

2

Revisão bibliográfica

2.1 Origem e distribuição geográfica da pupunha

A pupunha foi catalogada originalmente por Kunth, em 1816, no norte dos Andes colombianos, perto de Medellín. Todavia seu provável centro de origem foi a oeste da bacia Amazônica, entre o Peru, Brasil e Bolívia (Clement, 1989).

Supõe-se que a pupunha (*Bactris gasipaes Kunth*) tenha sido cultivada pelos ameríndios pré-colombianos na região neotropical úmida (MMA, 1998). A madeira do estipe teria sido a primeira parte a ser utilizada, seguida pelo óleo do fruto. Após milênios de domesticação, o amido do fruto também passou a ser aproveitado (Clement, 2000).

O principal motivo de ser cultivada na região norte do Brasil é o fruto, que está integrado aos hábitos alimentares dos povos dessa região (Fonseca et al., 2002), diferentemente das outras regiões da América do Sul e Central, onde ela é plantada exclusivamente por causa do palmito, para fins comerciais.

Atualmente a pupunha vem sendo plantada na Costa Rica, Trinidad, Jamaica, Porto Rico, Cuba, Honduras, Colômbia, Peru, Bolívia e Brasil. E, segundo Clement (1988), dentre esses países, se destaca mais na agroindústria da Costa Rica, onde é produzido e comercializado o palmito.

2.1.1 A Pupunha no Brasil

No Brasil, a pupunheira é encontrada nos Estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Pará, norte do Mato Grosso, Maranhão, Roraima, Amapá, Bahia, Espírito Santo, São Paulo e Rio de Janeiro (Fonseca et al., 2002).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (1998), a *Bactris gasipaes* vem sendo largamente plantada devido a um conjunto de fatores: a sua adaptabilidade a diversos tipos de clima e solo, o aproveitamento da palmeira, com utilização da raiz, do estipe, do fruto e da folha, e o potencial econômico do palmito, com valor de mercado e boa produtividade / área.

Apesar de ser multivalente no que diz respeito a seu ambiente de plantio, a pupunha tem predileção pelo clima tropical úmido, com chuvas abundantes

C e solos ricos em matéria orgânica e que não fiquem encharcados.

Com relação à utilidade da palmeira, a raiz pode ser usada como vermicida; a madeira, devido a sua resistência e aparência, pode ser usada para construções de casas e afins; o fruto para alimentação de pessoas e animais e produção de farinha e óleo; as folhas aproveitadas como fibra e o caule secundário como palmito (Clement. 1988).

No atual momento, o que mais tem valor de mercado é o palmito, portanto sua produtividade está relacionada à sua capacidade de geração deste. Esta palmeira, por sua característica multi-caule de até 15 perfilhos, pela brevidade do primeiro corte em até 2 anos, pelo valor do palmito de US\$ 15,00/1Kg e produção per capita de 300g/palmeira, é atrativa para o plantio.

Uma agroindústria de palmito demanda que uma parte do terreno seja destinada à produção de mudas, que são produzidas a partir das sementes, que são conservadas pelos frutos. Estas são produzidas por palmáceas adultas, com até 10 anos, que é a idade limite para se colher bons frutos e em boa quantidade, o que resulta em muitas mudas sadias.

Este limite de idade para produção de sementes gera um resíduo, que pode ser aproveitado como matéria prima para a indústria moveleira e de construção civil, entre outras. A madeira é, então, proveniente dessas geradoras de sementes e oriunda de plantas acima de três anos. (Leeuwen, 2006)

Segundo Clement (2006), uma forma genérica, porém generalista de abordagem da produção de pupunha atualmente no Brasil, é o fruto sendo produzido através da agricultura familiar por meio de sistema agroflorestal, na região norte do país. No resto do Brasil, o palmito vem sendo produto do agronegócio.

2.2 O Coqueiro no Brasil

O coqueiro e a pupunha pertencem à mesma família, *Palmae*, portanto têm a classificação botânica muito semelhante, diferindo apenas em tribo, gênero e espécie. No gênero do coqueiro existem 2 subgrupos, o *typica Nar* e o *nana Griff*, gigante e anão, respectivamente. No presente trabalho, trataremos apenas do *typica Nar*, muito presente no nordeste brasileiro e ocupando uma área de 247 mil hectares, com uma produção aproximada de 1,1 bilhão de frutos (Cuenca, 2001).

Desde que o consumo da água de coco se tornou um hábito contemporâneo nas cidades litorâneas, a plantação de coqueiros vem sendo feita basicamente com essa finalidade (Saabor et al., 2000). O coco é usado principalmente para comercialização da água e da polpa e a fibra é extraída da folha e do coco, sendo a do coco utilizada em mais aplicações.

O coqueiro também tem diversas serventias. A madeira é utilizada para mobiliário e construção civil e seu uso se justifica, pois a vida útil da palmeira, em relação à produção de coco, é de cerca de 60 anos (Siqueira et al., 2002).

A *Cocos nucifera* também é uma palmácea muito versátil, adaptando-se a uma ampla faixa de condições ecológicas e tendo uma vasta gama de aplicações. É condescendente com diversos tipos de clima e solo, inclusive os arenosos. Sua propagação é feita através dos cocos, que podem flutuar durante dias nas águas dos oceanos, seguindo o curso das correntes marítimas, sem danificar o embrião. Esta hipótese é descrita por Schuiling et al. (1994) para explicar a presença de coqueiros em ilhas desabitadas. A figura 5 mostra um coco germinado espontaneamente.

Os coqueiros do Brasil são procedentes das ilhas de Cabo Verde, tendo sido introduzidos no Estado da Bahia no ano de 1553.

2.3. Propriedades dos materiais

Segundo Wilson (1984), os materiais de construção se enquadram em três categorias: cerâmica e vidros, metálicos e poliméricos. Neste último, os mais comuns são os plásticos e madeiras, que, de modo geral, têm como característica: boa resistência, baixa temperatura de fusão e baixa capacidade de condução de calor e eletricidade.



Figura 5 - Coco germinado sem interferência humana.

Para investigar o desempenho de um determinado material, inicialmente deve-se classificá-lo segundo as categorias acima e então avaliá-lo a partir da força a qual ele será submetido. Deve ser levado em conta a natureza, a duração e as condições ambientais a qual a carga é aplicada.

2.3.1.1 Propriedades estruturais

Vale realçar que materiais estruturais, cujo limite de escoamento é muito alto, ou seja, aqueles que agüentam grandes cargas sem deformações permanentes,

normalmente têm fratura frágil. Portanto, às vezes pode ser interessante buscar um material que seja resistente sem deixar de ser dúctil.

2.3.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas indicam como os materiais respondem ao esforço e a deformação. Através de ensaios mecânicos dos diversos materiais de engenharia podemos determinar se esses estarão aptos a fazer parte de uma estrutura, qual seu limite de resistência e, com análises posteriores, relacionar sua microestrutura com suas propriedades mecânicas.

Segundo Callister (2008), para cargas estáticas e contínuas, as propriedades mecânicas do material são determinadas através do ensaio de tensão-deformação. Para calcularmos a tensão e a deformação, utilizamos as equações: $\Sigma = f / a$, onde Σ é a tensão, f é a força em Newton e a é a área em m^2 . Já a deformação é calculada pela razão da variação do comprimento (Δl) sobre o comprimento inicial (l_0), ou seja

— . Por convenção, no ensaio de compressão a tensão é negativa e a deformação, pelo fato do comprimento final ser menor que o inicial, também é negativa.

Para entendermos o comportamento mecânico da madeira temos que compreender os axiomas relacionados aos compósitos reforçados por fibras.

A resistência destes depende da resistência da fibra, do grau de transmissão da carga da matriz à fibra e da magnitude da ligação interfacial.

No caso das palmeiras, elas têm fibras contínuas e predominantemente unidirecionadas. São, assim, compósitos que têm como característica a dependência das propriedades com a fração volumétrica das fases e dos comportamentos tensão-deformação das fibras e da matriz.

Pelo fato das fibras estarem alinhadas, o estipe da palmeira tem um comportamento anisotrópico, tendo maior resistência na direção paralela às fibras.

Geralmente nesses compósitos, tanto os feitos pelo homem como os pela natureza, a fibra é mais resistente e a matriz é mais dúctil.

O comportamento sob carga dos compósitos de fibras longas e alinhadas ocorre em estágios. O primeiro se dá com ambas as fases se deformando elasticamente. O segundo estágio é caracterizado pelo alcance do limite de escoamento da matriz, que começa, então, a deformar plasticamente. Devido a isso, a fibra começa a receber uma maior porcentagem de carga e continua a se deformar elasticamente. O terceiro estágio ocorre pelo início da fratura das fibras, que acontece de forma paulatina, pelo fato das fibras terem diferentes limites de resistência e, portanto, romperem em diferentes momentos. Essa seqüência de eventos é uma das causas para o compósito não romper de forma frágil, pois a matriz, nesse instante, ainda está intacta e as fibras fraturadas, que se tornaram menores, estão inseridas na matriz e ainda conseguem suportar carga.

Inicialmente, quando se analisa o carregamento longitudinal em um compósito de fibras contínuas e alinhadas, pode-se considerar que tanto a fibra quanto a matriz apresentam um comportamento linear elástico. Além disso, a carga total suportada pelo compósito é igual a soma das cargas suportadas pelas fases. Usando, então, a definição de tensão e substituindo a carga pelo produto da tensão vezes a área e, verificando ainda que a razão entre a área de uma fase e a área do compósito é igual à fração volumétrica da fase, pode-se obter a equação clássica da regra das misturas (Callister, 2008):

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f$$

onde E_c é o módulo de elasticidade do compósito na direção longitudinal, E_m o módulo de elasticidade da matriz e E_f o da fibra. V_m é a fração volumétrica da matriz e V_f a da fibra.

Essa equação mostra que quanto maior for a fração volumétrica de fibras, maior deve ser a resposta mecânica do compósito.

2.3.2.1 Resistência mecânica de madeiras usadas na indústria moveleira e de construção civil.

O objetivo de listar nessa dissertação os dados mecânicos de madeiras utilizadas na construção civil e na indústria moveleira é ter um parâmetro de comparação com os dados experimentais gerados com o estipe da pupunha e do coqueiro. A tabela 1 mostra valores médios de algumas madeiras. (Dias et al., 2004).

Através dos ensaios mecânicos é possível coletar dados necessários para realização de projetos, utilizando corpos de prova, de pequenas dimensões em relação às dimensões das peças estruturais, mas que retratam o comportamento das peças reais. Esses ensaios são regidos por normas que detalham o procedimento e o tornam reproduzíveis.

Atualmente, a caracterização da madeira é regida pela norma NBR7190/1997: Projeto de estruturas de madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas; com a caracterização sendo feita com 12% de umidade na madeira, que

C de temperatura e umidade relativa de 65% (Cisternas, 1994). Mas, essa norma foi feita para madeiras dicotiledôneas, que tem uma diferença essencial das monocotiledôneas, que são as madeiras analisadas nesse trabalho. Nas madeiras dicotiledônias a amostra é retirada do cerne, parte central do tronco, já nas monocotiledôneas as amostras são retiradas da parte externa.

Portanto, o presente trabalho se guiou pela norma acima citada e, também, pela norma de ensaio de materiais compósitos fibrosos (ASTM D790).

Na Tabela 1 ρ_{ap} (12%) é a densidade aparente a 12% de umidade (em kg/m^3), f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras (em MPa), E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal (em MPa) obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

Tabela I Valores médios de algumas madeiras. (Dias et al., 2004)

Madeira	pap (12%)	fc0	Ec0
Angelim Pedra	694	60	12912
Cedro Doce	500	31	8058
Eucalipto Grandis	640	40	12813
Ipê	1068	76	18011
Jatobá	1074	93	23607
Maçaranduba	1143	83	22733
Sucupira	1106	95	21724

2.3.2.2 Fatores que influenciam a resistência mecânica natural da madeira

De acordo com Dias et al (2004) diversos autores na literatura afirmam que a densidade é uma propriedade física fácil de ser medida e muito importante para determinar a qualidade da madeira.

De fato, pode-se relacionar diversas propriedades mecânicas com a densidade. Dias et al (2004) citam muitas referências que afirmam existir relações lineares, logarítmicas e côncavas da densidade com a resistência à compressão e à tração paralela às fibras, e também ao cisalhamento e ao ensaio de flexão estática e à dureza.

Outro fator que influencia na resistência natural da madeira seca, segundo Wilson (1983) é a espessura das paredes das fibras e não o comprimento delas e, também, a direção em que a carga é aplicada.

Petrucci (1975) aborda a questão da influência estrutural de outra forma. Ele afirma que fibras longas proporcionam mais flexibilidade, muitas fibras fornecem

rigidez e compacidade e a alta proporção de vasos e canais secretores geram pontos fracos.

2.3.2.3 Fatores que influenciam na durabilidade natural da madeira

De acordo com Galvão et al., (1975) a madeira, por conter substâncias como amido e açúcar, que podem servir de alimento para seres lignívoros, está sujeita ao ataque destes, mas o grau de suscetibilidade desses ataques varia conforme a espécie florestal, número de anéis de crescimento, densidade, diâmetro dos poros, extensão do cerne e quantidade de substâncias nutritivas (açúcares e amido), tóxicas (tanino, resinas e gomas) e água contida no lenho.

O lenho é composto basicamente pelo borne e pelo cerne. Sendo o borne a parte periférica e mais nova da madeira do tronco das árvores, de cor clara, onde as células vivas realizam a condução da água, de baixo para cima. Já o cerne é caracterizado pelo cessamento de transporte de seiva, depósito de produtos residuais e acúmulo de células mortas, fatores que reduzem a permeabilidade e aumentam a durabilidade.

Ainda segundo Galvão et al., (1975), pode-se estabelecer um modelo quanto à durabilidade natural das madeiras envolvendo as características acima. A madeira deverá ter alta densidade, muitos anéis por centímetro nas resinosas e poucos nas folhosas, elevada percentagem de cerne, muito material repelente e pouca água. Mas como as madeiras menos duráveis são normalmente menos densas, estas têm um maior volume de vazios, causados pela presença de poros abertos e ausência de produtos obstruindo os vasos. Isso facilita a entrada de lignívoros, mas também a entrada de produtos preservadores. Portanto, se tratada, essas características têm pontos positivos na sua durabilidade.

Petrucci (1975) concorda com essa discussão e acrescenta que deve-se levar em conta também a umidade do ambiente e o estado de deseivação. Madeiras que estão em interiores secos e sem contato com o solo tem duração indefinida, assim como as que estão imersas em água.

2.4 Umidade

Conforme Petrucci (1975), conhecer o teor de umidade da madeira é muito importante, pois ele influencia suas propriedades mecânicas. Uma madeira que retém muita umidade favorece o desenvolvimento de fungos que antecipam a deterioração, diminuindo sua resistência. Além disso a probabilidade de fissurar ao secar é maior.

A água é retida na madeira verde de três formas: de constituição, de impregnação e livre. A água de constituição está ligada quimicamente e não pode ser removida sem que haja decomposição da madeira. A água de impregnação está entre a parede das células, sua remoção provoca a aproximação entre elas, o que causa a retração da madeira e o aumento da resistência e rigidez (Cruz et al., 2006). A água livre se localiza nos dutos e sua saída não influencia no volume, nem nas propriedades mecânicas.

A madeira pode ser considerada seca quando seu teor de umidade entra em equilíbrio com o ambiente. Ou seja, quando perde a água livre e parte da água de impregnação e há estabilização em torno de 12 a 17% (Cruz et al., 2006)

Segundo Wilson (1983) a madeira se expande ou contrai conforme seu teor de umidade, experimentando serias deformações internas quando está secando. Isso ocorre por causa das diferentes contrações nas diferentes direções, a saber: a direção ao longo do comprimento, radial e tangencial. Wilson (1983) reporta que as porcentagens de contração nessas direções são, respectivamente, de: 0,1 ; 5 e 7%.

Pode-se evitar rachaduras cortando-se as toras em tábuas e fazendo uma secagem lenta e cuidadosa. Se for feita uma secagem acelerada, duas forças entram em conflito, a dilatação, causada pelo aumento da temperatura, e a retração causada pela perda de umidade, devido ao aumento da temperatura. Isso faz com que o coeficiente de dilatação linear seja de oito a dez vezes maior no sentido transversal que no axial, levando ao empenamento, fissura e a possível inutilização da madeira.

É importante atentar também para o fenômeno da retratabilidade para evitar usar materiais com grau de umidade incompatível com o ambiente, causando assim inchamentos ou retrações que prejudiquem as peças em serviço (Petrucci, 1975)

Um grau de umidade elevado também influencia a condutibilidade elétrica da madeira fazendo com que, quando úmida, perca suas qualidades de isolante.

2.5 - Microestrutura dos materiais lignocelulósicos

As palmeiras são plantas monocotiledôneas, que têm como característica o caule sem estrutura secundária, como na bananeira. Os feixes vasculares que compõem o caule são orientados predominantemente em uma direção, formando filamentos contínuos por toda sua extensão, dando à madeira maior resistência na direção longitudinal. Supõe-se que a forma e comprimento das células individuais, seu grau de sobreposição e sua interligação sejam fatores no desenvolvimento da resistência. (Medina, 1959).

Para se isolar as fibras usa-se, normalmente, o processo de maceração ou um processo químico.

As fibras das folhas das plantas monocotiledôneas são compostas por diversas fibrilas sobrepostas, que formam um filamento contínuo no sentido do comprimento da folha. Os feixes fibro-vasculares destas folhas são longos e retos e têm como função dar resistência e rigidez à folha e sustentação aos vasos condutores. (Medina, 1959).

Os materiais lignocelulósicos, apesar de serem aparentemente bem diferentes um dos outros, possuem em comum o fato de serem constituídos basicamente por três elementos químicos (carbono, oxigênio e hidrogênio), sendo os 2 primeiros os responsáveis por mais de 90% de sua massa (Corrêa, 2004). No caso da madeira existem dois grupos de componentes, os primários, que são responsáveis pela estrutura da parede celular e os secundários, que são substâncias que se encontram em

menor quantidade, mas que repelem ou motivam a ação de microorganismos, dependendo de suas proporções (Corrêa, 2004).

O grupo dos compostos primários é: celulose, lignina, e hemicelulose.

A celulose é um polissacarídeo constituído por um único tipo de açúcar, diferente da hemicelulose, que apesar de ser também um polissacarídeo, é constituída por vários tipos de açúcares. A lignina tem forma química complexa. Os principais componentes da madeira acima listados são polímeros, onde lignina e hemicelulose são totalmente amorfos e estão sempre relacionados. Já a celulose é formada por regiões cristalinas com zonas amorfas (Philipp et al., 1988)

Na região cristalina da celulose, a fibra apresenta maior resistência à tração, em contrapartida há maior flexibilidade da região amorfa. A celulose é composta por unidades de β -D-glucose, que se ligam entre si de forma linear formando as moléculas. Estas tendem a formar, na direção perpendicular a elas, pontes de hidrogênio entre os monômeros e entre as moléculas, formando ligações intermoleculares e intramoleculares respectivamente, conforme mostrado na figura 6. As primeiras são responsáveis pela rigidez das cadeias e a segunda pela formação das fibras. Ao longo do comprimento, as microfibrilas são unidas por ligações primárias. Como a energia destas ligações é muito maior que a energia das pontes de hidrogênio, a resistência mecânica na direção paralela às fibras é muito maior. Essas fibrilas se apresentam, em cada camada, sob a forma de espiral, com ângulos de inclinação variáveis, que têm influência sobre o desempenho mecânico da fibra (Gram, 1983), formando, na verdade, um compósito reforçado com fibras orientadas.

Dentre os compostos formadores dos materiais lignocelulósicos, o que se encontra em maior quantidade é a celulose. Ela é formada por moléculas de glicose (figura 7), que unidas formam as micelas. Estas se agrupam formando as microfibrilas, que agregadas formam as macrofibrilas, que por fim se juntam e formam as fibras.

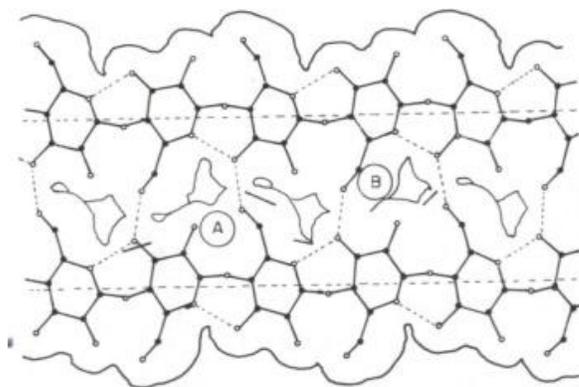


Figura 6 - Tipos de ligações que ocorrem entre grupos hidroxilas das moléculas de celulose. A – pontes de hidrogênio intramoleculares. B – pontes de hidrogênio intermoleculares (Philipp et al., 1988).

Podemos observar 3 padrões de orientação das microfibrilas, chamadas de camadas. A camada S_1 com o eixo longitudinal, a S_2 e a S_3 . (Figura 8)

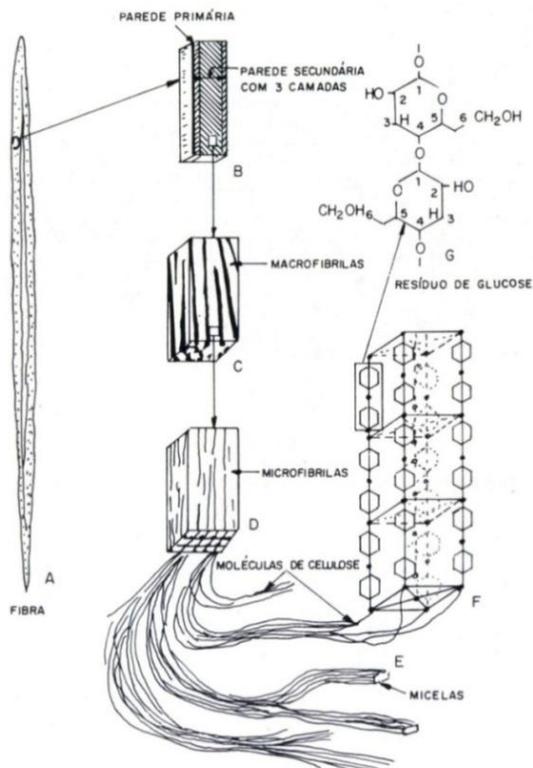


Figura 7- Formação da fibra de celulose (Philipp et al 1988).

As fibras possuem uma cavidade central para transporte de alimentos, denominada lúmen, por onde microorganismos e água têm acesso na intrincada estrutura molecular dos materiais lignocelulósicos.

As principais formas de degradação da celulose são causadas pela luz ultravioleta e p C na presença de umidade e ar.

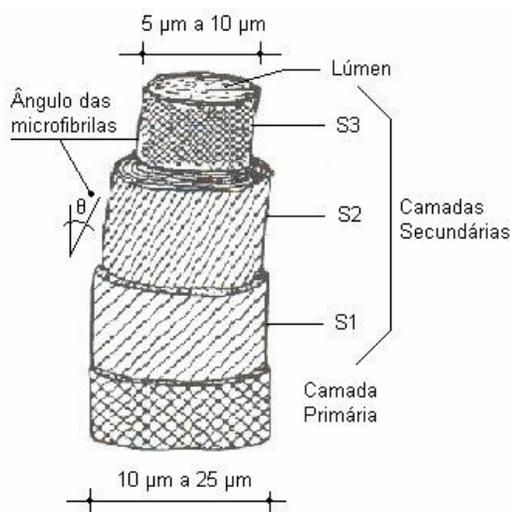


Figura 8 - Ilustração de uma fibra lignocelulósica (Picanço; 2005).

Ocorre um fenômeno com a celulose chamado histerese, que pode ser demonstrado através de curvas de absorção e de dessorção de umidade X umidade relativa do ar, Figura 9, onde a curva de dessorção conservará mais umidade. Isto pode ser explicado pelas ligações entre celulose-água e que, após a dessorção, passam a ser entre celulose-celulose. Ou seja, cada vez que atingir seu ponto de saturação de umidade e a madeira for seca novamente, a madeira terá menos capacidade de absorver água. Outro dado interessante é que a absorção de água se dá apenas pela parte amorfa da celulose. Isto pode ser atestado pelo fato do espectograma da celulose nativa permanecer o mesmo após a absorção de água. (Philipp et al., 1988)

O termo hemicelulose refere-se a uma mistura de polímeros com proporções variadas, que mudam conforme a espécie, ou até mesmo de árvore para árvore. Devido a essa grande variação, sua configuração é bastante irregular e ramificada,

absorvendo muita água e gerando o intumescimento da fibra. A hemicelulose é responsável pela flexibilidade das plantas e é o agente de ligação entre a lignina e a celulose (Philipp et al.1988).

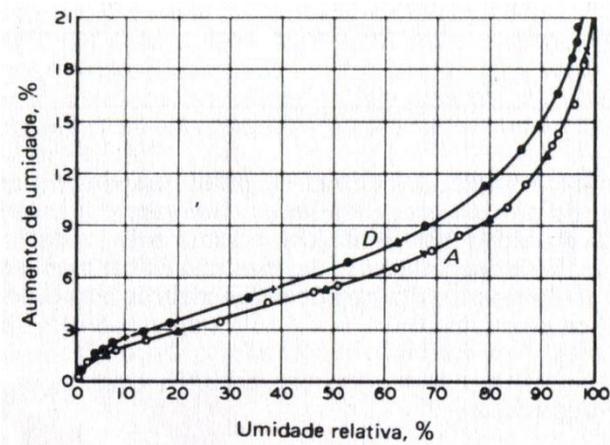


Figura 9 - Absorção e dessorção de água no algodão purificado. Curva A de absorção e curva D de dessorção (Philipp et al.1988).

A lignina promove a rigidez e a dureza da planta (Fengel et al., 1989). Além disso, tem a função de protegê-la contra o ataque de microorganismos. Está ligada intimamente com a hemicelulose, através de ligações físicas e ligações covalentes, e, como ela, é composta por uma gama de materiais, que também variam em proporção e composição dependendo da espécie.

Os compostos secundários são alimentos armazenados nas células, tais como sais minerais, substâncias fenólicas e tanino. Dentre essas, apenas o tanino será mencionado, por sua característica fungicida e bactericida.

Segundo o site <http://www.setaonline.com/>, que pertence a uma fabrica de produtos derivados do tanino, ele é usado no curtimento de couros e peles e no tratamento de águas e efluentes da indústria de açúcar e álcool e da extração de petróleo.

Segundo o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, SBRT, (solicitação número 22068), o tanino se encontra geralmente nas dicotiledôneas, no fruto e na casca, enquanto nas monocotiledôneas está nos frutos e nas folhas.