nanômetro (nm), corresponde a 10^{-9} metros (0,000000001m).

As estruturas são observadas por uma questão de escala, quando ampliadas torna-se visível as formas básicas, dentre estas devemos extrair as essenciais, conforme é mostrado na Figura 21. Em (a) o círculo, em (b) o triângulo equilátero e em (c) o quadrado. Essas três formas básicas podem gerar todas as outras mediante variações de seus componentes (MUNARI, 1997).

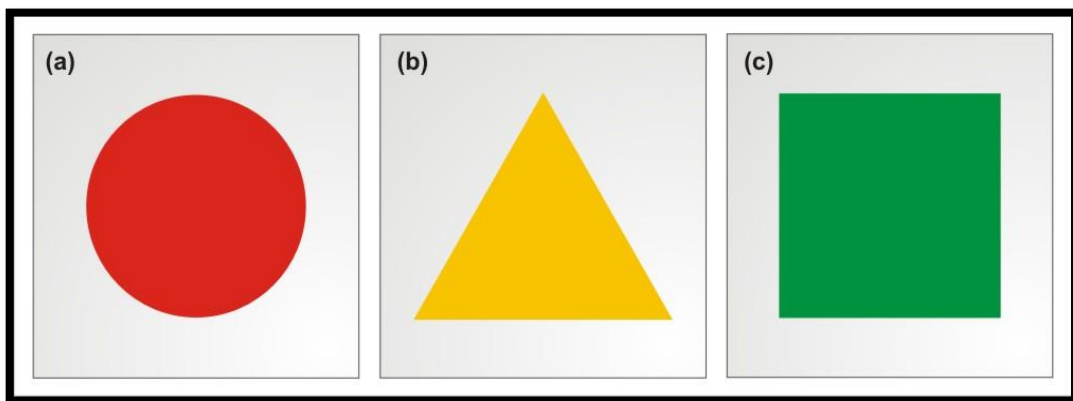


Figura 21: Formas básicas que compõem uma textura. Em (a) círculo, (b) triângulo equilátero, e em (c) quadrado. Adaptado Fonte: MUNARI, 1997.

Essas formas, muitas vezes, nos passam despercebidas. Analisadas microscopicamente nos mostram características da forma, como ângulos, lados e curvas. Segundo Munari (1997), analisando microscopicamente a nervura da folha da figueira da índia, é possível observar a estrutura de um hexágono deformado, conforme mostra a Figura 22, e uma estrutura interna ligeiramente diferente de módulo para módulo (hexágono), por necessidade vital da planta.

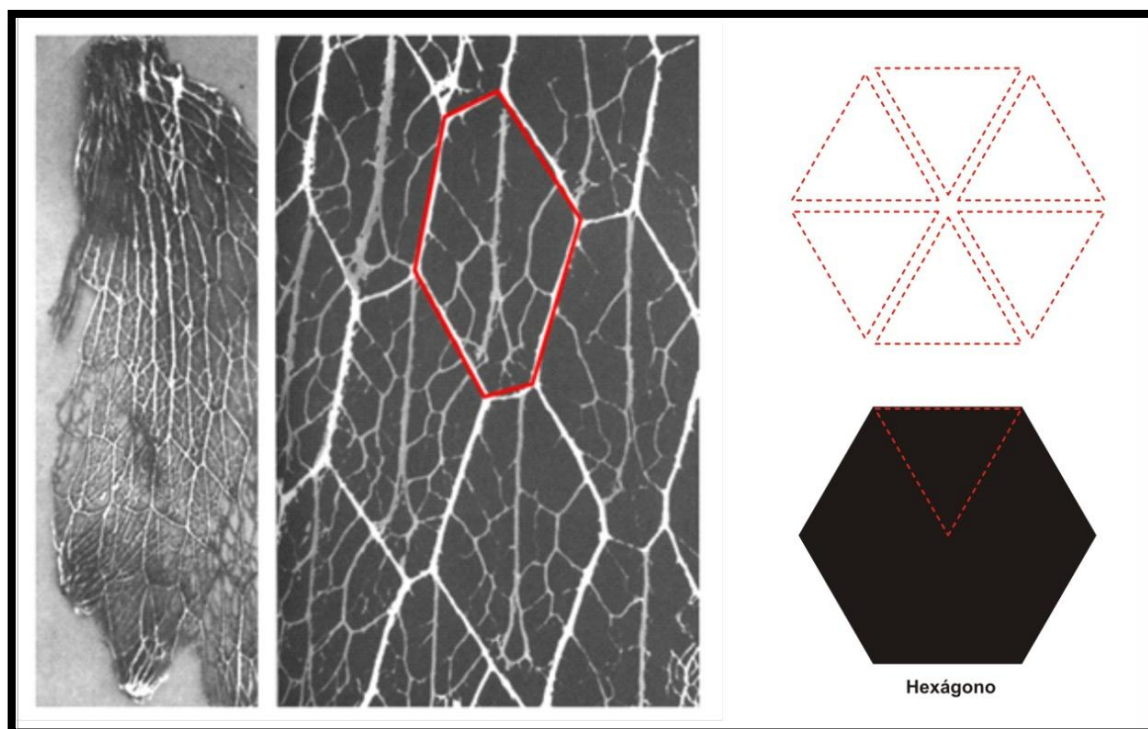


Figura 22: Hexágono aplicado sobre a ampliação na estrutura da folha da figueira da índia.
Adaptado Fonte: MUNARI, 1997.

A resistência estrutural de uma superfície é obtida com a qualidade geométrica e uma boa execução do modelo estrutural. Cada forma natural reflete o estado e as exigências de que o ambiente necessita. Quando muda o ambiente, mudam as exigências (BARTOLO, 1995).

Segundo Koch *et al.*, (2008), o contorno de uma única célula epidérmica é normalmente visível pelo MEV. Os limites de duas paredes de células perpendiculares são chamados de paredes anticlinais, enquanto que a área externa da superfície da célula é chamada de parede periclinal.

Os contornos básicos são apresentados esquematicamente na Figura 23, que são tetragonais e poligonais; esses dois formatos básicos podem variar. Se todos os lados da célula tiverem um comprimento uniforme, a forma é chamada de isodiamétrica e, quando dois lados das células são mais longos que os outros, são chamados de alongadas (KOCH *et al.*, 2008).

A Figura 23 apresenta uma ilustração desses formatos básicos:

I) Células tetragonais com comprimento equivalente;

II) Tetragonal alongado;

III) Células poligonais;

IV) Células poligonais alongadas

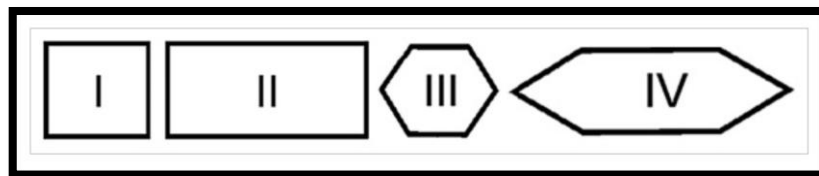


Figura 23: Esquemática do contorno básico das células epidérmicas.
Adaptado Fonte: KOCH *et al.* 2008.

Segundo Koch *et al.*, (2008), as superfícies das células nem sempre são homogêneas em suas estruturas. As diferentes regiões dentro da superfície da célula dividem a área da célula em uma parte interna, chamada de campo central e uma parte externa chamada de campo anticlinal. A Figura 24 apresenta a divisão estrutural da superfície de uma única célula:

(A) Anticlinais, (área da célula diretamente conectada);

(CA) Campo anticlinal;

(PC) Parede central, (que delimita o campo central);

(SC) Meio da superfície da célula.

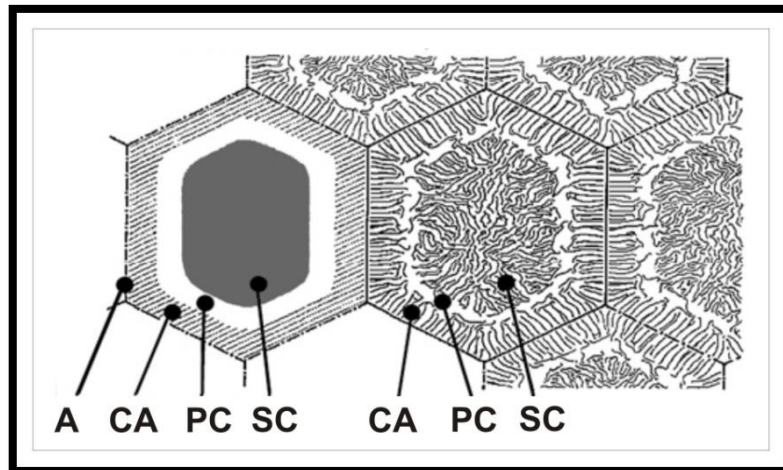


Figura 24: Esquematização da divisão estrutural da superfície das células.
Adaptado Fonte: KOCH *et al.* 2008.

2.4 CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DE SUPERFÍCIES

As superfícies podem ser denominadas hidrofóbicas, superhidrofóbicas, hidrofílicas ou superhidrofílicas. Nas superfícies que absorvem água com ângulos de contato baixos, os fluídos se espalham e cobrem uma grande área. Essas superfícies devem ser denominadas de superhidrofílicas quando o ângulo de contato da água na superfície é menor que 10° .

Superfícies com ângulos de contato maior ou igual a 10° e menor que 90° são denominadas superfícies hidrofílicas. Superfícies que não absorvem água têm ângulos de contato altos, significando que o líquido na superfície forma gotículas semi-esféricas ou esféricas.

Superfícies nas quais o ângulo de contato é maior ou igual a 90° e menor que 150° , são hidrofóbicas. Já as superfícies superhidrofóbicas são aquelas cujo ângulo de contato estático é maior ou igual a 150° . A Figura 25 esquematiza esse aumento da capacidade de absorção de água (KOCH *et al.* 2008).

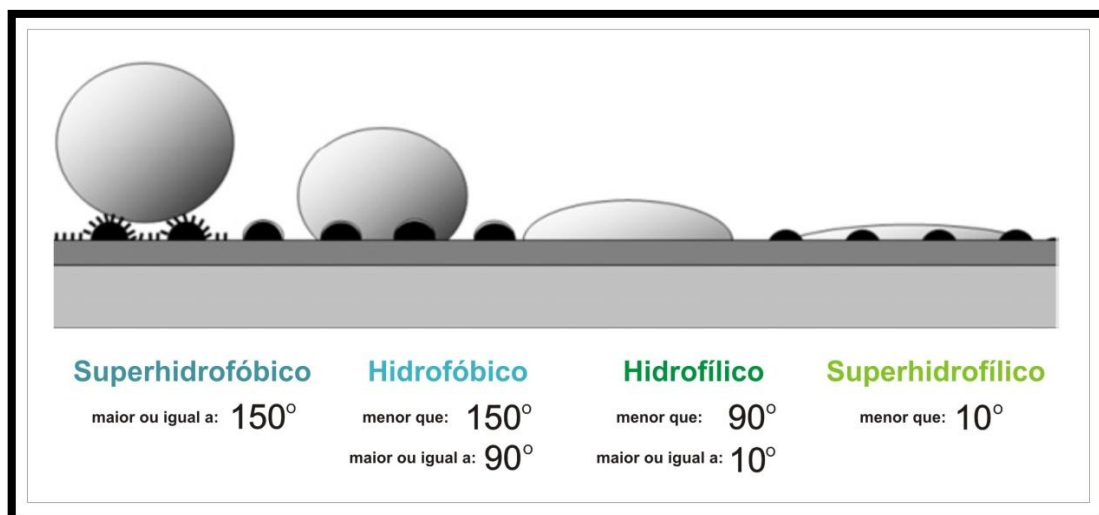


Figura 25: Aumento da capacidade de absorção de água.
Adaptado Fonte: KOCH *et al.* 2008.

2.4.1 Hidrofobia

A Hidrofobia refere-se à capacidade de repelência de água. Algumas partes da superfície das plantas, insetos e animais possuem capacidades hidrofóbicas, isto é, repelem água. Superfícies com o ângulo de contato maior que 90° são chamadas de hidrofóbicas; superfícies com ângulo de contato entre 150° e 180° são chamadas de superhidrofóbicas.

Os elementos da natureza apresentam uma infinidade de propriedades que os mantêm limpos e vivos. Um exemplo de autolimpeza dos seres vivos são as asas das borboletas.

As asas das borboletas após emergirem de sua crisálida, não podem mais crescer ou mudar, também não podem se auto-reparar se forem danificadas ou destruídas. Elas apresentam propriedades superhidrofóbicas, sendo capazes de limpar resíduos, com a presença de alguma umidade deixando-as sempre limpas e secas. Nesse caso, a propriedade superhidrofóbica das asas serve como mecanismo de defesa para sua sobrevivência (CONG *et al.*, 2004).

A superfície da asa da borboleta é composta por uma microestrutura de escamas que, na biologia, é chamada de superfície não lisa. Esse tipo de superfície

possui características superhidrofóbicas, o chamado efeito lótus autolimpante. Em experimento realizado da asa de uma borboleta do gênero *Vanessa Cardui* da família *Nymphalidae* a partir da caracterização por MEV, observou-se o formato das escamas, conforme mostrado a Figura 26, que (a) e (b) apresentam a face superior da asa e (c) e (d) a face inferior (CONG *et al.*, 2004).

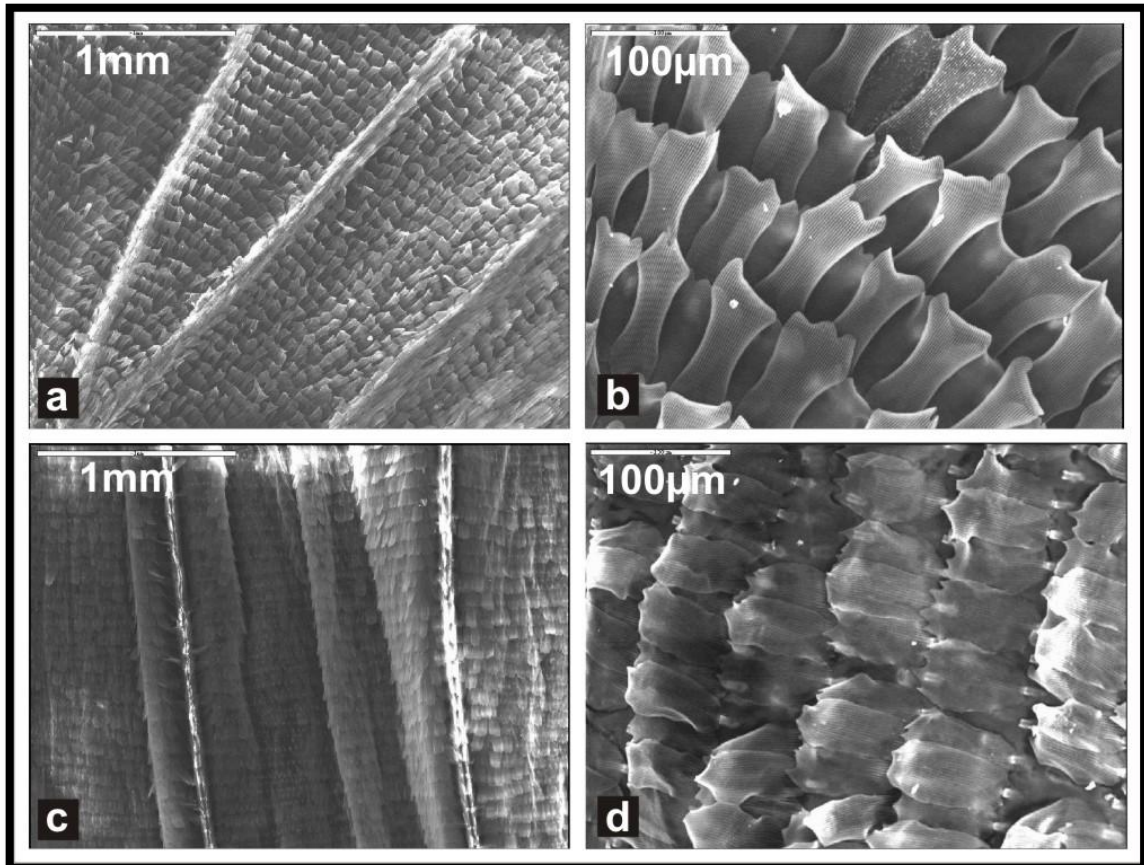


Figura 26: Micrografia a partir do MEV da asa da borboleta *Vanessa Cardui*. Em (a) e (b) apresenta a face superior da asa. Em (c) e (d) a face inferior.

Adaptado Fonte: CONG *et al.*, 2004.

Conforme Cong *et al.*, (2004), outro experimento realizado com algumas espécies de borboletas constatou que a medida do ângulo de contato das gotículas de água na superfície das asas das borboletas mediram aproximadamente 150° com escamas e 100° sem escamas. As medidas do ângulo de contato da superfície da asa com e sem escamas mostraram que as características de superhidrofobia, é uma consequência da microestrutura das escamas.

2.4.2 Hidrofilia

Ao contrário da hidrofobia, a hidrofilia é o termo que se refere à capacidade de absorção à água.

Conforme Bhushan e Jung (2006), a capacidade de absorção de água, ocorre quando as superfícies possuem um ângulo de contato menor de 90°. Já no caso de uma superfície a superhidrofílica, o ângulo de contato da água é menor que 10°. A estrutura de uma superfície hidrofílica é lisa, ausente de cera, diferente de uma superfície hidrofóbica, estruturada, rugosa e que apresenta cristais de cera em sua superfície.

2.4.3 Medida do Ângulo de Contato

Segundo Koch *et al.*, (2008), uma gotícula em uma superfície sólida molha a um determinado grau. A medida que essa superfície fica molhada pode ser descrita pelo ângulo de contato. Um ângulo de contato alto descreve superfícies nas quais uma gotícula de água toma um formato esférico ou semi-esférico. O ângulo de contato de um líquido em uma superfície depende da tensão superficial (forças moleculares do líquido envolvido, superfície sólida e o ar circundante).

O comportamento dos líquidos é diferente quando aplicado em superfícies lisas ou estruturadas. O ângulo de contato dado pela equação de Young's ou pelo ângulo de contato de Young é o ângulo de equilíbrio estático. A tensão interfacial entre γ_{LA} (líquido-ar), γ_{SL} (sólido-líquido) e γ_{SA} (sólido-ar) determina o ângulo de contato de uma gotícula líquida em uma determinada superfície, conforme é mostrado no esquematicamente na Figura 27 e são descritas pela equação 01 (KOCH *et al.*, 2008).

$$\gamma_{SA} - \gamma_{SL} = \gamma_{LA} \cos \theta \quad \text{Equação 01}$$

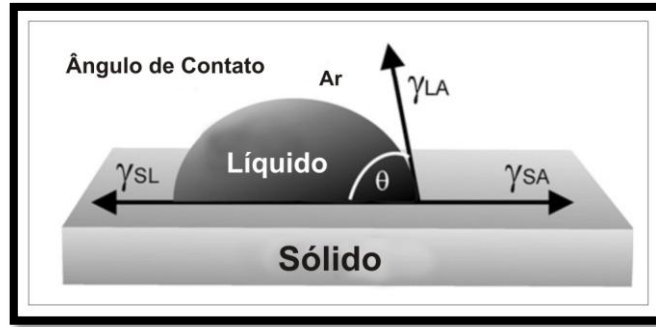


Figura 27: Ângulo de Contato.
Adaptado Fonte: KOCH *et al.*, 2008.

A Figura 28 apresenta um esquema de uma superfície convencional e uma microtexturizada. A imagem (a) ilustra uma superfície convencional, portanto suscetível à absorção de água, e as imagens (b) e (c), apresentam uma superfície microtexturizada que reduz a área de contato da sujeira e da água. A água da chuva, ou orvalho cai sobre a superfície, levando imediatamente as partículas de sujeira depositadas sobre ela (STO, 2009).

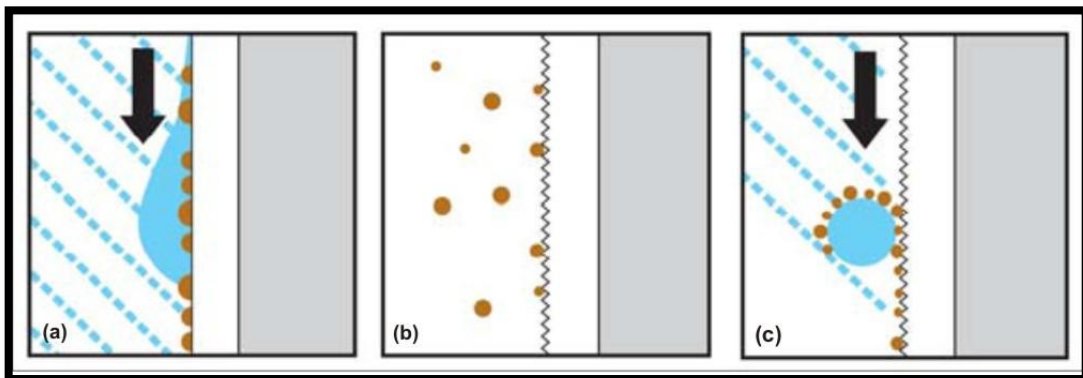


Figura 28: Esquema de partículas de sujeiras (bolinhas marrons) e de uma gota de água aplicada em uma superfície convencional (a), e em uma superfície texturizada (b) e (c).
Adaptado Fonte: STO, 2009.

Segundo Sto (2009), a microestrutura da Lotusan, (tinta desenvolvida a partir das propriedades da folha do lótus), segue o exemplo da planta, diminuindo a superfície de contato com a água e a sujeira. O resultado proporciona uma fachada limpa e seca. Essa tinta é indicada especialmente para locais onde existe a probabilidade de aparecimento de fungos e algas.

Segundo Neinhuis e Barthlott (1997), as folhas de lótus apresentam fortes propriedades autolimpantes. A planta possui o ângulo de contato com a água bastante alto de 161° . Conforme Sto, (2009), quanto maior for o ângulo de contato de uma gota em uma superfície maior será a repelência de água. A Figura 29 (a) ilustra os ângulos de contato de uma superfície lisa e hidrofílica, e em (b), uma superfície microtexturizada e hidrofóbica.

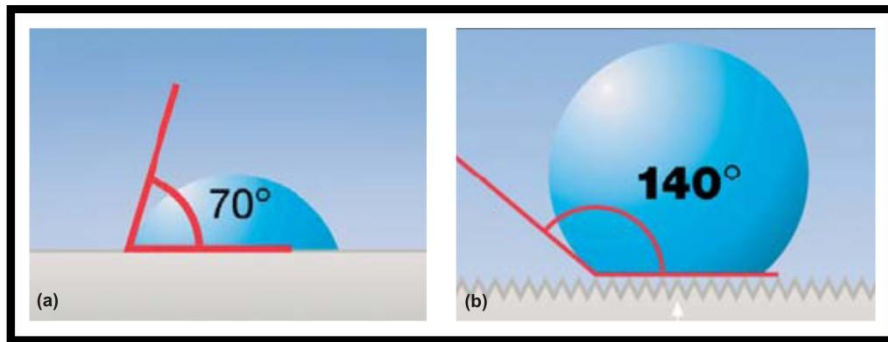


Figura 29: Esquematização da medida do ângulo de contato de uma gota de água aplicada em uma superfície lisa (a) e rugosa (b).
Adaptado Fonte: STO, 2009.

A histerese do ângulo de contato é responsável pela adesão da gota que esteja se movendo na superfície. É definida como a diferença entre os ângulos de contato de avanço e de recuo dessa gota em movimento, conforme é mostrado pela Figura 30, onde (θ avanç.), significa ângulo de contato de avanço e (θ rec.), ângulo de contato de recuo (KOCH *et al.*, 2008).

$$\text{Histerese} = \theta \text{ avanç.} - \theta \text{ rec.}$$

Equação 02

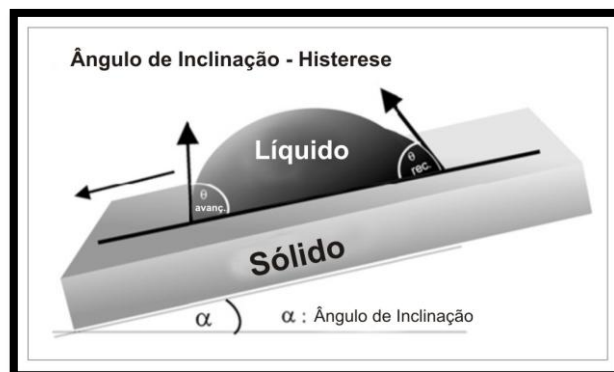


Figura 30: Ângulo de Inclinação – Histerese.
Adaptado Fonte: KOCH *et al.*, 2008.

A histerese é definida como grau de inclinação de uma superfície na qual uma gotícula de água começa a se mover, rolar para fora quando a superfície é inclinada a um determinado ângulo. Isso em uma superfície repelente à água. Ângulos de histerese baixos, menores que 10° são características de superfícies superhidrofóbicas e autolimpantes, enquanto que a combinação de um alto ângulo de contato com alto ângulo de histerese não se torna superhidrofóbico. (KOCH *et al.*, 2008).

O ângulo de contato de uma gotícula que se move sobre uma superfície sólida é maior na parte atrás da gota, devido à rugosidade e a heterogeneidade da superfície. A gota na parte da frente fica com uma maior elevação do que da parte atrás (BHUSHAN, JUNG, 2006).

Então são denominadas superfícies superhidrofóbicas aquelas cujo ângulo em contato com a água seja maior que 150° e o ângulo de histerese menor que 5° (SAJADINIA; SHARIF, 2010).

2.5 SUPERFÍCIES ARTIFICIAIS

As superfícies das plantas e suas propriedades estimulam o desenvolvimento de novas superfícies e materiais Biomiméticos. Investigações vêm sendo realizadas para o desenvolvimento de superfícies artificiais com capacidades superhidrofóbicas. A superhidrofobicidade é baseada na rugosidade da superfície em micro e nano escala e na combinação com a química da superfície. Para a produção de superfícies com essas propriedades, existem diferentes tecnologias (KOCH *et al.*, 2008).

Wilhelm Barthlott, descobriu e desenvolveu o “efeito lótus”, a partir da observação da folha de lótus, cuja superfície técnica micro e nanoestruturada autolimpante foi criada e patenteada por ele. A tinta para fachadas Lotusan® foi o primeiro produto disponível no mercado desenvolvido a partir dessa pesquisa.

Lançada pela multinacional alemã Sto AG em 1999, essa tinta possui propriedades superhidrofóbicas altamente repelentes à água (KOCH *et al.*, 2008).

Existem apenas dois mecanismos que tornam uma superfície autolimpante. O primeiro é descrito por uma superfície superhidrofóbica com estrutura dupla como a folha de Lótus como visto anteriormente, (Figura, 16) e o segunda é uma superfície superhidrofílica fotocatalítica, em que o mineral semiconductor dióxido de titânio (TiO_2), está presente na camada mais externa da superfície, levando quaisquer materiais orgânicos que aderirem sobre ela (KOCH *et al.*, 2008).

Filmes finos de TiO_2 possuem uma propriedade oposta à do lótus: a superhidrofilicidade. A água forma uma camada sobre a superfície de um material superhidrofílico, desaloja e remove a sujeira à medida que escoar, conforme mostra a Figura 31. A superhidrofilicidade também evita que a superfície embace, porque a água se espalha, impedindo a formação de inúmeras gotículas que causam o embaçamento (SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL, 2008).

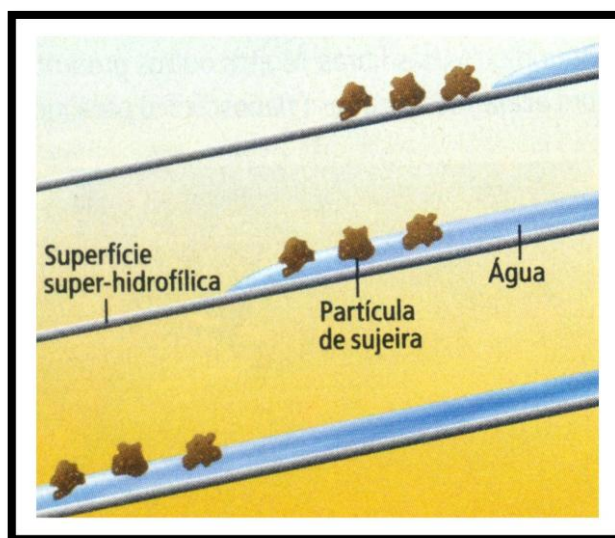


Figura 31: Esquemática de uma superfície superhidrofílica.
Adaptado Fonte: SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL, 2008.

Segundo Watanabe *et al.*, (1999), filmes finos de TiO_2 na faixa de micrômetros e nanômetros de espessura funcionam como fotocatalisador, isto é, possuem efeito oxidante forte quando ativado por radiação ultravioleta (UV), quebrando compostos orgânicos. O TiO_2 , é um dos óxidos encontrados na natureza

mais investigados devido a sua importante aplicação na limpeza ambiental. Além disso, a cobertura hidrofílica (ângulo de contato com a água de 0°C graus) surge como uma nova e muito atrativa aplicação do dióxido de titânio. A ação fotocatalítica do TiO₂ acrescenta outras propriedades como desodorização e desinfecção à capacidade de autolimpeza dos itens revestidos com essas películas, pois quebram as moléculas orgânicas e matam as bactérias. Produtos tais como, telhas de cerâmica fotocatalíticas autolimpantes já foram desenvolvidos. O fato de nanorevestimentos de TiO₂ serem transparentes, os vidros de janelas são uma aplicação imediata.

Pesquisadores Japoneses realizaram uma descoberta sobre o dióxido de titânio, do qual prepararam um filme fino a partir de uma suspensão aquosa de partículas de TiO₂. Depois que a película transparente foi exposta à luz ultravioleta, passou a exibir uma propriedade extraordinária de permeabilidade, chegando ao ângulo de contato de zero grau. O efeito permaneceu por vários dias depois da exposição à luz ultravioleta, mas a titânia retornava lentamente a seu estado original na ausência de luz. A superhidrofilicidade do TiO₂ também serve para a autolimpeza: a água tende a espalhar-se por toda a superfície, formando uma camada que carrega a poeira enquanto se espalha. A superfície também resiste ao embaçamento, uma vez que a água se espalha em vez de condensar-se em milhares de minúsculas partículas que provocam o embaçamento (WATANABE *et al.*, 1999).

Segundo Karuppuchamy e Jeong (2005), filmes de dióxido de titânio apresentam hidrofobicidade e superhidrofilicidade em diferentes condições. A capacidade de absorção da água pode ser trocada pela alteração de iluminação UV da superfície.

A Figura 32 mostra fotos de um experimento de efeito antiembaçante de um vidro coberto por dióxido de titânio, após suficiente iluminação por raios ultravioleta, em que (a) apresenta a superfície do vidro embaçado; em (b), o vidro revestido com dióxido de titânio após suficiente iluminação por raios ultravioleta. As amostras de anatásio - TiO₂ foram feitas pelo processo sol-gel (método usado em laboratório para

fazer misturas de reagentes), utilizando alcóxido (base de álcool e óxido) de titânio como matéria-prima. A estrutura anatásio é uma das três formas mineiras do dióxido de titânio, sendo as outras duas o rutilo e a brookita. É sempre encontrado em forma de pequenos cristais (WATANABE *et al.*, 1999).

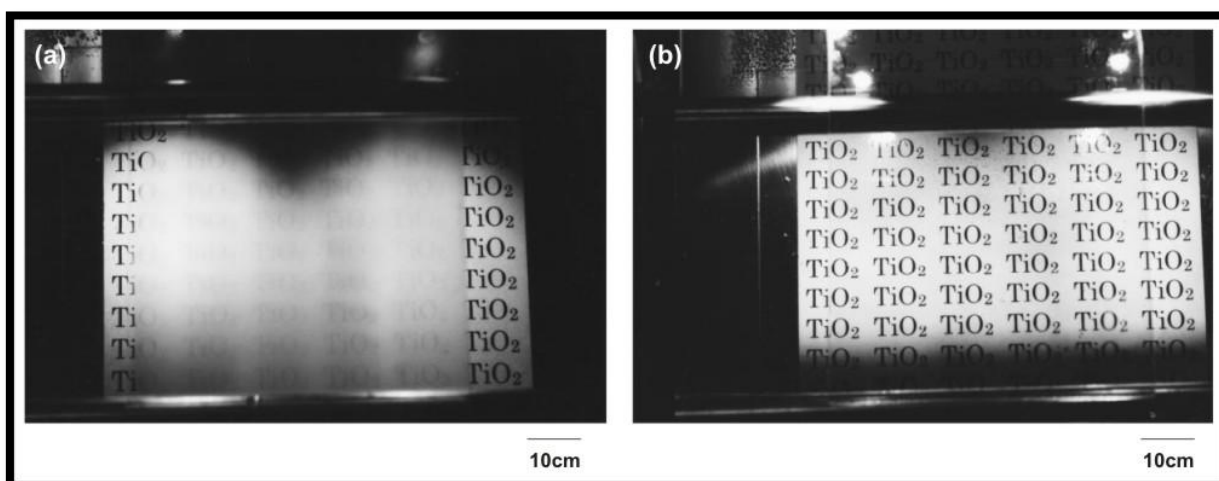


Figura 32: Fotografias de vidros. (a) superfície do vidro embaçado, (b) vidro revestido com dióxido de titânio após suficiente iluminação UV. Adaptado Fonte: WATANABE *et al.*, 1999.

Segundo Deer *et al.*, (1996), tanto o anatásio - TiO_2 , quanto o rutilo e a brookita são formas polimórficas do TiO_2 , que apresenta mais de uma estrutura cristalina. A estrutura cristalina depende tanto da temperatura quanto da pressão externa. Dentre os sete sistemas cristalinos o rutilo e anatásio formam sistema tetragonal, já a brookita é de sistema ortorrômbico.

A Figura 33 mostra o tempo que levou para a alteração do ângulo de contato da água das amostras nesses vidros (Figura 32), em que em (a) apresenta o ângulo de contato inicial que chegou a quase zero, no decorrer de 350 minutos para completar a hidrofilição por uma suficiente iluminação UV. Em (b), a superfície é gradualmente reconvertida aproximando-se ao estado hidrofóbico, após a passagem de tempo de 10.000 minutos. Essa conversão foi repetida por diversas vezes sem qualquer alteração na conversão na capacidade de absorção de água. As medidas de ângulo de contato foram tomadas para examinar a mudança de capacidade de absorção de água das superfícies das amostras de anatásio sob iluminação UV (WATANABE *et al.*, 1999).

A densidade de força da iluminação UV neste experimento foi de 1 mW/cm^2 . Conforme mostrado na Figura 33, o ângulo de contato diminui com o tempo de iluminação UV, três horas são suficientes para fazer surgir uma superfície altamente hidrofílica.

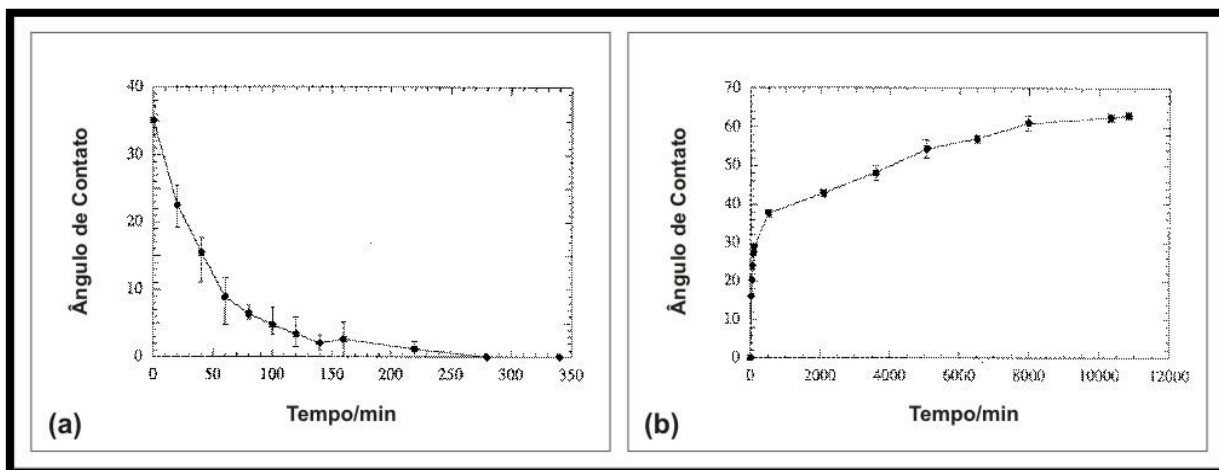


Figura 33: Em (a) ângulo de contato inicial que chegou a quase zero, no decorrer de 350 minutos. Em (b), superfície é gradualmente reconvertida aproximando-se ao estado hidrofóbico. Adaptado Fonte: WATANABE *et al.*, 1999.

Conforme Karupuchamy e Jeong (2005), o método de preparação da superfície é de extrema importância, tendo um papel fundamental na constituição de uma superfície apropriada para uma melhor hidrofiliabilidade do dióxido de titânio.

A técnica da eletrodeposição oferece uma forma conveniente e versátil para deposição de filmes finos de dióxido de titânio a partir de soluções aquosas. A técnica da eletrodeposição tem vantagens distintas sobre outras técnicas e sobre o rígido controle da espessura do filme, uniformidade e taxa de deposição de uma regulação cuidadosa sobre os parâmetros de reação tais como concentração da solução e fácil adaptação para a deposição nos substratos de geometria e formatos complicados (KARUPPUCHAMY; JEONG, 2005).

Karupuchamy e Jeong (2005) investigaram a hidrofiliabilidade induzida pela luz (UV) de filmes eletrodepositados em uma lâmina de vidro, a partir da medida do ângulo de contato com a água durante a exposição do filme com radiação à luz. Para comparar esse experimento, foram preparados dois filmes sob as mesmas condições. A Figura 34 mostra o formato da gotícula de água nos filmes de dióxido

de titânio antes e depois da iluminação por (UV). A Figura (a) apresenta a imagem imediatamente após a iluminação (UV); o filme teve um ângulo de contato de 12° e no filme eletrodepositado armazenado, no escuro chegou a 118° . Isso indica que tanto o filme (a), como o armazenado (b) tinham superfícies hidrofílicas e hidrofóbicas. Em (b), a amostra foi mantida no escuro, em temperatura ambiente por duas semanas. Os dois filmes foram expostos sob a iluminação da luz (UV), a gotícula de água se espalhou nos filmes, resultando em um ângulo de contato de 0° para ambos os filmes. Esses resultados demonstram claramente capacidades de absorção de água de hidrofobicidade para superhidrofilicidade.

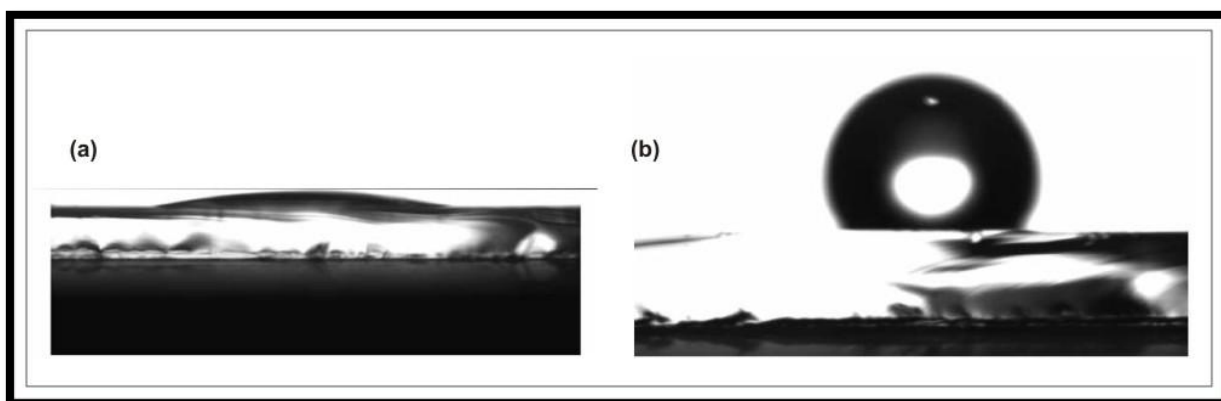


Figura 34: Micrografia da forma das gotas de água sobre a eletrodeposição de filmes finos de TiO_2 em (a). Filme eletrodepositado que foi armazenado no escuro (b).
Fonte: KARUPPUCHAMY; JEONG, 2005.

Outro exemplo interessante foi estudado por Parker e Lawrence (2001): o pequeno besouro do deserto da Namíbia, no Sul da África. Como as temperaturas durante o dia chegam a 50°C e a chuva é rara, praticamente a única fonte de umidade é a espessa neblina da manhã trazida normalmente por uma brisa. O besouro, *Stenocara sp.*, conforme mostra a Figura 35 (a), desenvolveu um método para retirar água dessa neblina: ele se curva com a cabeça baixa e as costas para cima na direção do vento carregado de umidade. A água se condensa em suas costas e escorre até a boca. Esse princípio utilizado pelo besouro inspirou novas tecnologias para a coleta de água em regiões áridas. A maior parte das costas de um besouro *Stenocara sp.*, é rugosa, encerada e superhidrofóbica, conforme Figura 35 (b). O topo das calosidades é hidrofílico. Esses pontos hidrofílicos capturam a água da neblina, formando gotículas que aumentam rapidamente de tamanho até serem suficientemente grandes para que a gravidade e a área superhidrofóbica as

desloquem. Experimentos realizados em laboratório concluíram que esse mecanismo é cerca de duas vezes mais eficiente que uma superfície uniforme e lisa, hidrofílica ou hidrofóbica. O besouro utiliza esses dois efeitos combinados com a finalidade de coletar água para sua sobrevivência.

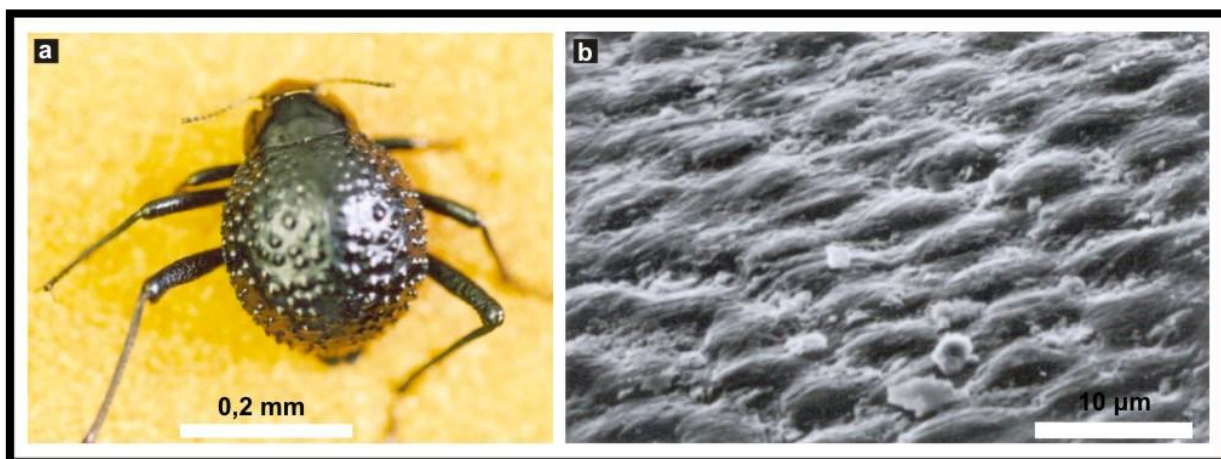


Figura 35: Em (a) besouro, *Stenocara sp.* Em (b) microscopia eletrônica de varredura do casco do besouro.
Adaptado Fonte: PARKER, LAWRENCE, 2001.

Os materiais inspirados no efeito lótus e os filmes finos de titânia podem ser vistos como extremos opostos raramente encontrados no cotidiano. Por muito tempo, estudos do efeito superhidrofóbico e a superhidrofilicidade eram totalmente separados. Pesquisas mostram que está sendo explorada uma forma de fazer com que uma mesma estrutura passe de superhidrofóbica para superhidrofílica, e vice-versa. Dependendo do material que se aplica (ex.: TiO_2), na parte superior de superfícies texturizadas podem-se desenvolver superfícies superhidrofóbicas ou superhidrofílicas. Úteis seriam as superfícies que pudessem ser modificadas, aquelas, cuja permeabilidade pudesse ser revertida em locais precisos (KARUPPUCHAMY; JEONG, 2005).

2.6 METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO

As técnicas de caracterização utilizadas neste trabalho consistem em conhecer a estrutura macro e micro da planta *Salvinia Molesta*. Desta forma, foram utilizadas as seguintes técnicas:

2.6.1 Microscópio Estereoscópio

O estereoscópio é um instrumento destinado ao exame de imagens vistas de pontos diferentes, resultando numa visão tridimensional. Com ele, é possível utilizar a amostra sem tratamento algum, diretamente extraída da natureza, como é o caso da planta analisada *Salvinia Molesta*. Possui capacidade de ampliação eficaz, onde é possível obter resultados importantíssimos para análises biônicas.

Utiliza amplitudes de 1x a 50x. A correta iluminação é necessária para enfatizar detalhes e fornecer ambiente sem brilho ou reflexo. Os ajustes na iluminação requerem testes e experiência. A profundidade de campo e a resolução são fatores importantes (VANDER VOORT, 1995).

2.6.2 Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV e Análise por Dispersão de Energia – EDS.

O aspecto essencial do microscópio eletrônico de varredura é que um feixe de elétrons extremamente estreito é usado para varrer a amostra, isto é, ele é movido para frente e para trás enquanto passa pela amostra. A imagem é construída em seqüência, à medida que a amostra é varrida. O MEV tem grande profundidade de foco e são possíveis ampliações de até 300.000 vezes. É ideal para estudar a topografia de superfície de objetos sólidos, mas fornece pouca, ou nenhuma informação sobre a estrutura interna. O MEV tem se revelado valioso em toda gama de microscopia de materiais sintéticos, naturais: pólen, esporos de fungos, superfícies de folhas e industriais (GRIMSTONE, 1980).

Segundo Calister (2002), um revestimento muito fino e condutor de espessura deve ser aplicado sobre a superfície de materiais não-condutores levados ao MEV.

A camada condutora é geralmente entre 15 e 20 nm de ouro ou carbono. O ouro é usualmente depositado pelo processo “*sputtering*”, o depósito do metal é bastante eficiente, mesmo em objetos muito irregulares, pois os átomos atingem sua superfície em todas as direções. Nesse sistema, o metal é arrancado de um eletrodo recoberto com ouro, por impacto de íons e como vapor se desloca até o substrato através de uma região de baixa pressão, condensando na forma de filme fino (ouro). A espessura da camada deve ser suficientemente fina para não influir na resolução da imagem, mas suficientemente espessa para garantir uma boa produção de elétrons secundários que serão usados para formar a imagem (CASTRO, 2002).

A microscopia eletrônica de varredura, utilizada paralelamente com a microscopia estereoscópica fornece dados distintos, cada uma delas com características e poderes de ampliações específicos.

2.6.3 Medida do Ângulo de Contato

A medida do ângulo de contato de uma gota em uma superfície é o principal método para comprovação de superfícies hidrofóbicas, superhidrofóbicas, hidrofílicas ou superhidrofílicas. Pesquisas realizadas carecem dessa informação no que diz respeito ao ângulo da planta aquática *Salvinia Molesta*. A Equação 1 determina o cálculo para obtenção da medida do ângulo de contato.

Essa equação não foi aplicada nesta pesquisa. Utilizando a micrografia obtida a partir do equipamento para medida do ângulo e a utilização do software *Image J* o ângulo da *Salvinia Molesta* foi calculado.

2.6.4 Histerese do Ângulo de Contato

A histerese do ângulo de contato é definida como a diferença entre os ângulos de contato de avanço e de recuo de uma gota de água que esteja se

movendo em uma superfície inclinada. Como dito anteriormente, ângulos de inclinação baixo, menores que 10° são características de superfícies superhidrofóbicas e autolimpantes. Um alto ângulo de contato combinado com um alto ângulo de inclinação não torna uma superfície superhidrofóbica. Pesquisas realizadas sobre a *Salvinia Molesta* carecem de informação da histerese do ângulo de contato da planta. A Equação 02 determina o cálculo para obtenção da medida da histerese do ângulo de contato.

Essa equação não foi aplicada nesta pesquisa. Os cálculos dos ângulos foram dados pelo software utilizado no equipamento para medida da histerese do ângulo de contato.

2.6.5 Simulação em Software

A partir dos resultados coletados nesta pesquisa, foi realizada uma simulação em Software 3D da planta *Salvinia Molesta*, com o objetivo de aprimorar o entendimento das capacidades hidrofóbicas que a planta possui.

Foram simulados os tricomas da planta, as partes nas quais há presença e ausência de cristais de cera nos tricomas, as gotas de água caindo sobre a planta. Essa simulação foi desenvolvida a partir do software *Blender*.

Antes de iniciar a programação foi feito o roteiro do filme e também o *storyboard* da animação. O *storyboard*, é um organizador gráfico, ou seja, uma série de ilustrações ou imagens seqüenciais com o propósito de pré-organizar um filme ou uma animação gráfica. O *storyborad* tem a finalidade de marcar da forma mais clara as principais passagens de uma história que será contada a partir de um filme.

3 MATERIAL E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As análises da superfície da folha da planta *Salvinia Molesta* foram realizadas por microscópio estereoscópio, microscópio eletrônico de varredura (MEV) e análise por dispersão de energia (EDS). Foi realizada a medida do ângulo de contato, a histerese do ângulo de contato da superfície da folha. Para finalizar, realizou-se a simulação em software 3D da planta.

3.1 MATERIAL ANALISADO

A caracterização por microscopia foi feita a partir da planta aquática *Salvinia Molesta* conforme mostra Figura 36.

Macroscopicamente, utilizando uma câmera digital Sony – Super SteadyShot 5.1 Mega Pixels, é possível observar os conjuntos de frondes, conforme Figura 36 (a) e o detalhe da fronde com aspecto aveludado, Figura 36 (b) da planta *Salvinia Molesta*.



Figura 36: Análise macroscópica da planta por uma câmera digital Sony. Em (a) vista superior da planta em que se observa os grupos de frondes, em (b) detalhe da fronde com uma gota depositada.

Fonte: Fotografias feitas pela autora.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.2.1 Microscópio Estereoscópio

A microscopia por estereoscópio foi realizada no laboratório LAMEF – Laboratório de Metalurgia Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foi utilizado o estereoscópio Olympus – SZ, com câmera DP12.

Com o sistema de aquisição de imagem do estereoscópio, obteve-se ampliações de 10x (escala 2mm), 20x (escala 600 μ m), e 30x (escala 300 μ m).

3.2.2 Microscópio Eletrônico de Varredura e EDS

A microscopia eletrônica de varredura (MEV), e a análise por dispersão de energia (EDS), foram realizadas no laboratório CME – Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Foram utilizadas duas versões de MEV, o *Jeol Scaning Microscope JSM - 5800* com software *Noron System Six* onde foi feito o EDS para obter a composição química da planta e o equipamento *Jeol Scaning Microscope JEOL JSM - 6060* com software *Noron System Six*.

As amostras observadas pelo MEV foram secas por três dias na geladeira, coladas nos “*stubs*” (suportes para as amostras que são levadas ao MEV) e metalizadas com ouro. As barras de aumento foram de 500 μ m a 1 μ m.

O MEV foi utilizado para a observação dos seguintes elementos que causam a repelência de água na superfície da planta:

- A estrutura da planta;
- A presença e ausência de cristais de cera no tricoma;

- A localização desses cristais de cera no tricoma.

A análise por dispersão de energia - EDS é um acessório essencial na caracterização microscópica. A partir dele, é possível determinar quais os elementos químicos que compõem a planta *Salvinia Molesta*.

Para a obtenção da composição química da planta *Salvinia Molesta* foram marcados dois pontos, conforme mostra a Figura 37 (a). A elipse vermelha aplicada sobre os tricomas da Figura 37 (b) indica as “gaiolas”, de onde foram marcados os dois pontos para essa caracterização.

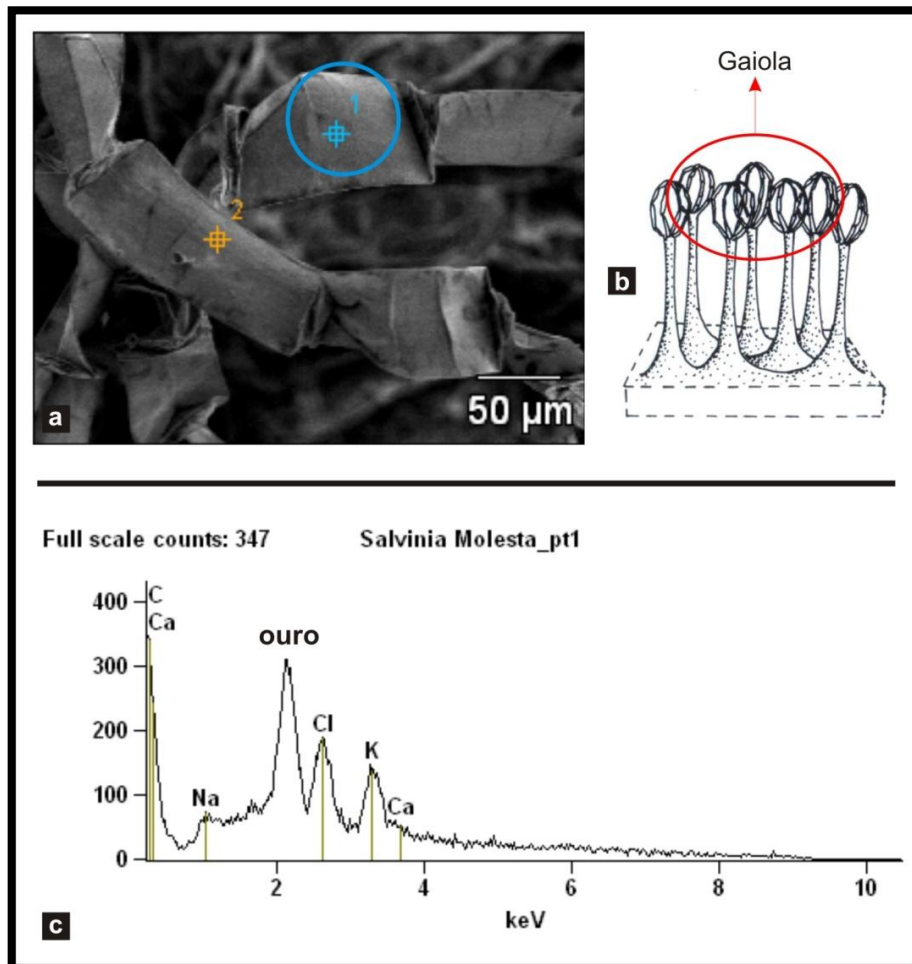


Figura 37: Em (a) pontos que foram feitos o EDS da Planta *Salvinia Molesta*. Em (b) ilustração do tricoma da planta, em que as gaiolas foram circulasadas por uma elipse na cor vermelha. Em (c) análise da composição química da planta a partir do ponto um (círculo azul).

O resultado mais representativo é mostrado no ponto um (círculo azul) da Figura 37 (a). Obteve-se a mesma da composição química tanto no ponto um, quanto no ponto dois do tricoma da planta, no qual pode ser observado na Figura 37 (c), tais como: C (Carbono), Ca (Cálcio), Na (Sódio), Cl (Cloro) e K (Potássio).

Foi realizada a contagem do número de plaquetas a partir de três micrografias de 1 μ m obtidas pelo MEV. Essas três imagens foram tratadas no software *Photoshop* com o objetivo de facilitar a contagem do número de plaquetas.

O *Photoshop* é um software caracterizado como editor de imagens bidimensionais. Essas imagens foram manipuladas com a utilização da ferramenta *Color Range* para o negativo, com o objetivo de realçar as plaquetas (fundo preto e plaquetas brancas).

3.2.3 Análise da Forma

Para realizar a análise da forma da planta, foi feito um estudo sobre o sistema de organização formal na natureza, no qual observou-se que as formas básicas, (o círculo, quadrado e o triângulo equilátero) geram todas as outras mediante suas variações.

A planta foi analisada por estereoscópio, e, posteriormente, utilizando o software *Adobe Illustrator*, o tricoma foi ilustrado.

3.2.4 Medida do Ângulo do Contato – *Salvinia Molesta*

A medida do ângulo de Contato da *Salvinia Molesta* foi realizada no LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O equipamento utilizado para a caracterização foi o Labometric, modelo LB-DX.

A folha foi cortada com um bisturi e colada em uma placa de vidro com adesivo dupla face, conforme é mostrado na Figura 38. Ela foi colada pelos cantos

para não amassar os tricomas. Foi observada uma rápida desidratação da folha após o corte. A inserção da gota através do equipamento teve que ser feita rapidamente devida à sua desidratação.

A imagem foi levada ao software *Image J.*, onde, utilizando a ferramenta de ângulo, foi dado o ângulo de contato da gota na superfície. Esse programa de computador, de código aberto (software livre), é capaz de medir distância e ângulos.

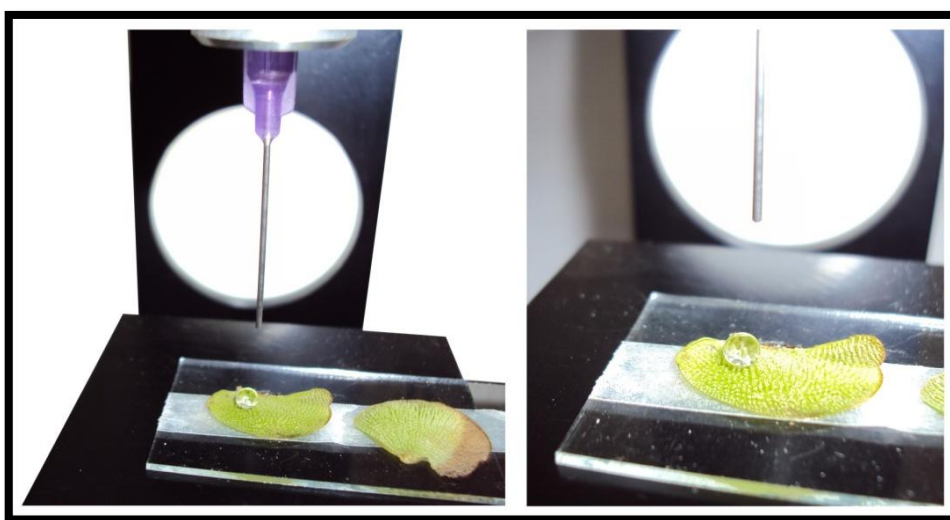


Figura 38: Medida do ângulo de contato da planta *Salvinia Molesta*.
Fonte: Fotografias feitas pela autora.

3.2.5 Histerese do Ângulo de Contato – *Salvinia Molesta*

A histerese do ângulo de contato da planta *Salvinia Molesta* foi realizada no LTM – Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O equipamento utilizado para a caracterização foi o DSA100 Kruss e o software DSA3 - *software for drop shape analysis*.

A folha foi cortada com um bisturi e colada pelas pontas em uma placa de vidro com adesivo dupla face. Ao colar a planta, teve-se muito cuidado para não amassar os tricomas. As placas foram levadas à geladeira por três dias para a secagem da folha.

3.2.6 Simulação em Software

A partir das caracterizações microscópicas e dos experimentos realizados para a compreensão da morfologia da planta *Salvinia Molesta*, a simulação em software foi realizada. Esse filme 3D realístico da planta foi desenvolvido visando entender o comportamento de uma gota de água caindo sobre o topo dos tricomas.

Antes de iniciar a programação da animação no software *Blender*, foi realizado um roteiro do filme e o *storyboard* ilustrado com o auxílio do software *Adobe Illustrator* da seqüência da animação.

O software *Adobe Illustrator* é um editor de imagens vetoriais (imagem gerada a partir de descrições geométricas de formas), composta por curvas, elipses, textos entre outros elementos. Por serem baseados em vetores, esses gráficos são geralmente mais leves e não perdem qualidade ao serem ampliados. O *Blender* é um programa de código aberto (software livre), que pode ser utilizado em qualquer área em que seja necessária a geração de modelos tridimensionais, geração de imagens renderizadas, modelagem, jogos, animação, texturização, composição e edição de vídeos.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PLANTA POR ESTEREOSCÓPIO

Pela análise microscópica da planta obtida por estereoscópio, observa-se a forma geométrica evidenciando a gaiola do tricoma, conforme é mostrado na Figura 39 (b).

Com tamanho de barra de 2mm é possível visualizar a haste e a “gaiola” que compõe o tricoma. Observa-se inúmeros tricomas alinhados e repetidos sequencialmente um ao lado do outro. Foi realizado um desenho 2D do tricoma da planta a partir dessa caracterização, Figura 39 (a).

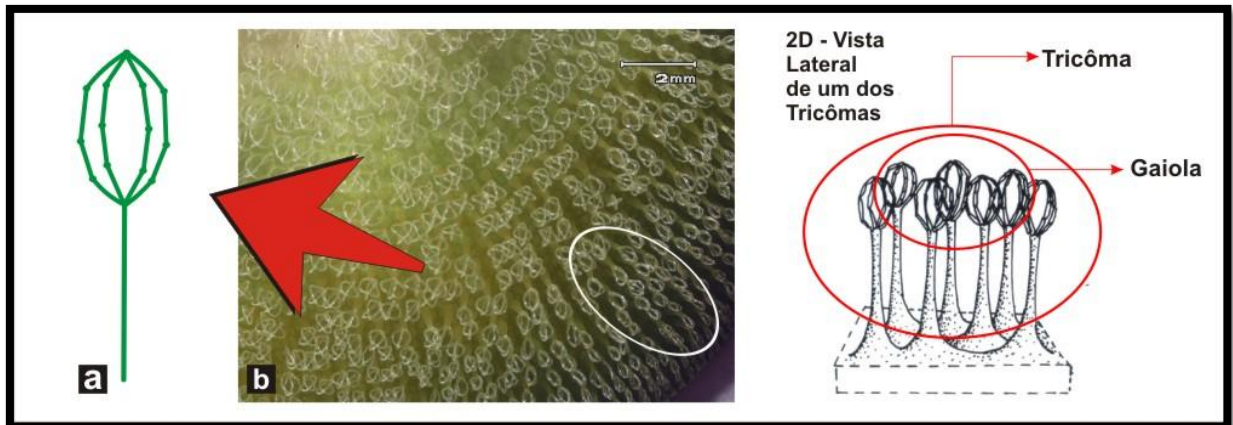


Figura 39: Em (a) vista lateral do tricoma, composto por uma linha vertical e duas elipses uma sobreposta à outra. Em (b) caracterização por estereoscópio mostrando o tricoma no formato de “gaiolas”. Parâmetros de operação: aumento de 10 vezes. Equipamento utilizado: microscópio estereoscópio olympus – SZ. Adaptado Fonte: KISSMANN,1997.

Conforme dito anteriormente por Munari (1997), pode-se observar por uma ampliação macroscópica as formas básicas que compõem a estrutura de uma amostra, e que as três formas básicas podem gerar todas as outras mediante variações de seus componentes. A Figura 40 (a) apresenta a caracterização mostrando o topo da planta. Dois traços cruzados foram aplicados sobre um dos tricomas, formando um “x”. A Figura 40 (b) apresenta essa variação utilizando uma dessas três formas básicas, o triângulo equilátero, no qual foi aplicado sobre os dois traços cruzados que formam o “x”.

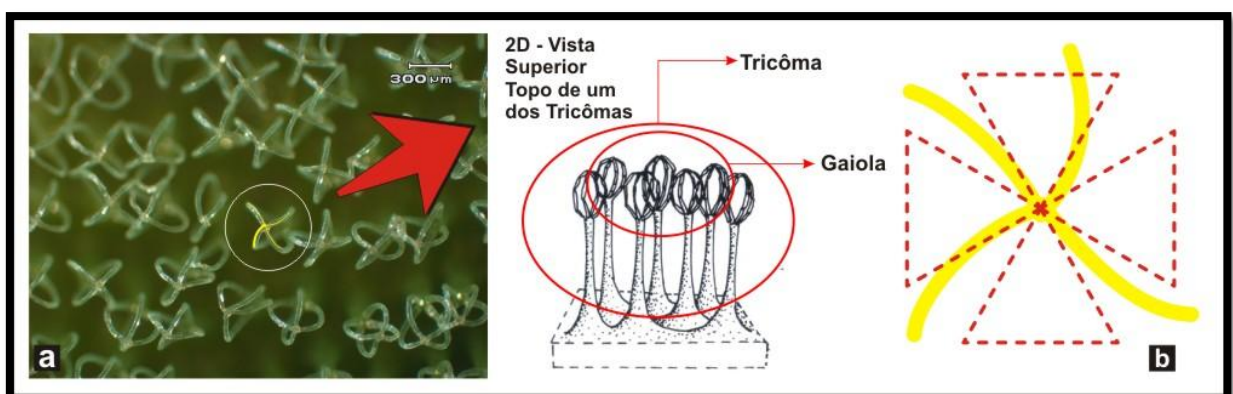


Figura 40: Em (a) caracterização por estereoscópio mostrando o topo da planta. Em (b) a variação do triângulo equilátero aplicado sobre os dois traços cruzados que formam o “x”. Parâmetros de operação: aumento de 30 vezes. Equipamento utilizado: microscópio estereoscópio olympus – SZ. Adaptado Fonte: KISSMANN,1997.

As “gaiolas” são extremamente simétricas e de tamanho aproximado, todas formando duas elipses sobrepostas, conforme é mostrado na Figura 41 (a).

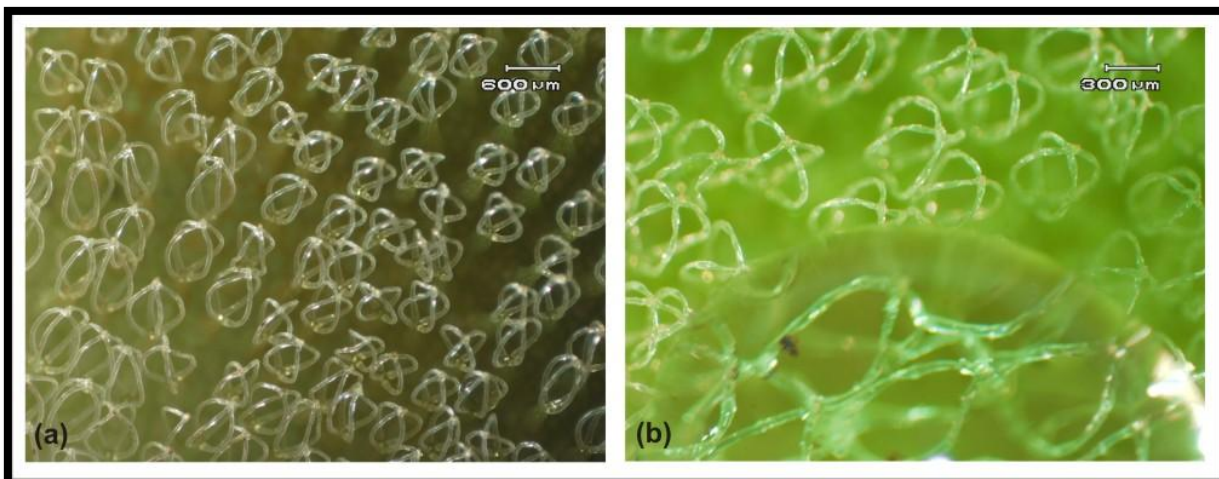


Figura 41: Caracterização da planta *Salvinia Molesta* por microscópio estereoscópio. Em (a) “gaiolas” extremamente simétricas. Parâmetros de operação: aumento de 20 vezes. Em (b) aplicação de uma gota para visualização no estereoscópio; esta funciona como lente de aumento. Parâmetros de operação: aumento de 30 vezes. Equipamento utilizado: microscópio estereoscópio olympus – SZ.

Já na Figura 41 (b), podem-se observar essas elipses sobrepostas no detalhe do tricoma. Nesta figura foi aplicada uma gota de água para visualização no estereoscópio; esta funciona como lente de aumento.

Analisando a Figura 41 a partir de critérios de composição da estruturação dos tricomas da planta, podemos citar os seguintes aspectos observados.

- Harmonia, pela quantidade de tricomas “iguais” um ao lado do outro, fechando a base da folha e dando um aspecto aveludado;
- Seqüência e repetição de um tricoma ao lado de outro;
- Assimetria e simetria dos tricomas, pois a natureza não é simétrica em suas formas, mas mostra uma simetria entre as formas;
- Simplicidade nas formas geométricas do tricoma;
- Clareza da forma do tricoma, que por uma análise microscópica pode-se observar o tricoma composto por uma linha vertical e duas elipses sobrepostas,

formando uma espécie de “batedor de ovos”. O que é verificado no trabalho de Barthlott *et al.*, (2010), mostrado na Figura 18.

4.2 CARACTERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Essa caracterização foi de extrema importância para a pesquisa. Com ela observou-se a morfologia da planta em detalhe, as regiões de concentração de cera como também as áreas onde não existe cera.

A Figura 42 apresenta os tricomas da planta a partir de uma vista superior, onde é possível visualizar os tricomas distribuídos assimetricamente na folha da planta. Observou-se uma resistência muito forte desses tricomas, pois a haste que sustenta a “gaiola” permaneceu em sua forma original.

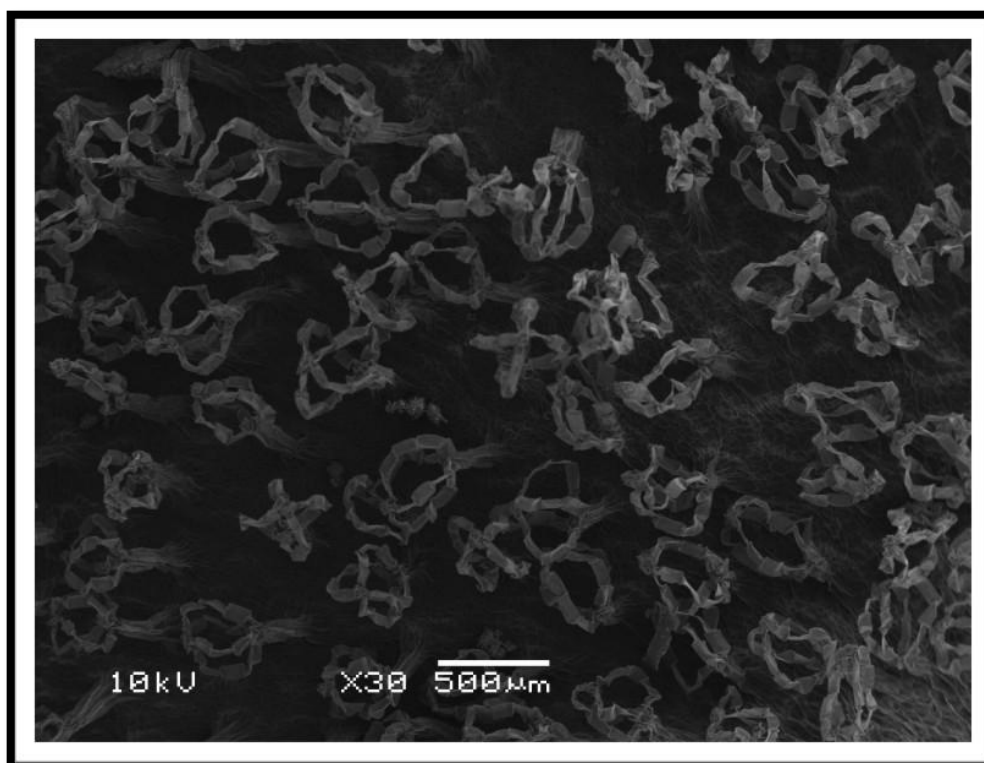


Figura 42: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Observam-se as gaiolas dos tricomas distribuídos assimetricamente. Parâmetros de operação: aumento de 30 vezes – 10KV.

A estrutura do tricoma da planta conservou-se intacta, mesmo passando pelo processo de desidratação e metalização para visualização no MEV, constatando

uma planta extremamente resistente. Em algumas áreas mais escuras da imagem é possível observar a base que sustenta esses tricomas.

O aspecto enrugado, observado em algumas áreas da imagem, é devido ao processo de desidratação pelo qual a planta teve que passar para ser observada pelo MEV.

Neste estágio é possível comparar os resultados obtidos pelo microscópio estereoscópico como é mostrado na Figura 41 e os resultados adquiridos pelo MEV. Pelo estereoscópio, os tricomas apresentam-se simetricamente mais alinhados do que os observados pelo MEV, como é mostrado na Figura 43. Isso devida à preparação pela qual as amostras tiveram que passar para observação.

A Figura 43 apresenta a micrografia pelo MEV evidenciando a “gaiola” a partir de uma vista superior do tricoma da planta, porém mais próxima que a imagem anterior, Figura 42.

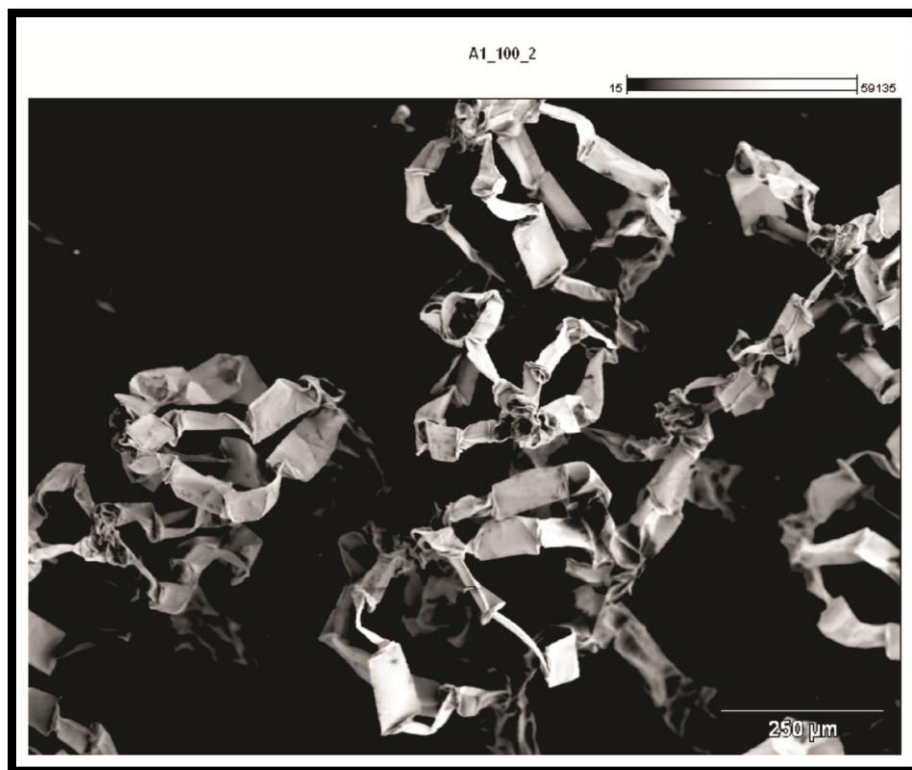


Figura 43: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Tricomas da planta densamente cobertos por complexos pêlos com terminados de quatro pêlos conectados, formando uma estrutura semelhante a “batedor de ovos”. Parâmetros de operação: aumento de 100 vezes – 10KV.

Nestas imagens, é possível visualizar as “gaiolas” (duas elipses sobrepostas), ou então conforme Barthlott *et al.*, (2010), os tricomas da planta densamente cobertos por complexos pêlos terminados de quatro pêlos conectados formando uma estrutura semelhante a “batedor de ovos” como visto anteriormente no capítulo 2.

A junção desses pêlos terminados em quatro pêlos na parte superior é semelhante a uma capa a que esses pêlos estão ligados. Esta área, da junção desses pêlos, segundo Barthlott *et al.*, (2010), carece de cristais de cera. Essa capa hidrofílica pode ser melhor visualizada no experimento realizado por Barthlott *et al.*, (2010), no qual a planta observada foi conservada em seu estado original.

A Figura 44 mostra uma imagem do topo do tricoma. O formato da estrutura da planta como “gaiolas” é visivelmente compreendido.

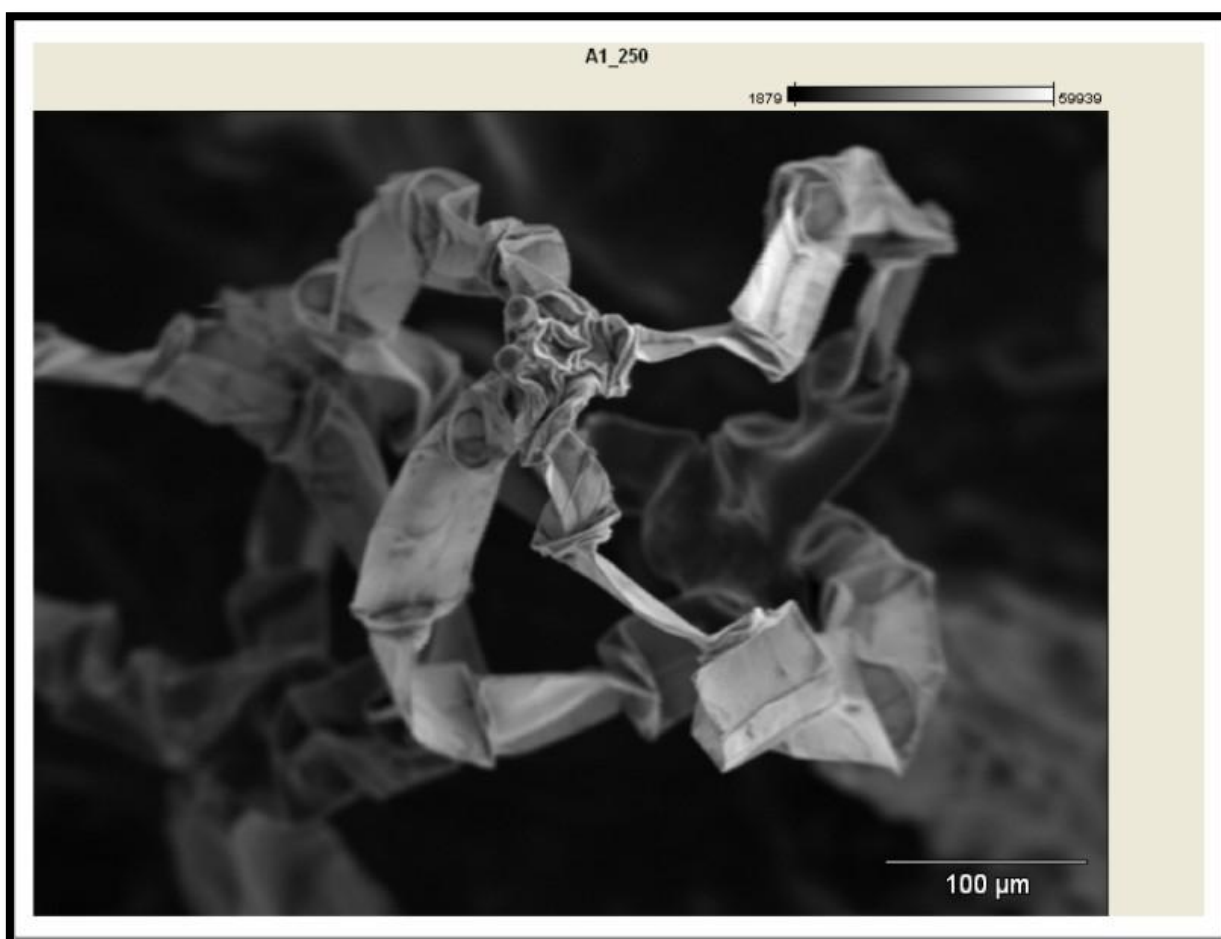


Figura 44: Caracterização da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Em detalhe a junção dos quatro pêlos, formando uma capa na parte superior do tricoma. A vista superior assimila-se a dois traços cruzados formando um “x”. Parâmetros de operação: aumento de 250 vezes – 10KV

Tanto na vista superior do tricoma mostrado na Figura 45 obtida pelo MEV, como na Figura 41 (a) obtida por estereoscópio, é possível definir que esta vista assimila-se a dois traços cruzados formando um “x”. Conforme foi mostrado anteriormente com a análise da estrutura da planta no capítulo 4.

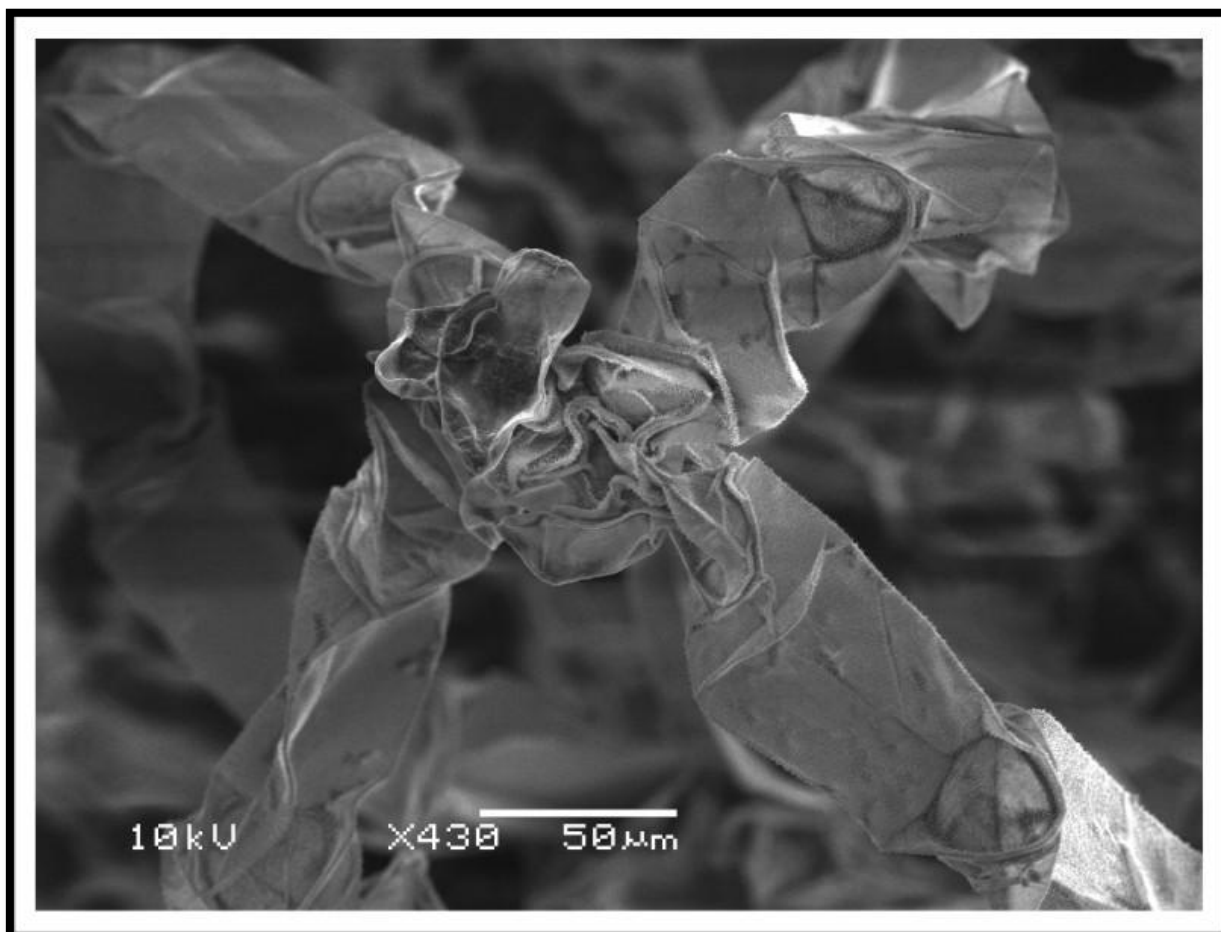


Figura 45: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Zona de junção dos quatro pêlos, formando uma capa na parte superior do tricoma. Parâmetros de operação: aumento de 430 vezes – 10KV.

A micrografia mostra a zona de junção dos quatro pêlos, formando uma capa na parte superior do tricoma. Essa capa pode ser comparada e observada a partir do experimento realizado por Barthlott *et al.*, (2010), conforme mostra a Figura 18 (c), na qual a planta *Salvinia Molesta* foi micrografada a partir do MEV no topo do tricoma.

Foi utilizado o MEV, tanto na observação realizada por Barthlott *et al.*, (2010), como no experimento para esta pesquisa. A planta analisada por Barthlott *et al.*, não

passou pelo processo de desidratação, diferente da amostra observada para este experimento, em que passou pelo processo de desidratação e metalização. Mesmo com essas diferenças, os resultados foram satisfatórios no que se refere à cera da planta.

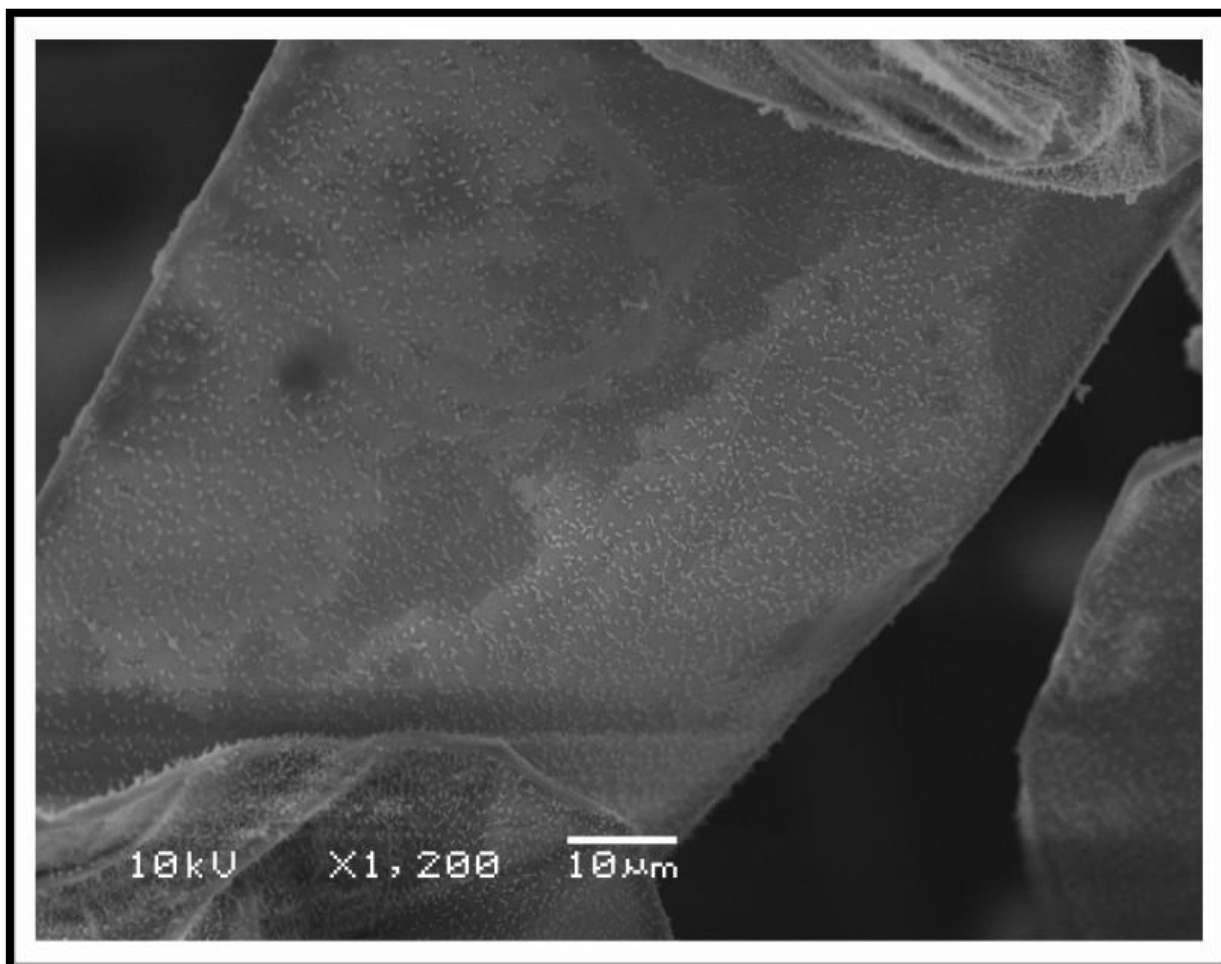


Figura 46: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Pequenas ceras, distribuídas por intervalos de espaços existentes no tricoma da planta. Parâmetros de operação: aumento de 1,200 vezes – 10KV.

Na Figura 46, é possível visualizar pequenas ceras distribuídas por intervalos de espaços no tricoma da planta. Essas ceras em formatos de plaquetas conservaram-se, mesmo passando pelo processo de desidratação e metalização para visualização no MEV. As ceras mostradas na Figura 46 concentram-se na parte inferior do tricoma, pois como visto anteriormente no capítulo 2 e mostrado na Figura 20 (a), segundo experimento de Barthlott *et al.*, (2010), apenas 2% do topo do

tricoma (topo) carecem de cristais- cera, sendo denominadas de áreas hidrofílicas da planta.

A Figura 46 apresenta uma área hidrofóbica da planta, pois é coberta de cera. Como dito anteriormente no capítulo 2 por Koch *et al.*, (2008), as ceras são responsáveis pela manutenção da capacidade de absorção de água e das propriedades autolimpantes, do deslizamento de insetos, da reflexão da luz visível e da absorção da irradiação UV e da redução da adesão de partículas.

Como visto anteriormente, conforme Barthlott *et al.*, (2010), no topo do tricoma da planta *Salvinia Molesta* existem partes hidrofóbicas e hidrofílicas. Analisando a Figura 47, é possível observar essas partes.

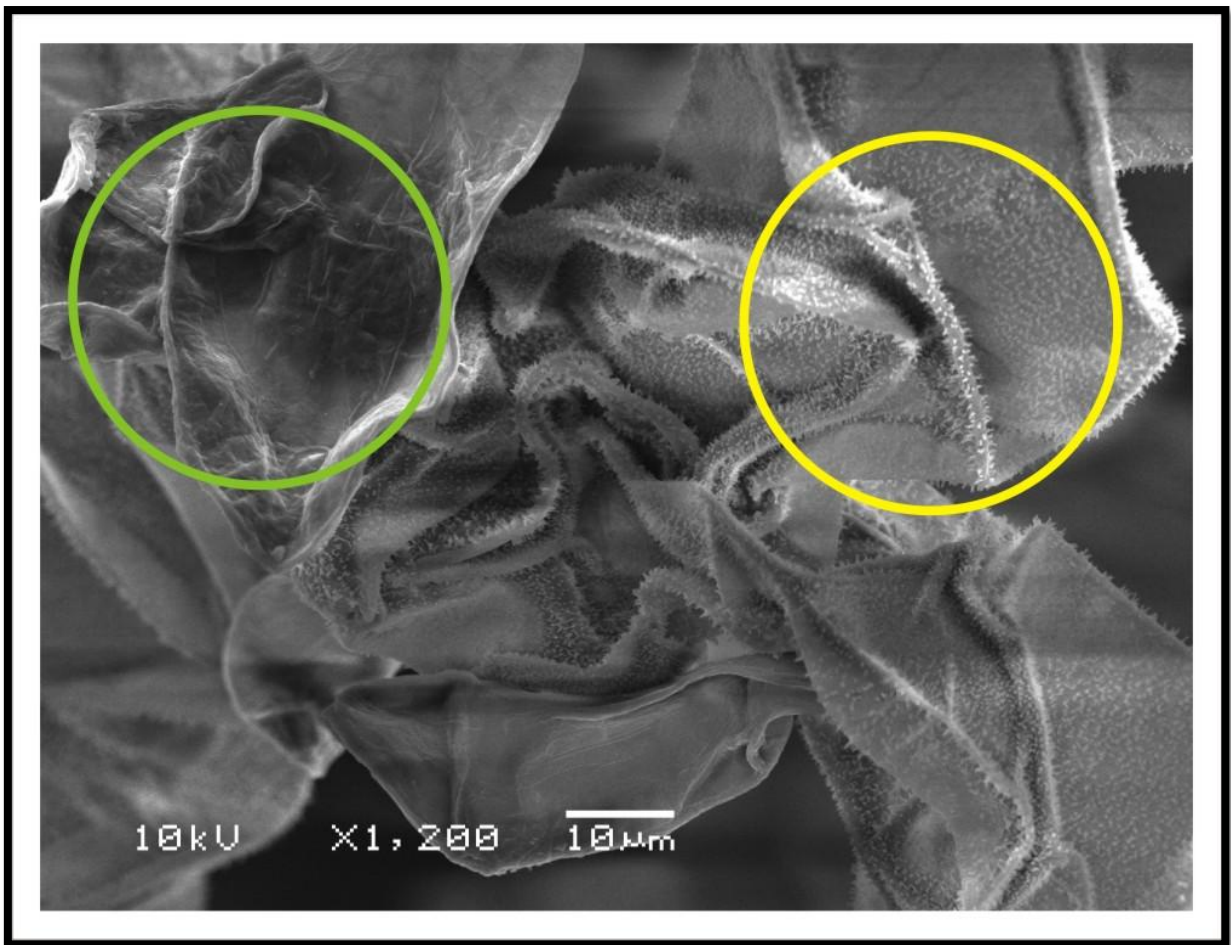


Figura 47: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Partes hidrofóbicas (círculo amarelo), partes hidrofílicas (círculo verde) da planta. Parâmetros de operação: aumento de 1,200 vezes – 10KV.

O círculo amarelo apresenta uma área rugosa da planta na qual há presença de cera, tornando uma parte hidrofóbica da planta. Já o círculo verde apresenta áreas lisas da planta, com ausência de cera, tornando uma parte hidrofílica da planta.

Nas Figuras 48 e 49, os círculos amarelos mostram as áreas que são hidrofóbicas, em que há presença de cera. Já as setas brancas indicam áreas que são hidrofílicas, em que há ausência de cera. A ausência ou presença de cera foi visível a partir do aumento de 2,500 vezes. A superfície apresenta-se lisa onde há ausência de cera, e torna-se rugosa onde há presença de cera na superfície da planta.

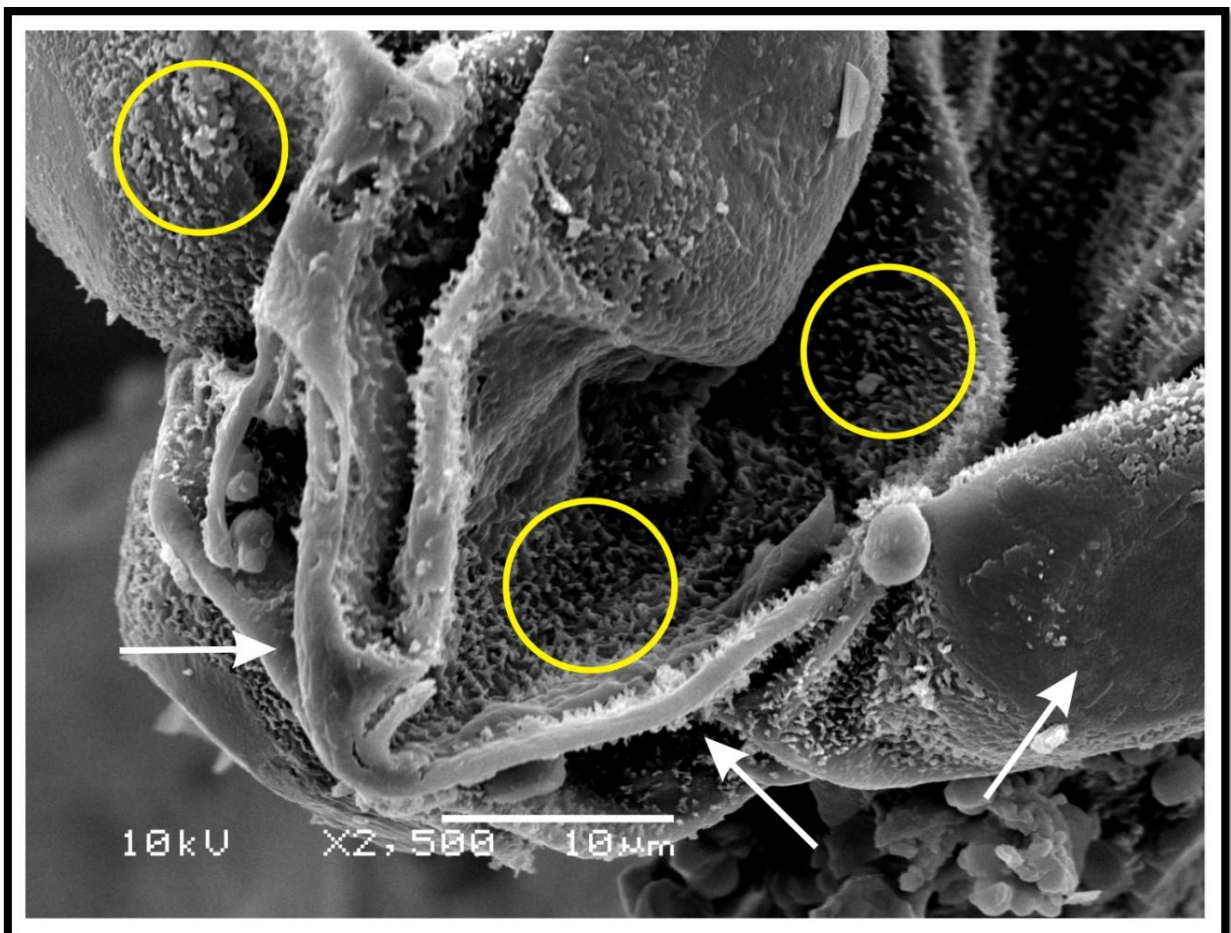


Figura 48: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* pelo MEV. Áreas hidrofílicas indicadas pela seta branca e áreas hidrofóbicas denominadas pelos círculos na cor amarela. Parâmetros de operação: aumento de 2,500 vezes – 10KV.

Nos experimentos realizados nesta pesquisa a partir de mais de uma amostra da planta e comparando com os resultados mostrados no capítulo 2 na Figura 20 (a), segundo experimento de Barthlott *et al.*, (2010), define-se que as áreas hidrofílicas dos tricomas da planta são poucas e em regiões específicas no topo das gaiolas, mostrando característica hidrofílicas no topo do tricoma, diferente das áreas inferiores da planta como pode ser observado nas Figuras 48 e 49, pelos círculos amarelos, a presença de cristais de cera. Também podem ser observadas áreas onde há abundância de cera, apresentadas em formato de plaquetas e crostas.

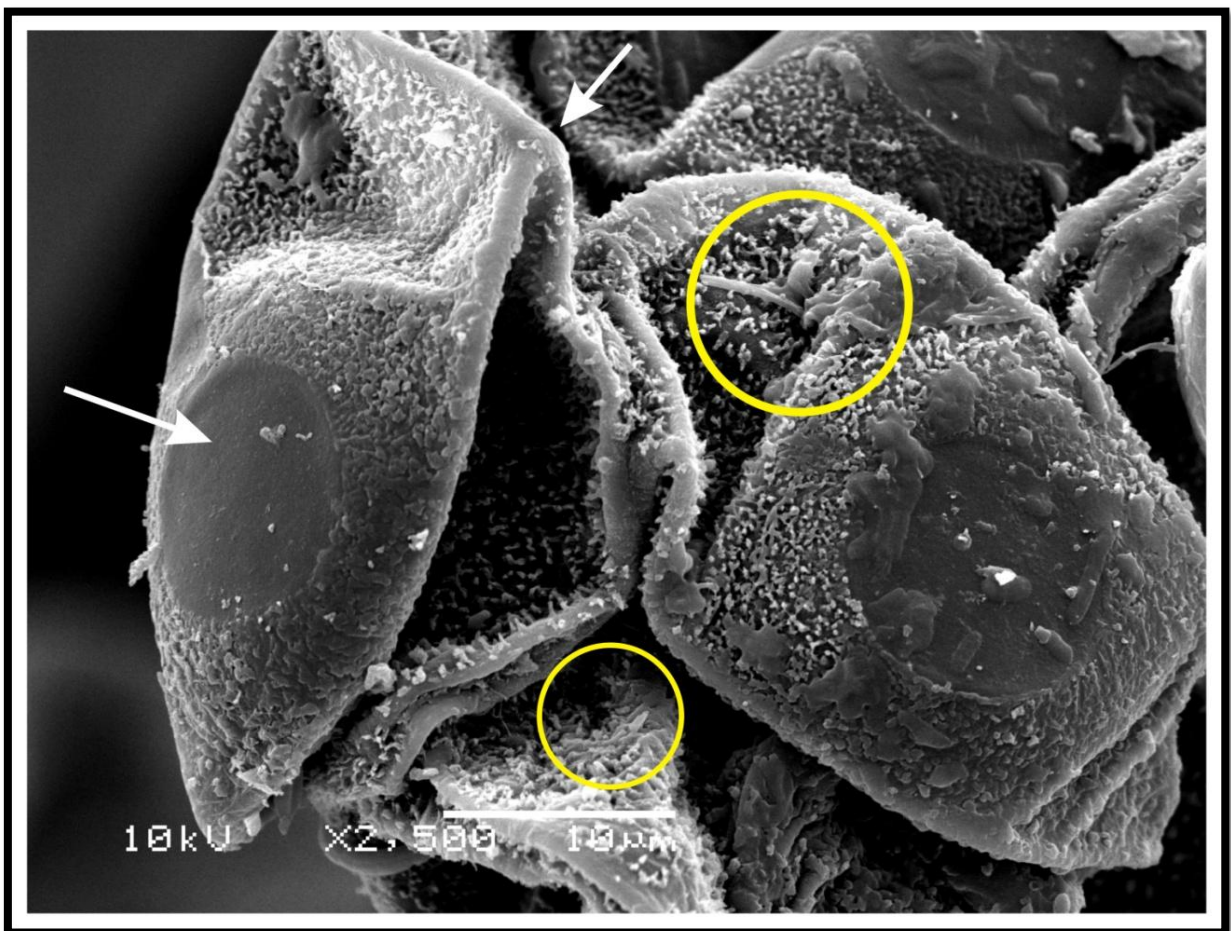


Figura 49: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* pelo MEV. Áreas hidrofílicas indicadas pela seta branca e áreas hidrofóbicas denominadas pelos círculos na cor amarela. Parâmetros de operação: aumento de 2,500 vezes – 10KV.

As partes hidrofílicas da planta *Salvinia Molesta*, mostrada na Figura 47 (círculo verde), e nas Figuras 48 e 49 (setas brancas), obtidas a partir da caracterização feita pelo MEV, juntamente com o experimento realizado segundo Barthlott *et al.*, (2010), a partir da submersão da planta em água destilada com

0,01% de azul de metileno, apresentam resultados relevantes no que diz respeito à distribuição e o tamanho das áreas molháveis da planta.

A Figura 50 apresenta um tricoma da planta onde aparecem as ceras como crostas mostradas pelo círculo amarelo. Uma cera isolada, denominada de plaquetas é destacada com o círculo verde. Esse tipo de cera no formato de plaquetas foi investigado no experimento realizado por Neinhuis e Barthlott (1997), indicado na Figura 12.

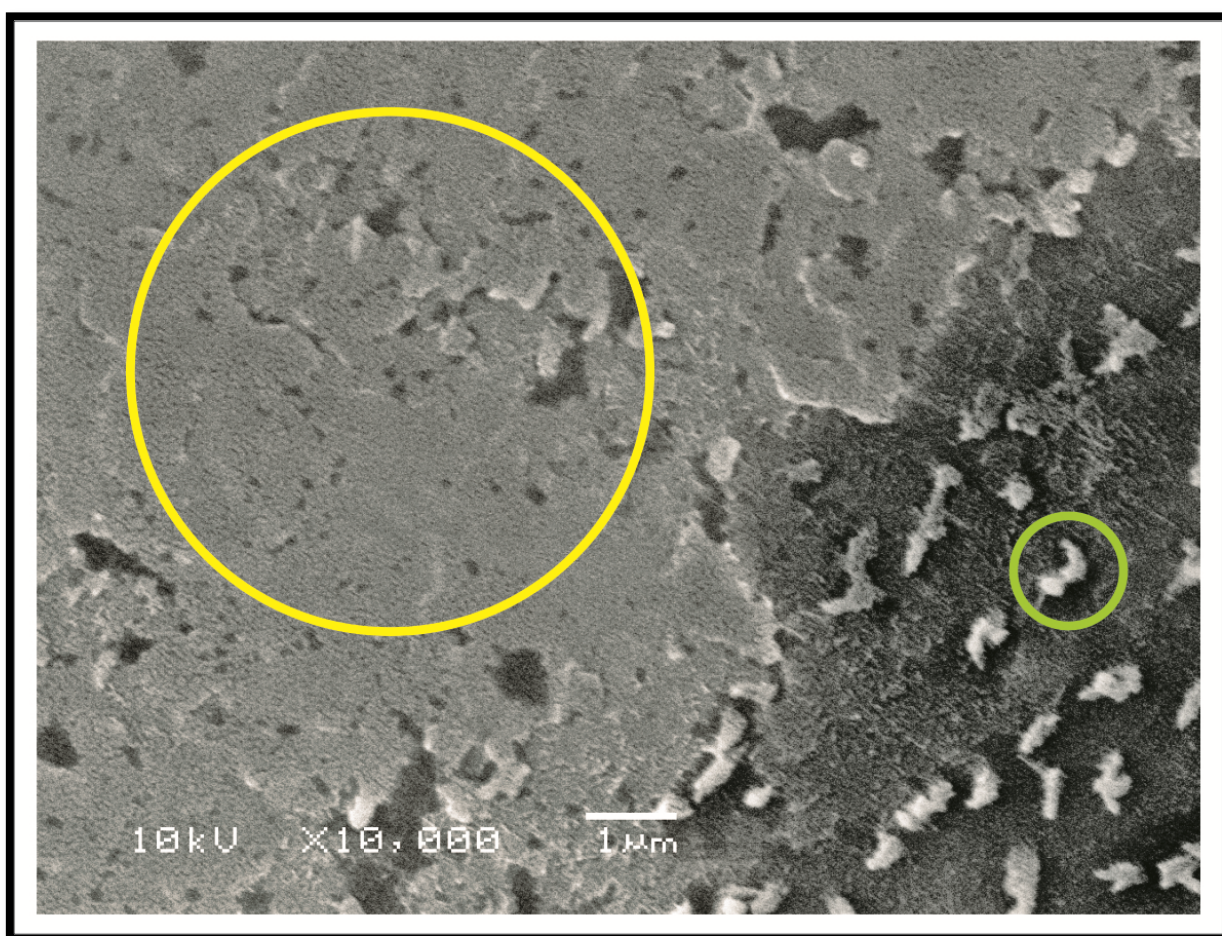


Figura 50: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Ceras como crostas mostradas pelo círculo amarelo e ceras isoladas denominadas de plaquetas são mostradas por meio do círculo verde. Parâmetros de operação: aumento de 10,000 vezes – 10KV.

Na Figura 51, são mostradas as ceras em formatos de plaquetas, sendo que uma delas é marcada por um círculo verde. Em muitas áreas as ceras encontram-se isoladas uma das outras apresentando um pequeno intervalo entre uma plaqueta e

outra. Existem áreas em que muitas delas encontram-se juntas formando uma grande área de cera, conforme marcado pelo círculo amarelo na Figura 50.

Analisando a Figura 50 e 51, pode-se afirmar que as ceras em formatos de plaquetas estão distribuídas por pequenos intervalos de espaços e que existe uma concentração de ceras, formando crostas de cera em algumas áreas dos tricomas, como mostrado na Figura 50 pelo círculo amarelo, sendo difícil a observação do formato da cera como plaquetas nessas áreas.

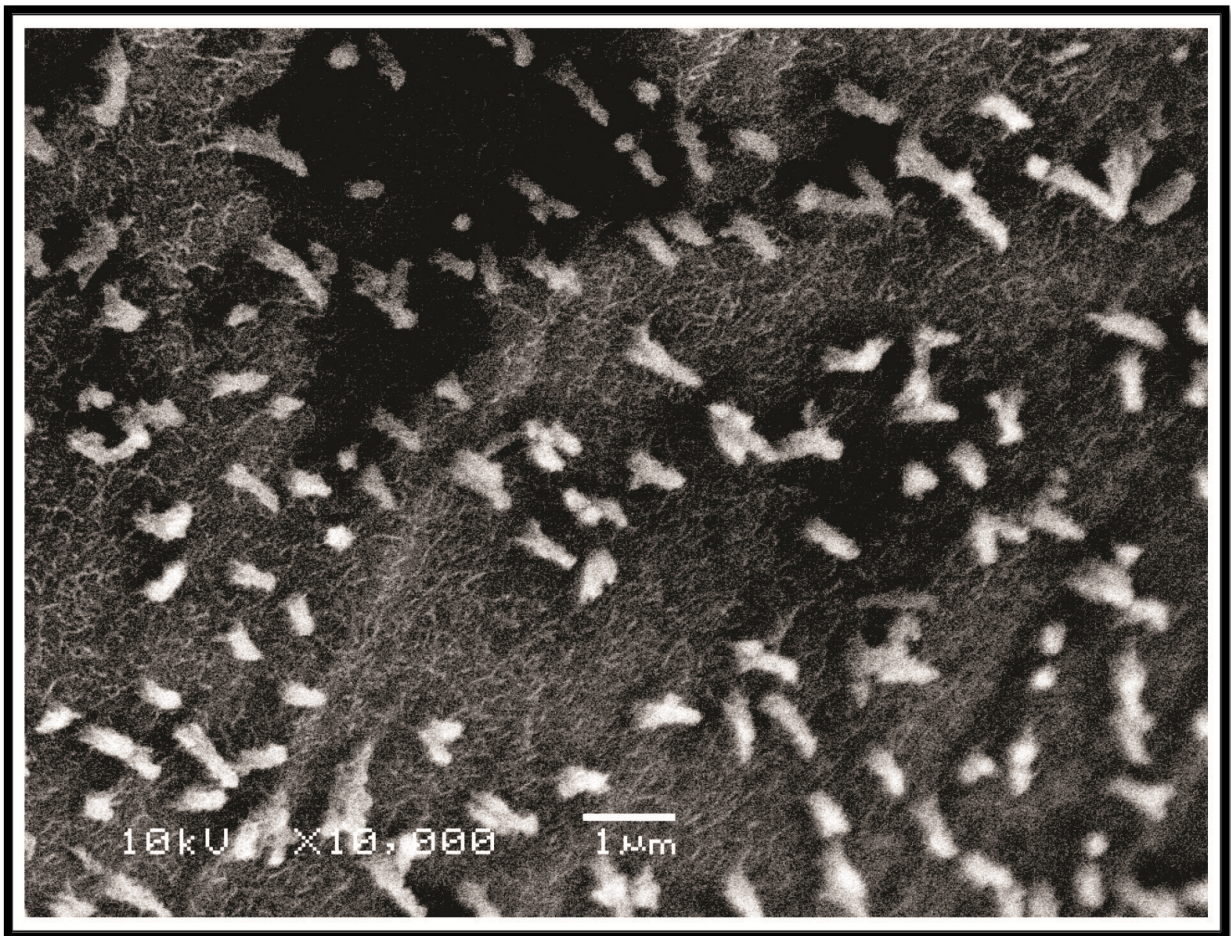


Figura 51: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Ceras em formatos de plaquetas, distribuídas por pequenos intervalos de espaços em que existe uma concentração de ceras. Parâmetros de operação: aumento de 10,000 vezes – 10KV.

Em adição, foi realizada a contagem do número de plaquetas existentes em três imagens diferentes obtidas pelo MEV.

A contagem do número de plaquetas foi diferente para as três imagens, entretanto os valores foram próximos. A Figura 52 (a) resultou em 114 plaquetas, em (b) 94 plaquetas e em (c), 100 plaquetas. Para três diferentes contagens em uma área de $100\mu\text{m}^2$ verificou-se que o valor médio foi de 102,6 plaquetas.

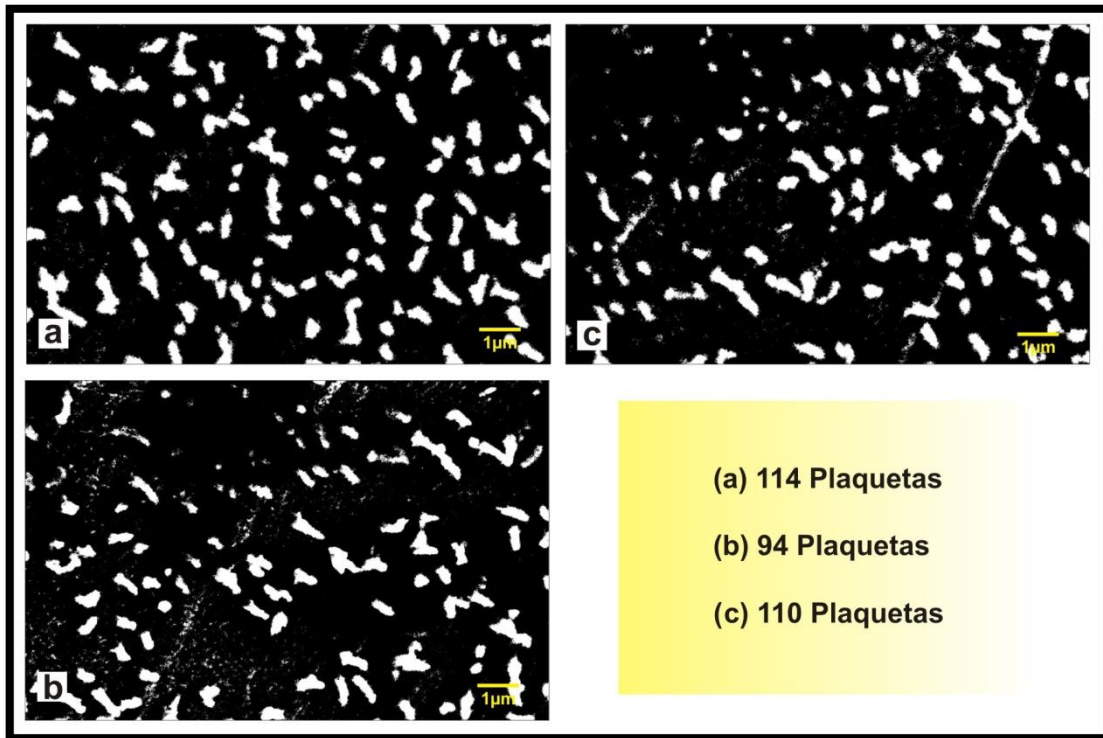


Figura 52: Micrografia da planta *Salvinia Molesta* por MEV. Tratamento das imagens em negativo no software *Photoshop* para contagem do número de ceras. Em (a) 114 plaquetas, em (b) 94 plaquetas, e em (c) 100 plaquetas.

4.3 MEDIDA DO ÂNGULO DE CONTATO E HISTERESE

A Figura 53 (a) e (b) mostra as medidas dos ângulos de contato de uma gotícula de água aplicada sobre uma folha da planta *Salvinia Molesta*.

Observou-se que os ângulos de contato variaram devido à superfície rugosa da planta composta pelos tricomas. As medidas dos ângulos foram muito próximas: na imagem (a), o ângulo mediu 130° e na imagem (b) 142° , confirmando uma superfície hidrofóbica. Conforme visto anteriormente, superfícies com ângulos de

contato, maiores ou iguais a 90° e menor ou igual a 150° , são hidrofóbicas. A linha de base é a margem do ponto de contato entre líquido e sólido.

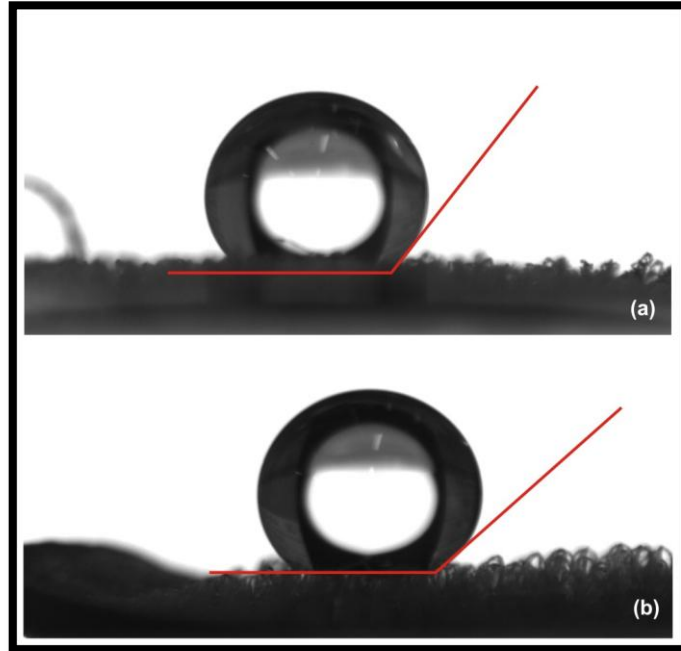


Figura 53: Medidas do ângulo de contato da planta *Salvinia Molesta*, confirmando hidrofobia da planta.

Como comparativo, a Figura 54 mostra uma gota de água aplicada em uma superfície de vidro. A medida do ângulo de contato nessa superfície, mediu 30° , confirmando uma superfície hidrofílica, na qual, como visto anteriormente, superfícies com ângulos de contato maior ou igual a 10° e menor que 90° são denominadas superfícies hidrofílicas.

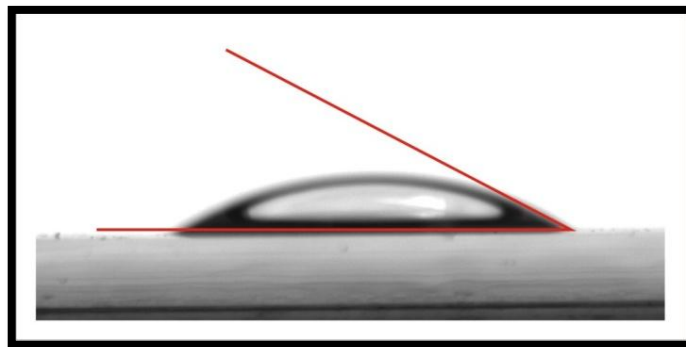


Figura 54: Medidas do ângulo de contato de uma gota de água aplicada à superfície de vidro, lisa, confirmando uma hidrofília.

A partir do experimento realizado, a medida da histerese do ângulo de contato da planta *Salvinia Molesta* está em torno dos 60°. Os resultados dos ângulos de histerese oscilaram, isso devido à presença de partes hidrofílicas nas pontas do tricomas da planta que apreendem as gotículas de água na superfície.

4.4 ROTEIRO E *STORYBOARD* DA SIMULAÇÃO EM SOFTWARE

Foi desenvolvido um roteiro antes de iniciar a programação da animação 3D. Foram programadas 04 cenas, para o filme da gota de água caído sobre a superfície foliar da *Salvinia Molesta*, as quais são descritas no roteiro abaixo:

1º quadro: Vista dos tricomas;

2º quadro: A gotículas começam a cair e fixar-se nas partes hidrofílicas, no topo da planta, onde há ausência de cera;

3º quadro: A chuva fica mais forte; a gota se acomoda no topo, chegando à parte hidrofóbica do tricoma;

4º quadro: A gota começa a rolar, e escorre totalmente para fora da folha.

O *Storyboard* como é mostrado na Figura 55, foi desenvolvido a partir do roteiro. Com ele, é possível visualizar de forma gráfica 2D os quadros que foram programados para o desenvolvimento da animação 3D.

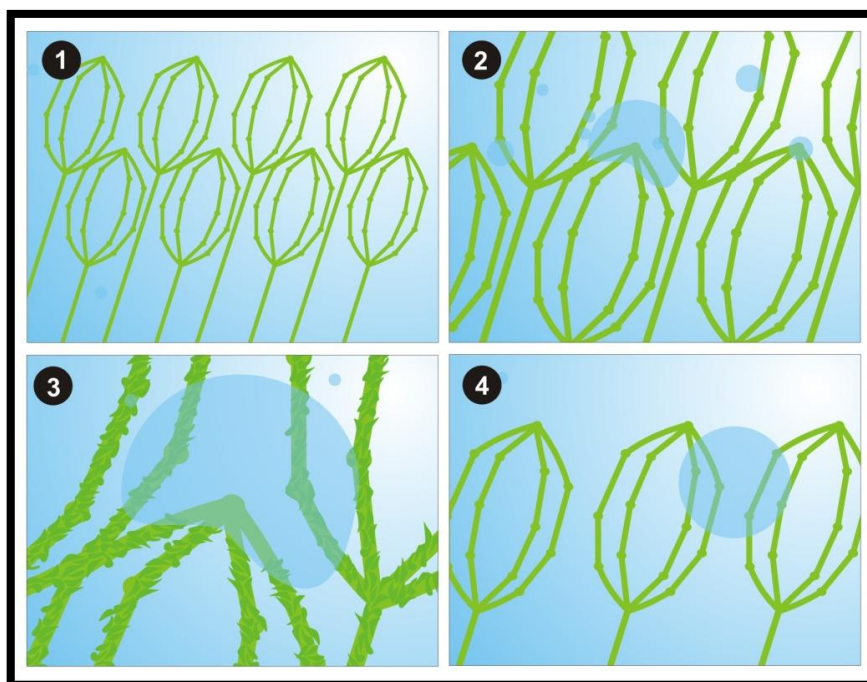


Figura 55: *Storyboard* desenvolvido a partir do roteiro do filme.
 Fonte: Imagens obtidas pela autora, utilizando o software *Adobe Illustrator*.

A partir do *Storyboard* (mostrado na Figura 55 em forma gráfica 2D), a simulação 3D foi desenvolvida, conforme é mostrado na Figura 56. A imagem (a) apresenta os tricomas alinhados simetricamente, é possível visualizar as ceras nas partes inferiores do tricoma. Na imagem (b) é mostrado o topo dos tricomas, as áreas hidrofílicas da planta, sem cera.

A imagem (c) mostra as primeiras gotas caindo. Em (d) uma das gotas fixa-se na parte hidrofílica da planta, no topo do tricoma. Em (e) outra gotícula cai sobre a gota mostrada na imagem (d) aumentando o tamanho da gota anterior e chegando as áreas hidrofóbicas da planta, tomando um formato esférico. Em (f) e (g) a gotícula começa a rolar sobre os tricomas para fora da folha. Em (h) a gotícula cai para fora da superfície foliar, mostrando suas capacidades de repelência de água.

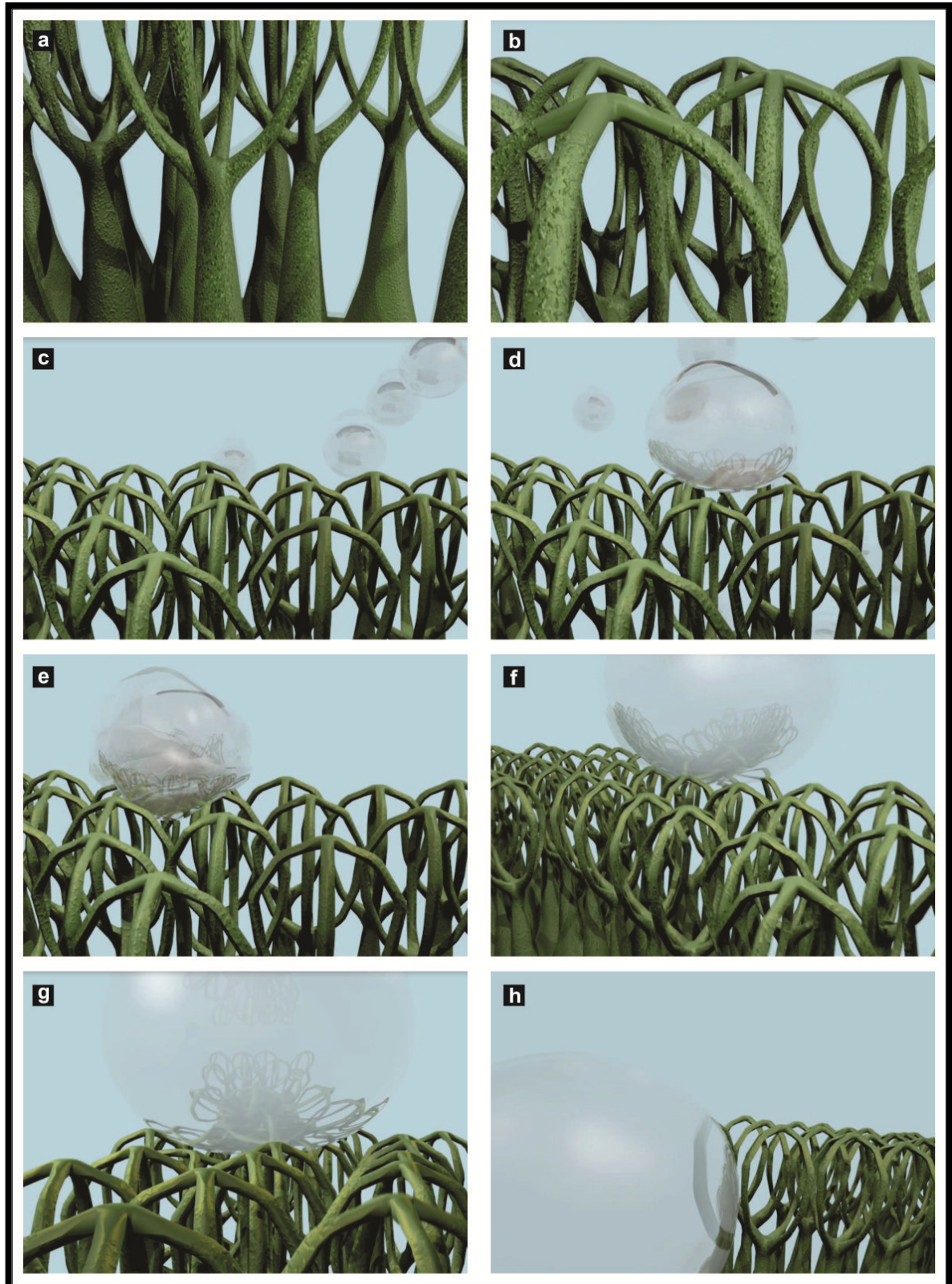


Figura 56: Cenas da animação 3D. Em (a) apresenta os tricomas alinhados simetricamente, é possível visualizar as ceras nas partes inferiores do tricoma. Em (b) é mostrado o topo dos tricomas, as áreas hidrofílicas da planta, sem cera. Em (c) as primeiras gotas caindo. Em (d) uma das gotas fixa-se na parte hidrofílica da planta, no topo do tricoma. Em (e) outra gotícula cai sobre a gota mostrada na imagem (d) aumentando o tamanho da gota anterior e chegando as áreas hidrofóbicas da planta. Em (f) e (g) a gotícula começa a rolar sobre os tricomas para fora da folha. Em (h) a gotícula cai para fora da superfície foliar.

Fonte: Imagens obtidas pela autora através do software *Blender*.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados das caracterizações apresentadas nesta dissertação e em consonância com o design de produto procurou-se mostrar a aplicabilidade da análise biônica e o suporte que as ferramentas tecnológicas oferecem ao design. A natureza é fonte poderosa de informação, cabe ao designer explorá-la e aplicá-la da melhor forma, visando o desenvolvimento de produtos e materiais funcionais.

A planta *Salvinia Molesta* foi analisada morfologicamente dando ênfase à investigação da repelência da água na superfície da folha. O resultado obtido nesta pesquisa antecedeu de uma metodologia biônica aplicada à planta *Salvinia Molesta* na qual poderá ser utilizada em outras análises que envolvam elementos naturais da fauna e flora. Esta metodologia conduziu em uma pesquisa sistemática que avaliou a necessidade, os potenciais e as limitações da planta. A metodologia apresentada foi dividida em vários métodos de caracterização que serão esclarecidos no decorrer desta discussão.

A análise do ambiente em que a planta vive foi relevante para a questão do sistema de sua organização formal na natureza. Morfologicamente a planta foi analisada através de dois tipos de microscopia: estereoscópica e microscopia eletrônica de varredura – MEV. A observação através do microscópio estereoscópico serviu de início as análises micromorfológicas desta investigação. A partir dela foi possível compreender o sistema da planta, sua estrutura e sua organização que a olho nu não seria possível analisar.

Por estereoscópio, o tricoma foi analisado – a haste e “gaiolas” como chamadas, por Kissmann (1997), ou “batedores de ovos”, segundo Barthlott *et al.*, (2010). O aprisionamento do ar é causado devido a estrutura do tricoma, este ar circundante é um dos fatores que causam a repelência de água na superfície da folha. Através de uma micrografia do tricoma, a estrutura do topo da planta foi observada, tendo em consideração o que foi exemplificado por Munari (1997), no qual as estruturas são observadas por uma questão de escala, e quando ampliadas são visíveis as formas geométricas básicas: o círculo, o triângulo equilátero e o

quadrado. A variação do triângulo equilátero no topo do tricoma gerou uma estrutura composta por quatro triângulos equiláteros mostrados na Figura 40.

Através da microscopia eletrônica de varredura os resultados tornaram-se estimulantes no que se refere a capacidade de repelência e absorção de água da planta. Os tricomas são cobertos por cristais de cera que causam a repelência de água. A cera também é um dos fatores que causa a repelência de água na superfície das folhas, ou seja, na parte superior da planta existem áreas lisas, hidrofílicas, que carecem de cristais de cera, fazendo com que as gotículas fixem-se nestas partes. Assim, em caso de chuva, (gotas contínuas), por gravidade chegam até as partes hidrofóbicas fazendo com que a gota escorra sobre a superfície foliar. Visualizando a planta a olho nu é possível observar estas pequenas gotículas “aprisionadas” nas pontas dos tricomas. A partir da observação pelo MEV compreende-se que as pequenas gotas fixavam-se devido as partes lisas que prendem as gotas em suas áreas hidrofílicas. O resultado da microscopia eletrônica desta pesquisa concorda com os resultados de Barthlott *et al.*, (2010), mostrados na Figura 20.

A dupla capacidade de hidrofilicidade e hidrofobicidade da planta *Salvinia Molesta* é comparado com o mecanismo do casco do besouro do deserto da Namíbia. Como dito anteriormente por Parker e Lawrence (2001), o casco do besouro possui áreas hidrofílicas que capturam a água da neblina. Estas gotículas aumentam rapidamente de tamanho até chegarem às partes hidrofóbicas do casco, e com a gravidade deslocam até sua boca. Mecanismo semelhante ocorre com a *Salvinia Molesta*, onde as gotículas de água primeiramente atingem a parte superior da planta na qual é denominada hidrofílica. Na medida em que as gotas vão enchendo atingem as regiões hidrofóbicas, tomando por sua vez um formato esférico e rolando para fora da superfície foliar.

As áreas hidrofílicas, lisas e hidrofóbicas, rugosas da planta foram melhor observadas com magnificações da ordem de 2.500x (escala 10µm). Já a melhor observação do formato dos cristais de ceras, denominados como plaquetas segundo Neinhuis e Barthlott (1997), foram observados em magnificações da ordem de

10.000x (escala 1 μ m). As ceras observadas através de três micrografias distintas de 1 μ m apresentaram intervalos de espaços uma das outras, como visto na Figura 52. Esse resultado foi obtido através da contagem do número de plaquetas. A média por área de 100 μ m² foi de 102,6 plaquetas. Portanto, afirma-se que as ceras encontram-se em uma contagem constante através de uma organização aleatória.

O formato esférico das gotículas também foram analisados através da medida do ângulo de contato, o qual é o principal método para caracterização da hidrofobicidade e hidrofilicidade de superfícies. O experimento apresentado por Neinhuis e Barthlott (1997), careceu desta informação para a espécie *Salvinia Molesta*, já que segundo eles, plantas com pêlos são mais complexas. A epiderme foi denominada como tricomas, e os cristais de cera como plaquetas, conforme mostrado na Figura 12.

A Figura 57 (a) ilustra o tricoma no qual as áreas molháveis suportam a gota em formato esférico, repelindo-a para fora após suficiente crescimento até entrar em contato com as ceras do tricoma. Se por outro lado, estas áreas molháveis fossem maiores (Figura 57 (b)), as gotas de água seriam absorvidas pelo tricoma, pois não entrariam em contato com as ceras da planta. O ar circundante que é um dos fatores que causa a repelência de água não suportaria a gotícula.

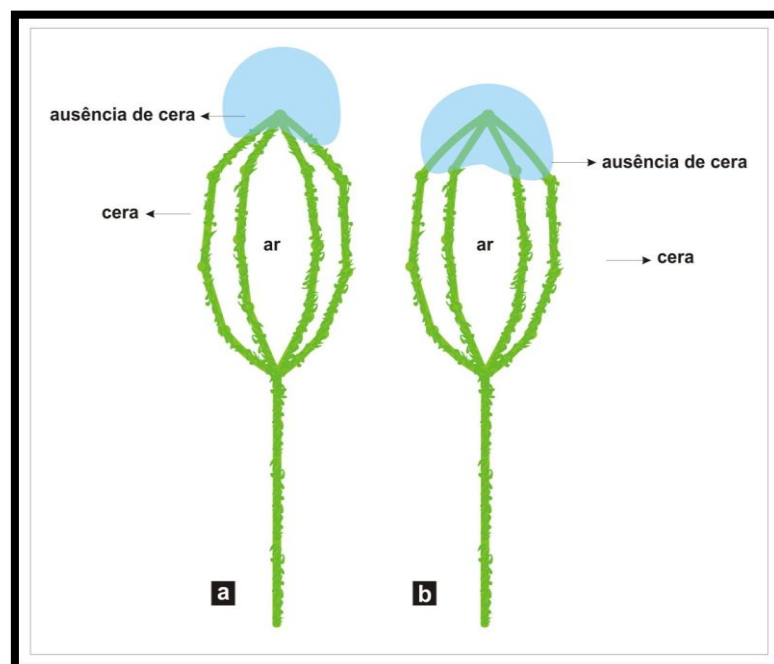


Figura 57: Em (a) tricoma com uma pequena parte hidrofílica da planta. Em (b) tricoma com maior área desprovida de cera (espalhamento da gota na área hidrofílica).

Fonte: Ilustração desenvolvida pela autora.

Utilizando duas amostras obteve-se ângulos de contato com a superfície de 130° e 142°. Comparando os resultados destas medidas com os da Figura 25, que apresenta os resultados obtidos por Koch *et al.*, (2008) referentes a capacidade de absorção de água conclui-se que a planta *Salvinia Molesta* é hidrofóbica e não superhidrofóbica como a folha do lótus que apresenta o ângulo de contato com a água de 161° (GUO; LIU, 2007). Nestas duas medidas apresentadas observou-se uma diferença de 12°. A existência dessa diferença do ângulo de contato é devido ao fato de que a epiderme da planta em estudo é formada por inúmeros tricômas que define a capacidade de absorção de água nas superfícies.

A histerese do ângulo de contato também é um fator relevante na determinação da capacidade de absorção de água nas superfícies. Desta forma, é possível afirmar que a partir da caracterização realizada nesta pesquisa, a histerese da planta *Salvinia Molesta* é alta. Koch *et al.*, (2008), já afirmava que ângulos baixos, menores que 10° são características de superfícies superhidrofóbicas e autolimpantes, já a combinação de um alto ângulo de contato com alto ângulo de histerese não torna uma superfície superhidrofóbica. Em nenhum dos resultados os ângulos foram menores que 40°. Esta oscilação ocorreu devido às partes hidrofílicas da planta que apreendem as gotículas de água no topo dos tricomas, não os deixando escorrer para fora da superfície foliar. No momento em que a gota de água era inserida na superfície dos tricomas, as gotículas fixavam-se nas partes hidrofílicas, oscilando ângulos de contatos em torno dos 60°. Comparando os resultados obtidos através da medida do ângulo de contato, e da histerese, define-se que a planta não é superhidrofóbica, devido às áreas hidrofílicas.

A partir dos resultados compilados e avaliados, desenvolveu-se um roteiro e um *storyboard* para o desenvolvimento de uma simulação 3D. O roteiro consiste em uma gota caindo sobre a folha e fixando-se nas pontas dos tricomas, e logo escorrendo sobre eles para fora da superfície foliar. Essa simulação serviu como modo de demonstração e compreensão do mecanismo de funcionamento da capacidade de repelência de água como também da capacidade de apreensão das gotículas no topo dos tricomas orientado para o futuro desenvolvimento de um produto através da análise biônica da *Salvinia Molesta*.

Como a planta mostrou capacidades hidrofílicas e hidrofóbicas instiga o desenvolvimento de uma superfície com dupla função: características hidrofóbicas, repelentes a água e hidrofílicas, de absorção de água. Karuppuchamy e Jeong, (2005), afirmaram que úteis seriam as superfícies nas quais pudessem ser modificadas, aquelas, cuja a permeabilidade pudesse ser revertida em locais precisos. Tendo em vista esta informação, e comparando-a com as propriedades da planta, é possível que através de estudos já iniciados e outros apresentados nesta dissertação sejam o início para o desenvolvimento de um produto capaz de atender os requisitos propostos pelos autores acima citados por meio de uma análise biônica.

O fluxograma apresentado na Figura 58, mostra a metodologia utilizada para esta investigação.

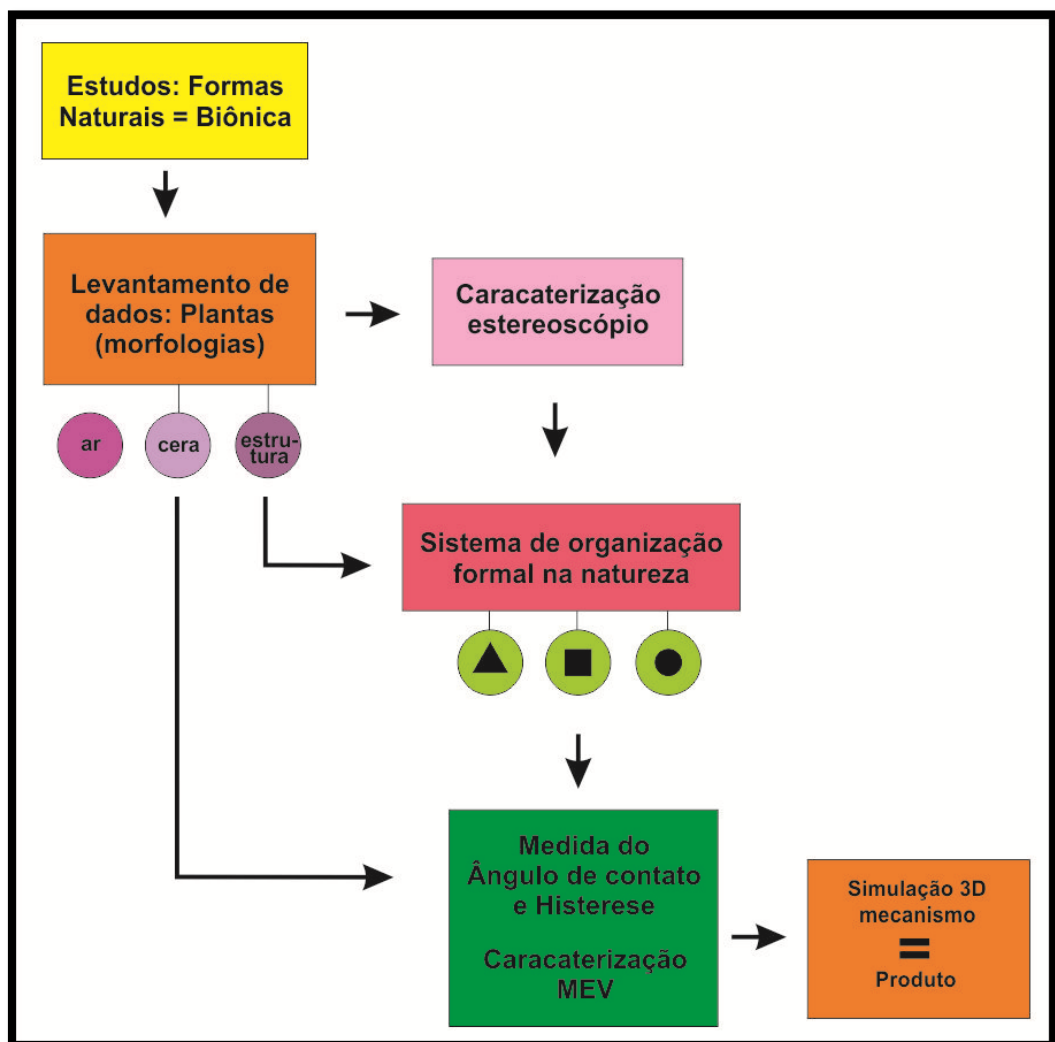


Figura 58: Fluxograma da metodologia biônica aplicada a *Salvinia Molesta*.
Fonte: Fluxograma desenvolvido pela autora.

Tendo a biônica como ponto de partida para o desenvolvimento desta metodologia foi estudada a aplicabilidade e os objetivos de realizar esta investigação. Após interação sobre os instrumentos disponíveis de caracterização foi proposta a metodologia biônica aplicada a *Salvinia Molesta*.

Como levantamento de dados, foram estudados os produtos que já haviam sido desenvolvidos através de uma análise biônica. O conhecimento sobre as plantas aquáticas foi de extrema importância, pois informou as três características que causam a repelência de água em superfícies, o ar, as estruturas e as ceras. As análises microscópicas comprovaram estas características.

Por estereoscópio, a estrutura da planta através das formas básicas geométricas foi analisada. Pelo MEV as ceras foram identificadas.

A medida do ângulo de contato e a medida da histerese do ângulo de contato também foram fatores relevantes, na determinação da hidrofobicidade. O conhecimento do porquê que a superfície é denominada hidrofóbica foi descoberto através das análises pelo microscópio eletrônico de varredura, onde as micrografias mostraram as áreas hidrofílicas, que capturam as gotículas em suas extremidades.

Com todos os dados compilados, realizou-se um roteiro e um *storyboard* objetivando o desenvolvimento da simulação 3D como modo de demonstração do mecanismo de funcionamento da planta. A simulação ofereceu ferramentas que possibilitam o desenvolvimento de produtos uma vez que as etapas anteriores visam a compreensão da planta em questão da morfologia, mecanismos, das capacidades de repelência de água, ângulo de contato e sistema de organização formal na natureza.

Tendo em vista a fluidez e o sucesso da metodologia desenvolvida e proposta nesta pesquisa, é válida a utilização da mesma para experimentos nos quais necessitem de resultados micro e nano morfológicos no desenvolvimento de produtos funcionais baseados em uma análise biônica.

6 CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES

O elemento analisado tornou-se cada vez mais curioso e instigante no decorrer desta investigação, devido as suas capacidades repelentes a água, como também pela sua capacidade de aprender gotículas em suas extremidades. Com os dados da revisão da literatura compilados, e as micrografias realizadas, foi observada a possibilidade do avanço desta pesquisa através da análise de plantas aquáticas, pois, como visto, muitas delas possuem capacidades de repelência a água que podem contribuir no desenvolvimento de uma superfície artificial inspirada na planta *Salvinia Molesta*.

Analisando a planta *Salvinia Molesta* através do MEV, foi observada uma carência de cera no topo da planta. Este resultado, comparado com os resultados analisados da mesma planta por outros pesquisadores confirmou dados importantíssimos, no que se refere às áreas lisas e hidrofílicas da planta. Este experimento abre a possibilidade do desenvolvimento de uma superfície repelente á água como de uma superfície que absorva água, ou então a junção destas duas características, na qual resultará em uma superfície com dupla função.

Conclui-se, que a planta aquática *Salvinia Molesta* é hidrofóbica, isto é, possui propriedades repelentes (hidrofobicidade), e de absorção (hidrofilicidade) de água. A planta não é superhidrofóbica, devido ao ângulo de contato com a superfície que não atinge os 160° como também a histerese do ângulo de contato que não é inferior a 10° graus. Mesmo assim, é caracterizada como uma planta que repele a água, devido a sua estrutura que se assemelha a “batedor de ovos” nos quais aprisiona o ar, sua rugosidade, as ceras nas hastes e em uma considerável área da “gaiola” do tricôma. A morfologia destas ceras, denominadas de plaquetas, não interfere no que diz respeito à propriedade de absorção de água. As partes hidrofílicas (sem cera), no topo dos tricômas apreendem as gotículas de água. E, uma vez que a gota cresce de forma a atingir a região da cera da planta, a gota rola.

A metodologia gerada a partir da observação e análise da planta é considerada plausível e declaradamente reprodutível. A partir dela, a pesquisa pode

comparar os resultados obtidos com a literatura revisada. O ponto primordial foi a caracterização realizada através da microscopia eletrônica de varredura, onde as micrografias mostraram os locais com ausência e presença de cera, no qual direcionou o estudo não somente para o desenvolvimento de uma superfície artificial repelente a água como também de absorção de água. No término da aplicação da metodologia, com todos os pontos relevantes compilados, foi desenvolvida a simulação 3D, no qual a compreensão do mecanismo de funcionamento da planta auxiliará a continuação desta pesquisa para o desenvolvimento de um produto através da análise biônica aplicada a *Salvinia Molesta*.

As proposições de continuidade da pesquisa acerca da planta *Salvinia Molesta* são inúmeras. Algumas destas idéias são listadas a seguir, tais como:

- Desenvolver o “efeito salvinia”. Estudar o comportamento de outros elementos da fauna e flora que apresentem características semelhantes à *Salvinia* e o besouro do deserto da África, que possuam propriedades hidrofóbicas e hidrofílicas em suas superfícies no intuito de desenvolver uma superfície artificial com dupla função.

- Desenvolver superfícies artificiais repelentes à água, que auxiliem a retirada de sujeiras depositadas em locais inapropriados, tais como fachadas de prédios, vasos, vidros de veículos automotores, retirada de resíduos no fundo de embalagens de perfumaria e outros.

- Desenvolver superfícies artificiais que possuam capacidade de absorção de água, para fins de conforto térmico na satisfação do homem, seu bem estar para sentir-se termicamente confortável como também para a conservação de energia.

- Investigar outros métodos de caracterizações microscópicas para obtenção de diferentes resultados e compará-los com o apresentado nesta pesquisa, tal como o uso da microscopia eletrônica de varredura de baixa temperatura no qual permitirá que a amostra seja visualizada em sua forma original, sem a necessidade de desidratação para a observação.

REFERÊNCIAS

AMARAL, E.; GUANABARA, A.; KINDLEIN, W. **Sistema de Fixação Baseados na Biônica e no Design de Produto: Estudo de caso “Velcro” a partir do Fruto do Carrapicho.** Revista Estudos em Design, v. 10, n.1, 2002.

ARRUDA, A.; **Organismos Vivos como Modelos Tecnológicos: Simples Metáfora ou um Parâmetro a mais para o Design.** Design Belas Artes, São Paulo, ano 6, n. 07, p. 34-8, 2000.

BARTHLOTT, W.; SCHIMMEL, T.; WIERSCH, S.; KOCH, K., BREDE, M., BARCZEWSKI, M.; WALHEIM, S.; WEIS, A.; KALTENMAIER, A.; LEDER, A.; BOHN, H. F. **The Salvinia Paradox: Superhydrophobic Surfaces with Hydrophilic Pins for Air Retention Under Water.** Advanced Materials, 22, p.1-4, 2010.

BARTOLO, C. D. **Introdução aos Estudos da Biônica Aplicada.** Tradução Dr. Amilton José Vieira de Arruda, Recife, Textos para Cadernos de Biodesign – Produção Laboratório de Biodesign, UFPE, 1995.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos.** 2.ed., rev. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 260p.

BHUSHAN, B.; JUNG, Y.C. **Micro and Nanoscale Characterization of Hydrophobic and Hydrophilic Leaf Surface.** Institute of Physics Publishing, Nanotechnology, 17, p. 2758-2772, 2006.

BROECK, F. V. **Biodesign. Uma Filosofia de Projeção.** Tradução Dr. Amilton José Vieira de Arruda, Recife, Textos para Cadernos de Biodesign – Produção Laboratório de Biodesign, UFPE, 1995.

CALLISTER, W. D. J. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p.

CASTRO, L. A. S. **Processamento de Amostras para Microscopia Eletrônica de Varredura.** Embrapa. Rio Grande do Sul, Pelotas, p.37, nov. 2002.

CONG, Q.; CHEN, G.; FANG, Y.; REN, L. **Super-hydrophobic Characteristics of Butterfly Wing Surface.** Journal of Bionics Engineering, v.1, n..4, p. 249-55, 2004.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução.** Longmans, Green and Co, Ltd. London, p. 436-42, 1996.

ENSIKAT, H. J.; SCHULTE, A. J.; KOCH, K.; BARTHLOTT. **Droplets on Superhydrophobic Surfaces: Visualization of the Contact Area by Cryo-Scanning Electron Microscopy**. American Chemical Society, 22, p. 13077-13083, 2009.

GRIMSTONE, A. V. **O Microscópio Eletrônico em Biologia**. São Paulo: EPU - Da Universidade de São Paulo, 1980. 70p.

GUO, Z.; LIU, W. **Biomimic From The Superhydrophobic Plant Leaves in Nature: Binary Structure and Unitary Structure**. Plant Science, 172, p. 1103-1112, 2007.

HSUAN-AN, T. **Sementes do Cerrado e Design Contemporâneo**. Goiânia: UCG, 2002. 217 p.

KARUPPUCHAMY, S.; JEONG, J. M. **Super-hydrophilic Amorphous Titanium Dioxide thin Film Deposited by Cathodic Electrodeposition**. Materials Chemistry and Physics, 93, p. 251-4, 2005.

KINDLEIN, W. J.; GUANABARA, A. S.; SILVA, E. A.; PLATCHECK, E. R. **Proposta de uma Metodologia para o Desenvolvimento de Produtos Baseados no Estudo da Biônica**. P&D Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Brasília 2002. 8 p.

KISSMANN, K. G. **Plantas Nocivas e Infestantes**. 2.ed. São Paulo: Basf Brasileira S.A, 1997. Tomo I.

KOCH, K.; BHUSHANB, B.; BARTHLOTT, W. **Diversity of Structure, Morphology and Wetting of Plant Surfaces**. The Royal Society of Chemistry, 4, p. 1943-63, 2008.

LE CORBUSIER. **Por uma Arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 1977. 205p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1.ed. 2ª reimpr. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. 359p.

MUNARI, B. **Design e Comunicação Visual: Contribuição para uma Metodologia Didática**. São Paulo: Martins Fontes, 1997. 345p.

NEINHUIS, C.; BARTHLOTT, W. **Characterization and Distribution of Water-repellent, Self-cleaning Plant Surfaces**. Annals of Botany, 79, p. 667-77, 1997.

PARKER, A. R.; LAWRENCE, C. R. **Water Capture by a Desert Beetle**. Nature, 414, p. 33-34, 2001.

SAJADINIA, S. H.; SHARIF, F. **Thermodynamic Analysis of the Wetting Behavior of Dual Scale Patterned Hydrophobic Surfaces.** Journal of Colloid and Interface Science, 344, p. 575-83, 2010.

SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL. **Surpreendentes Materiais Autolimpantes**, ano 6, n. 76, set. 2008.

STO Ltd. **Facade Coatings With Lotus-Effect.** Disponível em: <http://www.sto.co.uk/evo/web/sto/26856_EN-brochures-br_fac_lotuseffect.pdf>. Acesso em: 30 out. 2009.

VANDER VOORT, G.; F. **Asm Handbook: Metallography and Microstructure.** Asm International. Materials Park, Ohio, v.9, p. 86-7, 1995.

VASCONCELOS, A. **Estruturas da Natureza: Um Estudo da Interface entre Biologia e Engenharia.** São Paulo: Studio Nobel, 2000.

WATANABE, T.; NAKAJIMA, A.; WANG, R.; MINABE, M.; KOIZUMI, S.; FUJISHIMA, A.; HASHIMOTO, K. **Photocatalytic Activity and Photoinduced Hydrophilicity Titanium Dioxide Coated Glass.** Thin Solid Films, 351, p. 260-3, 1999.

GLOSSÁRIO

01. Acaules: sem caule.

02. Acúleos: é uma projeção na superfície da planta, sobretudo no caule, semelhante a um espinho.

03. Anatásio: é uma das três formas minerais do dióxido de titânio. Forma sistema tetragonal. Relação axial (relação entre eixos): $a = b \neq c$

04. Biomimética: uma área da ciência que tem por objetivo o estudo das estruturas biológicas e das suas funções.

05. Brookita: é uma das três formas minerais do dióxido de titânio. Forma sistema ortorrômbico. Relação axial (relação entre eixos): $a \neq b \neq c$

06. Carbonetos: são compostos inorgânicos binários que contêm carbono.

07. Catalisador: fator ou substância que promove catálise, a aceleração de reações químicas, pois, sem a sua presença, exigiriam elevada energia de ativação ou demandariam um tempo exageradamente grande para se processar.

08. Cera Epicuticular: denominada por Cutícula Vegetal que é uma cobertura de cera produzida unicamente pelas células epidérmicas das folhas, brotos jovens e outros tipos de órgãos de plantas.

09. Célula Epidérmica: termo usado em biologia para diferentes tecidos. Apresenta várias camadas de células é a camada exterior da derme (camada interna).

10. Cutículas: película fina que reveste externamente, com finalidade protetora, algum tecido mais delicado (Botânica).

11. Eletrodeposição: deposição por eletricidade (metal, liga ou composto químico), por diferença de potencial, eletrólise.

12. Eletrólise: conjunto de fenômenos químicos ocorrentes dos eletrodos imersos numa solução condutora, provocados pela passagem de corrente elétrica, e que

podem ser decomposições, deposições, combinações, desprendimentos gasosos, oxidações ou reduções.

13. Escaneamento: digitalizar com uso de aparelho de leitura óptica.

14. Epiderme: diferentes tecidos. Apresenta várias camadas de células, é a camada exterior da derme.

15. Fotocatalisador: catálise provocada pela luz.

16. Frondes: folhas verdes.

17. Híbrido: vegetal procriado por duas espécies distintas, mas pertencentes ao mesmo gênero.

18. Hidrofobia: não demonstra afinidade pelas moléculas de água.

19. Hidrofilia: demonstra afinidade pelas moléculas de água.

20. Isodiamétrica: possui as mesmas dimensões.

21. Lubricidade: qualidade de lúbrico, escorregadio, resvaladiço, úmido ou liso a ponto de fazer escorregar.

22. Micrômetro: unidade fundamental de medida de comprimento do Sistema Internacional, cujo símbolo correspondente é o μm , usado em Microscopia Eletrônica, correspondente à milésima parte do milímetro.

23. Morfologia: é a ciência das formas. É a ciência que tem por objeto o conhecimento e a explicação das formas externas e internas dos seres vivos, e também as leis que presidem seu aparecimento.

24. Nanômetro: unidade fundamental de medida de comprimento do Sistema Internacional, cujo símbolo correspondente é o nm . Usado em Microscopia Eletrônica. Correspondente a $0,000\ 001\text{m}$ (1 milionésimo do milímetro); é a milésima parte do micrômetro.

25. Nitrogênio: são compostos inorgânicos que apresentam como anion o elemento nitrogênio.

26. Óxidos: é um composto binário formado por átomos de oxigênio com outros elementos. Exemplos: óxido de carbono, óxido de ferro e óxido de cálcio.

27. Parede Anticlinal: paredes celulares de um órgão vegetal, quando perpendiculares à superfície do mesmo.

28. Parede Periclinal: área externa da superfície da célula é chamada de parede periclinal.
29. Papila: pequena proeminência ou verruga. Qualquer pequena estrutura saliente ou verrucóide.
30. Patógenos: pode ser chamado de patógeno um agente com potencial agressivo ao homem. Por exemplo, uma bactéria ou um vírus podem ser patógenos.
31. Polimorfismo: podem ter mais que uma estrutura cristalina. Quando encontrada em sólidos, essa condição é chamada de alotropia.
32. Pteridófitas: grupo de vegetais vasculares sem sementes.
33. Processo Sol – Gel: método usado em laboratório para fazer misturas de reagentes.
34. Rizomas: tipo de caule.
35. Rutilo: é uma das três formas minerais do dióxido de titânio. Forma sistema tetragonal. Relação axial (relação entre eixos): $a = b \neq c$
36. Sistema Cristalino: grupo de ordenamento espacial pontual de átomos e moléculas. Existem sete combinações diferentes, cada um representa um sistema cristalino distinto: cúbico, tetragonal, hexagonal, ortorrômbico, romboédrico, monoclinico e triclinico.
37. Suspensão Aquosa: substância que se dissolve na água.
38. Titânia: também chamado de dióxido de titânio, cuja fórmula química é TiO_2 .
39. Tricoma: pêlos, apêndices da epiderme presentes em diversos órgãos das plantas.