

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS DA AMAZÔNIA  
MESTRADO EM BIOTECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**SOLANGE PIRES DE ARAÚJO**

**POTENCIAL DOS FUNGOS AMAZÔNICOS *Pycnoporus sanguineus*  
E *Trametes elegans* PARA BIOPOLPAÇÃO**

**Manaus-Amazonas**

**2009**

**SOLANGE PIRES DE ARAÚJO**

**POTENCIAL DOS FUNGOS AMAZÔNICOS *Pycnoporus sanguineus* E *Trametes elegans* PARA BIOPOLPAÇÃO**

**Dissertação de Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia para obtenção do título de Mestre na Universidade do Estado do Amazonas.**

**Orientador: Dr. Ademir Castro e Silva**

**Manaus-Amazonas**

**2009**

**SOLANGE PIRES DE ARAÚJO**

**POTENCIAL DOS FUNGOS AMAZÔNICOS *Pycnoporus sanguineus* E *Trametes elegans* PARA BIOPOLPAÇÃO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Uso Sustentável da Biodiversidade**

**DATA DE APROVAÇÃO: \_\_\_\_\_**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Profº Dr. Ademir Castro e Silva - UEA**

---

**Profª Dra. Helena Camarão Telles Ribeiro - UEA**

---

**Profª Dra. Claudete Catanhede do Nascimento – INPA**

## DEDICO...

*“A Deus que foi meu refúgio e na sua infinita bondade me iluminou com sabedoria, coragem e perseverança para vencer os obstáculos”*

*Aos meus pais Iris de Souza (in memoriam) e Graça Araújo; aos meus irmãos Silvane, Sônia, Elaine e Clodoaldo pelo carinho e apoio.*

*Ao meu esposo Ailton Teixeira pelo amor, compreensão e ajuda nos momentos difíceis. Dedico esta conquista como reconhecimento.*

## *AGRADECIMENTOS ESPECIAIS*

*À Universidade do Estado do Amazonas (UEA), pela oportunidade em cursar o mestrado.*

*À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, pelo apoio a pesquisa.*

*Ao professor Dr. Ademir Castro e Silva pela orientação, amizade, apoio e confiança em mim depositada, em todos os momentos.*

*A Marcela Amazonas pelo apoio, amizade e pela colaboração em conceder o Laboratório do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, por meio da Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais – CPPF, para concretização deste trabalho.*

*Às professoras e amigas Iêda Batista, Naimy Castro pela inspiração, auxílio e apoio nos momentos difíceis.*

*À querida amiga Carla Braga, que compartilhou todos os momentos nesta caminhada e pela oportunidade profissional.*

*Aos colegas de trabalho do Projeto: Amigos da Saúde que direta e indiretamente participaram desta conquista.*

***Muitíssimo obrigada!***

## RESUMO

O setor brasileiro de polpa celulósica e papel vêm contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento sócio-econômico do país, apresentado-se como uma atividade com grandes perspectivas de crescimento, porém o aumento da demanda de polpa celulósica acarreta diversos problemas ambientais. São necessárias alternativas nesse setor, que melhore sua sustentabilidade econômica e ambiental. O processo de biopolpação é facilitado pela utilização de fungos de decomposição branca, que agem como agentes em um tratamento prévio da madeira, estes organismos apresentam a capacidade em degradar a lignina seletivamente, facilitando o processo de polpação. Vários estudos mostram a capacidade destes organismos em degradar a lignina seletivamente, reduzir consumo de energia e até mesmo melhorar as condições da polpa, no entanto, sua aplicação industrial limita-se pela dificuldade de inóculo em larga escala e pela presença de contaminantes que afetam nos resultados dos experimentos. Considerando o potencial dos fungos amazônicos, a presente pesquisa objetivou avaliar o potencial dos fungos amazônicos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* no uso da biopolpação com a espécie *Simaruba amara*-Aubl. Assim, realizaram-se três experimentos, o experimento com *S. amara* – Aubl foi caracterizado como controle para os testes físico-mecânicos, quando comparados com *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans*. Cavacos de *S. amara*-Aubl receberam inóculos de *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* que permaneceram incubados por um período de 60 dias, após este período, os cavacos passaram por assepsia para retirada do micélio, sendo retirada uma pequena amostra para análise química dos três experimentos. O cozimento utilizado foi o cozimento a Soda (NaOH) com álcali ativo de 28% para *S. amara*-Aubl (controle) e 18% para *P. sanguineus* e *T. elegans*. Após cozimentos foram confeccionadas folhas de papel e realizados testes físico-mecânico. Conclusivamente, *P. sanguineus* apresentou-se mais competitivo na degradação dos cavacos e superior aos contaminantes quando comparado com *T. elegans*. Sua ação enzimática atuou mais eficientemente na extração da lignina. O fungo amazônico *P. sanguineus* concretizou o estudo quando foi necessário diminuir o percentual do álcali para os cozimentos dos referidos fungos. Destacou-se nos testes físico-mecânicos quando comparados com *T. elegans* e *S. amara*-Aubl. Assim, os resultados indicam o potencial do fungo amazônico *P. sanguineus* quando comparado com *T. elegans* para o uso na biopolpação.

Palavras-chave: Fungos da Amazônia, Fungos Ligninolíticos, Degradação da Madeira, Celulose e Papel.

## ABSTRACT

The Brazilian sector of cellulose pulp and paper has been contributing in an expressive way to the social and economic development of the country as an activity with great growth perspectives; however the increase in demand for cellulose pulp brings about several environmental problems. Alternatives are needed in this sector, improving its economical and environmental sustainability. The biopulping process is enabled by the use of white-rot fungi which act as agents at a previous treatment of wood, these organisms are able to degrade the lignin in a selective way and that enables the process of pulping. Several studies show the capacity of these organisms to degrade the lignin in a selective way, reduce energy consumption and even improve the pulp conditions; however, its industrial use is limited by the make it difficult to inoculate in a large scale and by the presence of contaminators which affect the results of the experiments. Considering the potential of the Amazonian fungi, the present research aimed to assess the potential of the Amazonian fungi *Pycnoporus sanguinues* and *Trametes elegans* in the biopulping use with the *Simaruba amara*–Aubl species. Thus, three experiments were carried out, the experiment with *S. amara* – Aubl was characterized as a control for physical-mechanical tests when compared to *P. sanguineus* and *T. elegans*. Splinters of wood from *S. amara*-Aub received inoculations of *Pycnoporus sanguineus* and *Trametes elegans* which remained incubated for a period of 60 days, after this period, the splinters of wood were submitted to asepsis in order to remove the mycelium, after removing a small sample for chemical analysis of the three experiments. The baking system used was the Baking Soda (NaOH) with active alkali of 28% for *S. amara*-Aubl (control) and 18% for *P. sanguineus* and *T. elegans*. After that, baking leaves of paper were manufactured and physical-mechanical tests were carried out. In conclusion, *P. sanguineus* demonstrated to be competitive to degrade the splinters and superior to contaminators when compared to *T. elegans*. Its enzymatic action was more efficient to extract the lignin. The Amazonian fungus *P. sanguineus* concluded the study when it was necessary to reduce the alkali percentage for the bakings of the referred fungi. It stood out during physical-mechanical tests when compared to *T. elegans* and *S. amara*-Aubl. Thus, the results show the *P. sanguineus* Amazonian fungus` potential when compared to *T. elegans* for biopulping use.

Key words: Amazon Fungi, Ligninolytic Fungi, Wood degradation, Cellulose pulp and paper

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Esquema tridimensional de uma parede celular mostrando a parede primária e as camadas que compõem a parede secundária.....	27
<b>Figura 2:</b> Fragmento de celulose.....	28
<b>Figura 3:</b> Representação esquemática das fibras de celulose e sua disposição espacial na madeira.....	28
<b>Figura 4:</b> Segmento de um polímero de lignina.....	30
<b>Figura 5:</b> Representação esquemática da parede celular de madeira.....	31
<b>Figura 6:</b> Crescimento de fungo em placa de Petri após procedimento de repicagem <b>(A) <i>Pycnoporus sanguineus</i></b> e <b>(B) <i>Trametes elegans</i></b> .....	44
<b>Figura 7:</b> Cavacos de <i>S. amara</i> – Aubl. classificados e retidos nas malhas 1 ½ polegadas (40 e 60 MESH).....	45
<b>Figura 8:</b> Inóculos de micélio de <i>P. sanguineus</i> e <i>T. elegans</i> em experimento com cavacos .....	46
<b>Figura 9:</b> Cavacos preparados para serem acondicionados em câmara de BDO.....	46
<b>Figura 10:</b> Massa resultante sendo lavada até completa limpeza do licor negro.....	51
<b>Figura 11:</b> Pasta celulósica resultante dos cozimentos .....	51
<b>Figura 12:</b> Aparelho Schopper-Riegler.....	52
<b>Figura 13:</b> Desintegrador DSG-2000.....	54
<b>Figura 14:</b> Homogeneizador Mannheim U55 no processo de homogeneização.....	54
<b>Figura 15:</b> Formador de Folha F 200 Regmed “Rapid Khoten” .....	55
<b>Figura 16:</b> Papel para secagem no secador.....	55
<b>Figura 17:</b> Características dos cavacos de <i>Simaruba amara</i> -Aubl, após crescimento dos fungos. (A) <i>Pycnoporus sanguineus</i> e (B) <i>Trametes elegans</i> .....	59
<b>Figura 18:</b> Análise dos Parâmetros de Controle utilizados na refinação da polpa celulósica – Refino Jokro adquiridos na madeira de <i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento), <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ) e <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	67



<b>Figura 19:</b> Análise Comparativa do Desempenho das Polpas Refinadas – Refino Jokro, quanto a Lignina contida nas Polpas.....	70
<b>Figura 20:</b> Análise Comparativa do Desempenho das Folhas de Papel, quanto a Resistência ao Rasgo e o teor de Lignina no Papel.....	71
<b>Figura 21:</b> Análise Comparativa do Desempenho das Folhas de Papel, quanto ao ar Gurley, Refino e Celulose nas Folhas confeccionadas. ....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Características anatômicas e físico-químicas dos diferentes tipos de degradação da madeira. ....	20
<b>Tabela 2:</b> Meio de cultivo Batata-Dextrose-Ágar para os fungos <i>P. sanguineus</i> e <i>T. elegans</i> .....	43
<b>Tabela 3:</b> Relação dos procedimentos utilizados na Avaliação dos Parâmetros Químicos da Madeira.....	48
<b>Tabela 4:</b> Relação dos Parâmetros de Controle utilizados nos Cozimentos Experimentais.....	50
<b>Tabela 5:</b> Relação dos Parâmetros de Controle utilizados na Refinação da Polpa Celulósica.....	53
<b>Tabela 6:</b> Relação dos Procedimentos utilizados na Avaliação das Características Físicas e de Resistência do Papel.....	56
<b>Tabela 7:</b> Parâmetros dos teores químicos da madeira <i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento), <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ) e <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	60
<b>Tabela 8:</b> Parâmetros dos teores químicos da madeira <i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento), <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ) e <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	62
<b>Tabela 9:</b> Análise da umidade da madeira.....	63
<b>Tabela 10:</b> Relação dos parâmetros de controle utilizados nos cozimentos experimentais.....	64
<b>Tabela 11:</b> Relação dos Parâmetros de Controle na Análise do Cozimento a Soda (NaOH) – Polpa celulósica da madeira <i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento), <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ) e <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	65
<b>Tabela 12:</b> Relação dos Parâmetros de Controle na Análise do Cozimento a Soda (NaOH) – Polpa celulósica da madeira <i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento), <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ) e <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	66
<b>Tabela 13:</b> Análise dos procedimentos utilizados na avaliação das características físicas e de resistência do papel.....	68
<b>Tabela 14:</b> Análise das características dos testes físico-mecânicas dos papéis da madeira <i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento), <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ) e <i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	69

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1 OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 ASPECTOS GERAIS DOS FUNGOS.....	15
2.2 FUNGOS E SUAS APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS.....	17
2.3 FUNGOS DEGRADADORES DE MADEIRA.....	18
2.4 PRINCÍPIOS GERAIS DE BIOPOLPAÇÃO.....	23
2.5 COMPOSIÇÃO DA MADEIRA.....	26
2.5.1 Composição Química da madeira.....	27
2.5.1.1 Celulose.....	27
2.5.1.2 Hemicelulose .....	29
2.5.1.3 Lignina .....	29
2.5.1.4 Extrativos .....	33
2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA.....	33
2.6.1 Densidade Básica.....	33
2.6.2 Umidade.....	34
2.7 PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL.....	35
2.7.1 Obtenção de Polpa Celulósica.....	35
2.7.2 Processo de Refinação.....	36
2.7.3 Produção de Papel.....	37
2.8 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO PAPEL.....	38
2.8.1 Gramatura.....	38
2.8.2 Espessura.....	39
2.8.3 Resistência.....	39
2.8.3.1 Resistência à Tração.....	40
2.8.3.2 Alongamento.....	40
2.8.3.3 Resistência ao Estouro ou Arrebetamento.....	40
2.8.3.4 Resistência ao Rasgo.....	41
2.9 Dados Gerais sobre o Marupá ( <i>Simaruba amara</i> - Aubl.) – Simarubaceae.....	41
2.9.1 Características milimétricas e anatômicas.....	42
3 MATERIAL E MÉTODO.....	43
3.1 MATERIAL BIOLÓGICO.....	43
3.2 PICAGEM, CLASSIFICAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS CAVACOS.....	44

<b>3.3 TRATAMENTO DOS CAVACOS COM OS FUNGOS <i>Pycnoporus sanguineus</i> e <i>Trametes elegans</i></b> .....	45
<b>3.4 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA</b> .....	47
<b>3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA</b> .....	48
<b>3.6 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA</b> .....	49
3.6.1 Processo de refinação da polpa celulósica .....	52
3.6.2 Produção e caracterização do papel.....	53
<b>3.7 ANÁLISE ESTÁTISTICA</b> .....	58
<b>4 RESULTADOS</b> .....	59
<b>4.1 CRESCIMENTO DOS FUNGOS <i>Pycnoporus sanguineus</i> E <i>Trametes elegans</i> NOS CAVACOS DE <i>Simaruba amara</i> – Aubl.</b> .....	59
<b>4.2 ANÁLISE QUÍMICA DOS COMPONENTES DA MADEIRA</b> .....	60
<b>4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA</b> .....	63
<b>4.4 COZIMENTO A SODA (NaOH) E PROPRIEDADES DA POLPA CELULÓSICA</b> .....	63
<b>4.5 PROPRIEDADES DO PAPEL</b> .....	67
<b>4.6 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO PAPEL</b> .....	68
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	73
<b>5.1 OS FUNGOS <i>Pycnoporus sanguineus</i> e <i>Trametes elegans</i> NO PROCESSO DA BIOPOLPAÇÃO</b> .....	73
<b>5.2 ANÁLISE QUÍMICA DOS COMPONENTES</b> .....	75
<b>5.3 COZIMENTO – POLPA CELULÓSICA</b> .....	77
<b>5.4 PROPRIEDADES DO PAPEL</b> .....	78
<b>CONCLUSÃO</b> .....	83
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	85

## INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de polpa celulósica e papel vem contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento sócio-econômico do país. O crescente avanço global tem gerado, proporcionalmente, o aumento da competitividade e da busca constante pela perfeição no produto final. A soma entre tecnologia moderna e matéria-prima de qualidade tem possibilitado o crescimento do mercado papelero. Por outro lado, a crescente preocupação e conscientização ambiental tem gerado impacto na indústria de celulose e papel, indicando a necessidade urgente de alternativas nesse setor, responsável pela emissão de uma série de resíduos.

O processo de extração de celulose também conhecido como polpação da madeira pode ser feito por dois métodos, mecânicos e químicos. Ambos consomem altos níveis de energia elétrica, sendo o processo químico responsável pela geração de resíduos, com implicações na poluição do ambiente. Isto ocorre principalmente devido à produção de grande volume de efluentes, muitas vezes podendo alcançar valores acima de 200.000 m<sup>3</sup>/dia, cujas características variam dependendo do processo de fabricação utilizado (REZENDE et al. 2000).

Várias alternativas vem sendo estudadas buscando soluções efetivas para este problema, como a implantação de técnicas de produção que visem a redução do consumo de insumos, energia necessária para a produção e emissão de resíduos. Estas mudanças não só melhoram a condição ambiental, como geram benefícios às indústrias, pois podem reduzir os custos de produção.

Uma alternativa recentemente estudada tem sido a produção de biopolpas, onde microrganismos podem ser aplicados nos processos de biobranqueamento e

biopolpação (WILLE, 2007). O biobranqueamento substitui ou reduz o uso de agentes químicos usados no clareamento da polpa celulósica. Na biopolpação ocorre a extração de celulose facilitada pela utilização de fungos de decomposição branca como agentes em um tratamento prévio da madeira, pois estes organismos apresentam a capacidade em degradar a lignina seletivamente, facilitando o processo da biopolpação.

A biopolpação é considerada um tipo de fermentação em estado sólido aplicada como um pré-tratamento fúngico de cavacos de madeira para produção de polpas mecânicas ou químicas (AKHTAR e ATTRIDGE, 1998; MENDONÇA, 2002; FERRAZ et al. 2005). A partir daí, diversos estudos realizados em escala de laboratório, demonstraram o potencial da biopolpação, com o objetivo de reduzir impactos ambientais e consumo de energia no processo de extração de celulose, bem com melhorar as propriedades da polpa celulósica.

Segundo Ferraz et al. (2005) a biodegradação da madeira sob condições controladas e com fungos pré-selecionados, tem se mostrado um importante processo biotecnológico de aplicação industrial recente. Dentre as espécies de fungos, atualmente estudadas para tratar a madeira, destacam-se alguns basidiomicetos, classificados como fungos de decomposição branca (BLANCHETTE, 1992).

No Brasil, há ocorrência de diversas espécies nativas de fungos com capacidade de degradar a lignina, sendo algumas já cultivadas para outros fins. Segundo Eggert et al. (1996) o gênero *Pycnoporus* se mostra bastante promissor devido sua capacidade em produzir enzimas ligninolíticas. Lomascolo et al. (2002) afirmam que linhagens de *Pycnoporus sanguineus* de origem tropical e subtropical produzem maior quantidade de enzimas lignolíticas que as linhagens de outras regiões.

Considerando estes aspectos em relação à utilização de espécies nativas, a presente pesquisa objetivou avaliar o potencial dos fungos amazônicos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* no uso da biopolpação da espécie *Simaruba amara*-Aubl. para produção de pasta celulósica.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o potencial dos fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* para uso na biopolpação da madeira *Simaruba amara* – Aubl.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compreender o processo de biodegradação da madeira, evidenciando a potencialidade dos fungos amazônicos;
- Preparar tratamentos para biopolpação, considerando os fungos ligninolíticos a serem estudados;
- Acompanhar o crescimento fúngico em cada tratamento;
- Analisar a pasta celulósica resultante de cada tratamento e comparar com o tratamento testemunha;
- Formar folhas de papel a partir da pasta celulósica de cada tratamento;
- Analisar a resistência físico-mecânica das folhas formadas e comparar com as folhas do tratamento testemunha.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 ASPECTOS GERAIS DOS FUNGOS**

Estudos sobre fungos começaram ainda no século XIX quando viajantes coletores de fungos, muitos de origem estrangeira, realizaram coletas em vários pontos do País, inclusive na Amazônia. Essas espécies foram enviadas a outros países para classificação. Como descrevem Fidalgo e Fidalgo (1957), no século XIX e início do século XX, destacam-se coletas, classificações preliminares e pequenas coleções de fungos realizadas por Juan Ignacio Puigarin em 1877 e Heinrich Rehm de 1889 a 1912.

Os fungos são seres eucariontes, heterotróficos, aclorofilados, aeróbios, uni ou pluricelulares, com parede celular composta geralmente de quitina e/ou celulose, além de outros carboidratos complexos, com glicogênio como substância de reserva, nutrição por absorção, podendo viver como sapróbios, parasitas ou simbiontes com outros organismos. Possuem o corpo formado por um emaranhado de filamentos, denominados hifas, e o seu conjunto recebe o nome de micélio. As hifas variam no diâmetro, espessura da parede e localização do pigmento (PUTZE e PUTZE, 2004).

Os fungos constituem um grupo grande e heterogêneo encontrados em qualquer nicho ecológico. O número de espécies fúngicas espalhadas pelo mundo é estimada em cerca de 1 milhão e 500 mil sendo, que destas apenas foram descritas cerca de 74 mil espécies. (FERRAZ et al. 2005) Excluindo-se os insetos, os fungos constituem os mais numerosos seres vivos existentes.



São organismos muito diferentes, se comparados a animais e vegetais, sendo atualmente distribuído em três reinos: Fungos = Mycetae, Stramenopila e Protista. A variação morfológica é muito grande, existindo espécies macro e microscópicas o que contribui para existência de muitos sistemas de classificação que ainda hoje sofrem adições e alterações (PUTZKE; PUTZE, 2004). Apresentam-se como cosmopolitas, ou seja, encontram-se distribuídos em todas as regiões do planeta, porém de maior incidência em ambientes de clima tropical, quente e úmido. Podem ser encontrados nos solos, águas, sobre animais e vegetais, em alimentos naturais e industrializados. Na realidade podem ser encontradas praticamente em qualquer local do ambiente que nos cerca, inclusive no ar onde estruturas reprodutivas na forma de esporos, podem desenvolver novas estruturas vegetativas e reprodutivas quando encontram substrato adequado. São úteis em função de decompor resíduos orgânicos (BONONI, 1997).

Putzke e Putze (2004) mencionam que muitas espécies não necessitam de luz para o seu desenvolvimento, e a temperatura para seu crescimento fica entre 0° e 35°C, mas o ótimo para a maioria fica entre 20 e 30°C. O pH gira em torno de 6 como ótimo para a maioria das espécies, mas algumas dos gêneros *Plasmodiophora* e *Fusarium*, por exemplo, preferem a faixa entre 4,5 – 5, enquanto outras, como as de *Verticillium*, preferem de 7-8. A modificação do pH do solo pode eliminar esses fungos, servindo como uma medida de controle ou erradicação. A umidade ideal para a maioria das espécies fica em torno da saturação, sendo que muitas das Agaricales só formam basidiomas em clima úmido. No entanto, há exceções para algumas espécies, já que existe registro de fungos para os desertos.

Ferraz (2004) reporta que os fungos são importantes tanto do ponto de vista ecológico, quanto econômico. Ecologicamente, são considerados os lixeiros do mundo, pois degradam todo tipo de restos orgânicos, independente da origem, transformando-os em elementos assimiláveis pelas plantas. Já economicamente, tem implicações em várias áreas: medicina humana e veterinária, farmácia, nutrição, fitopatologia, entre outras.

## 2.2 FUNGOS E SUAS APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS

A Biotecnologia apresenta-se como uma área de grande potencial. O uso eficiente de microorganismos para produzir os mais variados tipos de metabólitos (enzimas, vitaminas, fármacos, entre outros), tornou-se um campo de pesquisa inquestionável. Os conhecimentos obtidos nestas pesquisas estão sendo utilizados nas áreas de energia, alimentação, farmacologia, agricultura, indústrias químicas e ciência do desenvolvimento ambiental, sendo esta última de extrema importância em função dos graves problemas ambientais que se enfrenta com a poluição do meio ambiente.

A grande vantagem de métodos biotecnológicos vem do fato de que suas reações são altamente específicas, não acarretam efeitos deletérios ao meio ambiente, são mais econômicos e podem ser utilizados onde processos químicos, não biológicos, são impraticáveis. Do ponto de vista biotecnológico, os fungos são microorganismos extremamente atraentes. Segundo Boominathan e Reddy (1992), várias razões podem ser apontadas como justificativa para esta afirmação:

- a) Os fungos possuem um metabolismo bastante dinâmico e rápido, sendo que são grandes produtores de metabólitos secundários, de possível interesse industrial;
- b) São heterotróficos, o que permite o seu cultivo em laboratório com muita facilidade, baixo custo e sem grandes equipamentos;
- c) São tipicamente eucariontes e o fato de que se reproduzem através de esporos, produzidos por meiose e gerando indivíduos haplóides, permite que geneticistas tenham oportunidade direta e rápida de análise, particularmente com mapeamento genético e isolamento de mutantes;
- d) São bons degradadores de substratos como celulose, lignina, queratina, quitina e outros, em função da sua capacidade de penetrar em substratos sólidos, graças à produção de enzimas extracelulares. Muitas destas enzimas são por si só de grande interesse industrial;

- e) Apresentam grande versatilidade com relação aos substratos a serem degradados, podendo ser utilizados nas mais diversas áreas de biorremediação, desde que sejam capazes de degradar hidrocarbonetos aromáticos, compostos bifenílicos policlorados, produtos originados em indústrias têxteis, papel, celulose entre outros produtos.

O crescente avanço metodológico de técnicas bioquímicas aponta para um futuro promissor, onde a manipulação destes microorganismos visando a produção de metabólitos em larga escala e principalmente de enzimas de interesse industrial, tornar-se-á cada vez mais acessível agregando importantes bioprocessos de ocorrência natural e com aplicações biotecnológicas, apresentando múltiplas possibilidades e, portanto enorme potencial para a sociedade como um todo.

### **2.3 FUNGOS DEGRADADORES DE MADEIRA**

Vários organismos, como bactérias e fungos são capazes de atacar e degradar a madeira, em ecossistemas terrestres naturais, porém, fungos superiores, especialmente os da classe Basidiomycetos, são os mais eficientes degradadores (BLANCHETTE, 1992).

Os fungos são microorganismos produtores de sistemas enzimáticos complexos capazes de degradar substâncias químicas de estruturas complexas como as que compõem a madeira, de maneira a produzir moléculas mais simples e mais facilmente assimiláveis. Estas características incentivam o interesse de aplicar a biotecnologia em produtos da floresta focando a exploração de fungos basidiomicetos degradadores de madeiras e suas enzimas extracelulares (HAMMEL, 1996).

Acredita-se que exista mais de 200.000 espécies de Basidiomicetos ligninocelulósicos, a maioria dos quais estariam nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Os basidiomicetos ligninocelulósicos apresentam tamanhos, formas, cores, e consistências diversificadas, podem ser microscópicos ou apresentar até 20 cm de diâmetro, presos ao substrato através de estirpe, sésseis ou na forma de

manchas regulares ou irregulares na superfície da madeira. São versáteis e, num mesmo tronco, uma espécie pode apresentar mais de uma forma ou cor (BLANCHETTE, 1992).

Bononi (1997) menciona que os fungos crescem inicialmente dentro da madeira colonizando-a e suas hifas formam uma rede, nem sempre visível a olho nu, mais ou menos extenso, preenchendo o lume das células, passando de uma célula a outra através da parede celular e em alguns casos destruindo a estrutura da lamela média. Após certo período de tempo, que pode durar poucos dias ou até muitos anos, variável de espécie para espécie e com as condições ambientais, emergem os basidiocarpos (corpos de frutificação). São extremamente importantes como decompositores e principais responsáveis pela ciclagem do carbono nos ecossistemas. Degradam os componentes da madeira: celulose, hemicelulose e lignina, a partir dos quais obtêm energia para seu crescimento e reprodução.

Castro e Silva (1996) afirma que é fato conhecido que a temperatura influi na germinação dos esporos, no desenvolvimento do micélio e frutificação, dentro ou sobre a madeira. Fungos deterioradores da madeira são organismos que não são capazes de produzir seu próprio alimento sendo, pois, necessário retirar energia de outros materiais orgânicos. As hifas desses fungos secretam enzimas que através de uma ação catalítica quebram os carboidratos e lignina da parede celular desdobrando-se em compostos de açúcares simples que podem ser metabolizados.

Os fungos basidiomicetos são geralmente classificados com base nas diferenças dos respectivos padrões de degradação da madeira que apresentam, levando-se em consideração características macroscópicas da degradação. Assim, podem ser classificados em: a) Fungos de podridão branca ("white-rot"), b) Fungos de podridão parda ("brown-rot") e c) Fungos de podridão mole ("soft-rot") (RODRIGUEZ, 1990). A Tabela 1 mostra as características dos diferentes tipos de degradação da madeira.

Tabela 1

Características anatômicas e físico-químicas dos diferentes tipos de degradação da madeira (BLANCHETTE, 1992)

	Podridão branca ("White-rot"),		Podridão Parda ("brow-rot")	Podridão mole ("soft-rot")
Perda de consistência.....	Perda da pigmentação, tornando a aparência alvejada, a madeira torna-se mais macia, esponjosa, e após um longo período a perda da consistência		Desintegração marron seca e pulverulenta, perda da consistência: uniforme.	Desintegração marrom úmida perda da consistência uniforme.
	Apodrecimento simultâneo	Apodrecimento seletivo		
Madeira Hospedeira.....	Madeira dura, raramente madeira macia	Ambas	Madeira macia, raramente pode ocorrer em madeiras duras, tanto em madeiras expostas ao ambiente como em objetos de madeira	Geralmente madeiras duras, em ambientes úmidos
Constituintes celulares degradados.....	Celulose, lignina e hemicelulose. Tornam-se quebradiços	Inicialmente há um ataque seletivo a lignina e a hemicelulose, após ocorre um ataque também à celulose. Tornam-se fibrosos.	Celulose e hemicelulose, a lignina é pouco afetada, em alguns casos a degradação estende-se até a lamela média.	Celulose e hemicelulose, a lignina quase não é alterada.
Rota anatômica de ação.....	A parede celular é atacada progressivamente no lúmen. Há erosão em formas de sulcos onde as hifas crescem.	A degradação da lignina ocorre na lamela média e parede secundária. A lamela média é dissolvida através de um processo de difusão, onde não há contato com as hifas, formando cavidades radiais na parede celular.	A degradação é realizada a uma longa distância das hifas através do processo de difusão. A parede celular inteira é atacada rapidamente através de fissuras e rachaduras.	As células próximas às hifas são atacadas começando pelas células do lúmen. São formadas cavidades cilíndricas e cônicas na parede secundária ou erosão da parede secundária das células do lúmen.

Continuação.

Tabela 1

Características anatômicas e físico-químicas dos diferentes tipos de degradação da madeira (BLANCHETE et al., 1988)

Agentes causais	Basidiomycetes (e.g. <i>T. versicolor</i> , <i>Irpex lacteus</i> , <i>P. chrysosporium</i> e <i>Heterobasidium annosum</i> ) também alguns Ascomycetes (e.g. <i>Xylaria Hypoxylon</i> )	Basidiomycetes (e.g. <i>Ganoderma australe</i> , <i>Phlebia tremellosa</i> , <i>C. subvermispora</i> , <i>Pleurotus</i> spp. E <i>Phellinus pini</i> ).	Basidiomycetes exclusivamente (e.g. <i>C. puteana</i> , <i>Gloephyllum trabeum</i> , <i>Laetiporus sulphureus</i> , <i>Piptoporus betulinus</i> , <i>Postia placenta</i> e <i>Serpula lacrimans</i>	Ascomycetes ( <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Ustilina deusta</i> ) e Deuteromycetes ( <i>Alternaria alternata</i> , <i>Thielavia terrestris</i> , <i>Paecilomyces</i> spp.), também uma bactéria.
-----------------	---	---	---	--

Fungos de podridão branca (“white-rot”) possuem a capacidade de degradar simultaneamente os principais componentes da parede celular a lignina, hemicelulose e celulose, deixando a região da madeira degradada com uma coloração clara. Este grupo coloniza preferencialmente madeiras da subdivisão *Angiospermae* (folhosas, madeira dura). Fungos de decomposição branca podem ser divididos em dois tipos, os que estão envolvidos na decomposição de todos os componentes da madeira simultaneamente, neste caso a degradação ocorre pela formação de erosão e pelo afinamento progressivo da parede celular devido às múltiplas enzimas que atuam na superfície exposta da madeira (ALEXOPOULUS et al. 1996).

Um tipo específico de podridão branca é aquele em que a degradação da lignina ocorre de forma seletiva, neste caso são poucas espécies que pertencem a este grupo. Estes fungos removem a lignina e polioses da madeira sem que ocorra afinamento progressivo da parede celular e a degradação ocorre após longos períodos, o que indica que não pode ser causado por ação direta das enzimas na parede celular já que estas têm aproximadamente 40 kDa e a parede celular da madeira seria inacessível a elas. Geralmente, durante o processo de degradação da madeira por fungos de decomposição branca, a lignina é atacada inicialmente por

uma fenoloxidase extracelular (Lacases) e uma peroxidase (lignina peroxidase e manganês peroxidase) (ORTH; TIEN, 1995).

Segundo Hatakka (1994) dentre o vasto arsenal de enzimas extracelulares, tanto hidrolíticas quanto oxidativas, que os fungos degradadores de madeira exibem particularmente o grupo de fenoloxidase é tido como o de maior importância ou determinante da capacidade degradativa destes organismos.

As pesquisas sobre a biodegradação da lignina apresentam-se de grande interesse, pois este composto químico é o mais abundante material renovável próximo da celulose. Os fungos decompositores de madeira, mais especificamente os de podridão branca, são organismos capazes de degradar a lignina para  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , de modo que esses fungos utilizam este substrato como única fonte de carbono e energia (KIRK & FARRELL, 1987). Tais fungos produzem enzimas extracelulares modificadoras para depolimerizar e mineralizar a lignina, através de um sistema oxidativo não específico, que inclui várias oxidoreduases extracelular e metabólicas de baixo peso molecular. Enzimas extracelulares envolvidas na degradação da lignina e xenobióticos por fungos de podridão branca incluem vários tipos de lacases, peroxidases e oxidases produtoras de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Fungos de podridão parda (“brow-rot”) estão associados à degradação de madeiras moles e apresentam a capacidade de despolimerizar os polissacarídeos da parede celular e são capazes de degradar celulose e hemicelulose sem a remoção da lignina. A celulose é atacada inicialmente por radicais hidroxil (sistema  $\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2$ ). Propõe-se que moléculas fenólicas de baixo peso molecular queladoras de ferro e que produzem radicais hidroxilas estejam relacionadas diretamente na degradação de celulose (KAPICH et al. 2005)

Os fungos de podridão mole (“soft-rot”) degradam a lignina mais lentamente do que os polissacarídeos, produzindo um amolecimento característico da superfície da madeira. Neste estágio, as hifas penetram na parede secundária da célula (RODRIGUEZ, 1990).

## 2.4 PRINCÍPIOS GERAIS DE BIOPOLPAÇÃO

O Brasil possui uma produção bastante significativa de papel, destacando-se entre os dez maiores produtores mundiais. Porém em função da crescente preocupação e conscientização ambiental, as atenções têm se voltado para o aspecto ambiental causado pela indústria de papel e celulose (MORAIS et al. 2007).

Uma alternativa recentemente estudada para minimizar o impacto ambiental por esse tipo de indústria tem sido a produção de biopolpas, onde microorganismos podem ser aplicados nos processos de biobranqueamento e biopolpação (Wille, 2007). O biobranqueamento substitui ou reduz o uso de agentes químicos para o clareamento da polpa celulósica. Na biopolpação ocorre a extração de lignina facilitada pela utilização de fungos de decomposição branca como agentes em um tratamento prévio da madeira, pois estes apresentam a capacidade em degradar a lignina seletivamente, facilitando o processo de polpação.

A biopolpação é considerada um tipo de fermentação em estado sólido aplicada como um pré-tratamento fúngico de cavacos de madeira para produção de polpas mecânicas ou químicas (AKHTAR et al. 1998; MENDONÇA et al. 2002; FERRAZ et al. 2006). Este processo depende do tipo de substrato e de suas características, bem como das condições de incubação (CAPELARI, 1996).

Karunananda e Vargas (1996) mencionam que a melhora na qualidade do material depende da espécie de fungo, da fração botânica estudada e da preparação prévia do substrato para degradação fúngica. Estudos realizados em escala de laboratório demonstraram o potencial da biopolpação para reduzir impactos ambientais, consumo de reagentes e consumo de energia no processo de extração de lignina, bem como melhorar as propriedades da polpa celulósica.

Pesquisas têm demonstrado que a biodegradação de madeira por basidiomicetos de decomposição branca pode ser usada como pré-tratamento para os processos de produção de celulose de papel. Conforme conceituado anteriormente esse processo combinado é denominado biopolpação, e permite a obtenção de polpas celulósicas. O conceito está baseado no fato de que fungos que



degradam lignina seletivamente, isto é, removem lignina preservando a celulose, podem ser aplicados sobre cavacos de madeira e depois de um determinado tempo de biodegradação dar origem a um resíduo biodegradado rico em celulose e com baixo teor de lignina, que além de reduzir o consumo de energia, a biopolpação, proporciona a obtenção de polpas celulósicas com melhor resistência a tração, rasgo e estouro (FERRAZ, et al. (2006).

Alguns autores, por outro lado, comentam que embora o processo de biopolpação já se encontre bastante desenvolvido, ainda não se conhece em detalhes os mecanismos químicos e bioquímicos que permitem explicar os benefícios observados para o pré-tratamento de madeira com os fungos ligninolíticos. Esse fenômeno natural, conduzido sob condições controladas e com fungos pré-selecionados, tem se mostrado um importante processo biotecnológico de aplicação industrial recente.

Dentre as espécies de fungos, atualmente estudados para tratar a madeira, destacam-se alguns basidiomicetos, classificados como fungos de decomposição branca, como, por exemplo, *Phanerochaete crhysosporium* e *Ceriporiopsis subvermispora*, destacam-se efetivos na degradação de lignina (FERRAZ et al. 2006).

No Brasil, há ocorrência de diversas espécies nativas com potencial decompositor de lignina, sendo algumas já cultivadas para outros fins. A pesquisa de fungos nativos de decomposição branca, para aplicação na biopolpação, pode revelar espécies que apresentem maior competitividade frente aos contaminantes e resultem em maiores benefícios para a extração de celulose.

Segundo Eggert et al. (1996) o gênero *Pycnoporus* se mostra bastante promissor devido sua capacidade de produzir enzimas ligninolíticas. Lomasco et al. (2002) afirmam que linhagens de *Pycnoporys sanguineus* de origem tropical e subtropical produzem maior quantidade de enzimas ligninolíticas que as linhagens de outras regiões.

Os materiais lignocelulósicos (especialmente a madeira) decompostos por fungos de decomposição branca adquirem uma aparência esbranquiçada e se rompem facilmente no sentido das fibras vegetais. A velocidade na quais os fungos lignocelulósicos decompõem na natureza é bastante variável e depende das condições de umidade e temperatura as quais são expostos, bem como da biodiversidade fúngica existente no local (FERRAZ et al. 2006).

Levy (1987) destaca que a biodegradação dos materiais lignocelulósicos por fungos é atribuída à ação de uma série de enzimas e compostos de baixa massa molar extracelulares. A degradação ocorre necessariamente de forma extracelular, uma vez que os componentes lignocelulósicos devem ser inicialmente despolimerizados até compostos menores que são susceptíveis pela parede celular e ao metabolismo intracelular dos fungos envolvidos.

Em termos microscópicos, observa-se que a ação dos fungos degradadores de materiais lignocelulósicos ocorre através da penetração de suas hifas pelo lúme das células vegetais. As hifas aí instaladas produzem uma grande diversidade de metabólitos extracelulares que então atuam degradando a parede celular vegetal (FERRAZ, 2004). Assim, podem-se diferenciar dois modos principais de degradação da célula vegetal por fungos. O primeiro envolve uma “escamação” da parede celular no sentido lúme-lamela média, levando à diminuição progressiva e irregular da espessura da parede celular. O outro modo de degradação, que tem sido observado em fungos seletivos para a degradação de lignina, envolve a remoção de lignina e polioses sem a simultânea erosão da parede celular vegetal. Nesses casos a parede celular, apesar de degradada, mantém sua forma original (LEVY, 1987).

Apesar dos resultados promissores obtidos pelo pré-tratamento com fungos seguido de rações de polpação, não há correlação entre o padrão de biodegradação dos componentes da madeira e o aumento na eficiência dos métodos de polpação subseqüentes utilizados. Esta falta de correlação sugere que os benefícios do biotratamento dependem mais do tipo de modificações induzidas na madeira do que da extensão da mineralização de seus componentes (FERRAZ et al. 2006).

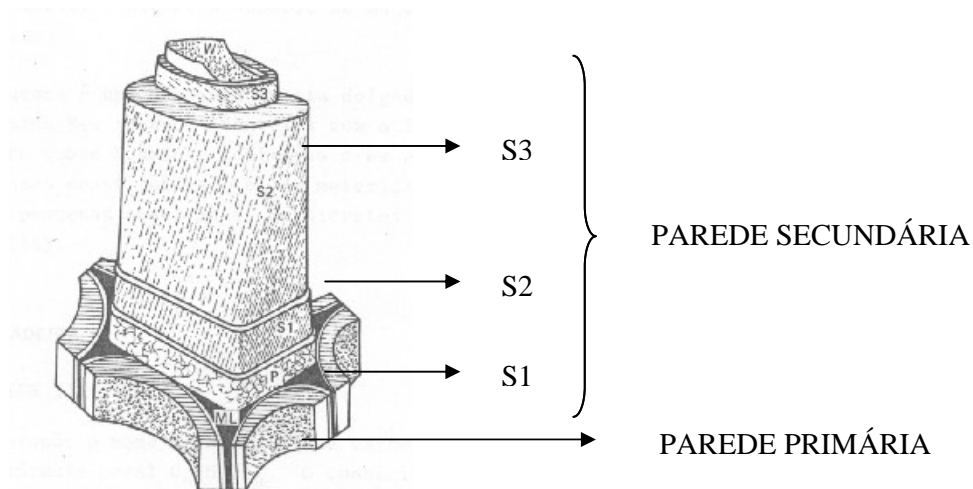
## 2.5 COMPOSIÇÃO DA MADEIRA

A madeira é a parte compacta ou fibrosa do tronco, dos ramos e das raízes de árvores, arbustos e outras plantas, sendo constituída de tecidos lenificados, que se desenvolveram sob a casca (SOARES, 1998). A madeira caracteriza-se por seu alto teor de material ligninocelulósico e por seu baixo teor de nitrogênio. Apesar de esses fatores terem um efeito negativo tanto no crescimento como na atividade de degradação dos microorganismos existe um grande número destes que são capazes de decompor a madeira sob condições externas favoráveis.

A madeira é um composto polimérico cujas propriedades técnicas e biológicas são principalmente determinadas pela composição química da parede celular. A forte tensão das fibras da madeira é determinada principalmente pela celulose e hemicelulose, enquanto que a lignina proporciona a adesão entre as fibras (ARO et al. 2004).

A parede celular de uma célula vegetal é formada por camadas individuais dispostas segundo um arranjo concêntrico. A estrutura típica de uma parede celular consiste de uma parede primária e uma parede secundária, apresentando uma camada de ligação entre as células chamada de lamela média. A lamela média é freqüentemente comparada com o cimento que liga tijolos de uma estrutura. É altamente lignificada, apresentando substâncias pécticas, principalmente no estágio inicial de formação. Sua espessura, com exceção dos cantos da célula é de 0,2 – 1,0  $\mu\text{m}$  (LEPAGE, 1986; CASTRO E SILVA, 1996).

A parede primária é uma camada fina, mais exterior, a qual é formada durante o desenvolvimento inicial da célula, com espessura estimada em 0,1  $\mu\text{m}$  e constituída de 9% celulose incrustada numa matriz plástica-amorfa de hemicelulose, pectina e lignina, e cerca de 70% ou mais de água. Apresenta uma disposição simples, contrariamente à parede secundária que possui 3 camadas mais ou menos distintas: camadas  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  (Figura 01). A camada  $S_1$  é relativamente fina, cerca de 0,1 – 0,3  $\mu\text{m}$ . A camada  $S_2$  é a mais espessa, com cerca de 2-5  $\mu\text{m}$  e a camada  $S_3$  é a mais exterior, tem 0,1  $\mu\text{m}$  de espessura. (PANSWIN & DE ZEEUW, 1980; CASTRO E SILVA, 1996).



**Figura 01:** Esquema tridimensional de uma parede celular mostrando a parede primária e as camadas que compõem a parede secundária.  
Fonte: D’Almeida, 1982.

O arranjo das microfibrilas celulósicas que compõem a parede celular varia nas diferentes camadas. Na camada  $S_1$  varia de  $50 - 70^\circ$  em relação ao eixo longitudinal da célula; na camada  $S_2$  o ângulo que as microfibrilas celulósicas fazem com o eixo da célula é menor variando de  $10 - 30^\circ$  e tem uma relação inversa com o comprimento da fibra; na camada  $S_3$  varia de  $50 - 90^\circ$  (PANSIN & DE ZEEUW, 1980; CASTRO E SILVA, 1991).

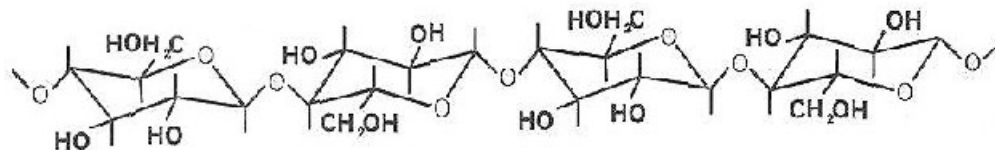
### 2.5.1 Composição Química da madeira

De uma maneira geral as madeiras são constituídas de quatro componentes principais: celulose, hemicelulose, lignina e os assim chamados extrativos (D’ALMEIDA, 1982; FENGEL E WEGENER, 1989).

#### 2.5.1.1 Celulose

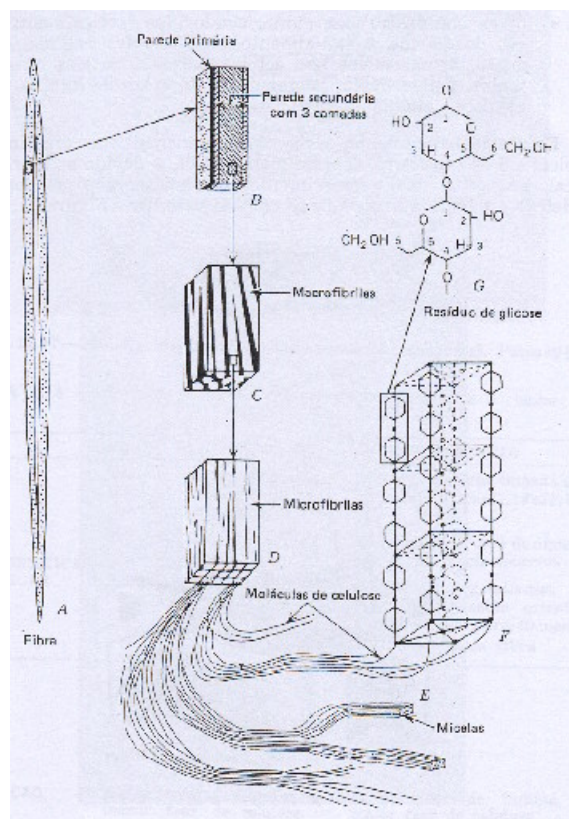
A celulose é um polímero homogêneo, não ramificado, cuja cadeia polimérica é constituída de centenas de unidades monossacarídicas, de apenas um tipo, D-glicose, ligadas covalentemente por ligações glicosídicas do tipo  $\beta(1 \rightarrow 4)$ . (Figura 2) Seu peso molecular pode variar de 162.000 a 2.400.000 D’almeida, (1982). Os dois

resíduos terminais de glicose da cadeia polimérica de celulose diferem entre si pela natureza redutora de uma das extremidades.



**Figura 2:** Fragmento de celulose.  
Fonte: Fengel e Wegener (1989).

Na madeira, as moléculas de celulose são mantidas juntas, de tal maneira a formar microfibrilas, as quais por sua vez são organizadas em um arranjo paralelo, lado a lado, formando fibrilas, que se entrelaçam, formando então as fibras de celulose (FENGEL E WEGENER, 1989) (Figura 3).



**Figura 3:** Representação esquemática das fibras de celulose e sua disposição espacial na madeira.  
Fonte: D'Almeida, 1982.

Duas regiões morfológicamente diferentes podem ser bem caracterizadas, quando se analisa as fibras de celulose por difração de raios-X; uma região cristalina, altamente organizada e uma região amorfa, desordenada. As propriedades físicas das fibras de celulose, tais como resistência à tração mecânica, alongamento e capacidade de solvatação, dependem do grau de organização (grau de cristalinidade) das mesmas (D'ALMEIDA, 1982 *apud* SOARES, 1998).

### 2.5.1.2 Hemicelulose

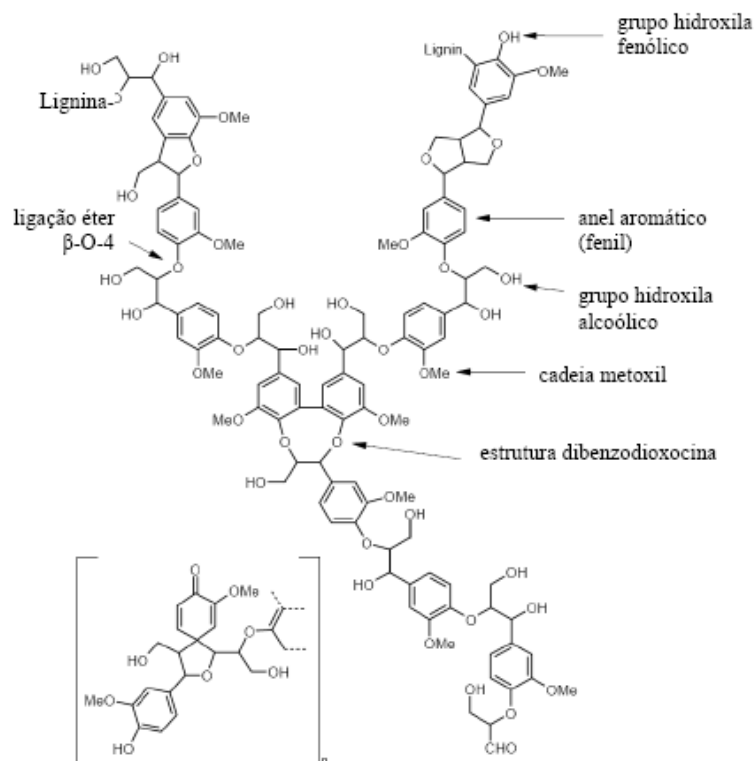
As Hemiceluloses constituem na verdade um grupo de substâncias poliméricas formadas a partir de unidades monossacarídicas diferentes. Portanto, são polissacarídeos heterogêneos, contendo nas suas estruturas tanto hexonas, quanto pentoses. Possuem cadeia polimérica ramificada e de baixa massa molecular. Em geral, as hemiceluloses contidas na madeira são misturas complexas de polissacarídeos, variando em composição de acordo com o tipo de madeira (D'ALMEIDA, 1982).

Assim, são freqüentes as glicouranoxilanas, arabinoglicouranoxilanas, galactoglicomanas, arabinogalactanas e outras. A ligação glicosídica mais freqüente nas hemiceluloses é a ligação do tipo  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4), podendo ser encontradas, particularmente nas ramificações (FENGEL E WEGENER, 1989).

### 2.5.1.3 Lignina

Lignina é uma substância cuja molécula é extremamente complexa, polimérica, heterogênea, formada a partir de três tipos diferentes de unidades monoméricas, derivadas de 4-hidroxiarilpropenil álcoois, sendo eles; álcool trans-*para*-cumárico (I) (unidade hidroxifenil), álcool trans-sinapílico (II) (unidade siringil) e álcool trans-coniferílico (III) (unidade guaiacel) (ADLER, 1977; FENGEL e WEGENER, 1989; HIGUCHI, 1990). Na molécula de lignina, tais unidades são distribuídas ao acaso e ligadas covalentemente por pelo menos dez tipos de ligações químicas diferentes. Estas incluem ligações tipo éter, alquil-aril, alquil-alquil e aril-aril, sendo que a mais freqüente é a ligação do tipo  $\beta$ -O-4, representando em torno de 50% das ligações. São freqüentemente também ligações  $\beta$ -1.

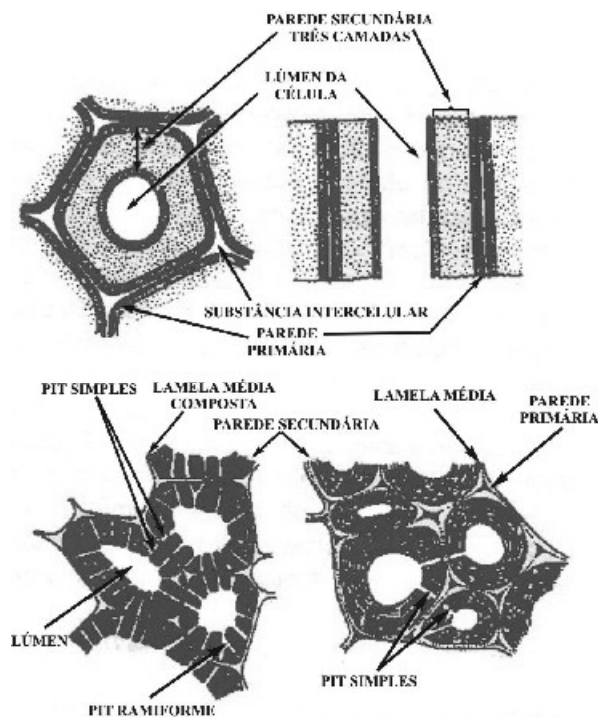
Os grupamentos funcionais que, portanto definem as características estruturais e químicas de lignina são os grupos hidroxílicos de álcoois primários e secundários, hidroxílicos de fenóis, eterificados e livres, grupos carboxílicos de diferentes tipos, metoxilas ligadas a anéis aromáticos e insaturações (Figura 4). O caráter aromático da estrutura de lignina está em torno de 51% (D'ALMEIDA, 1982).



**Figura 4.** Segmento de um polímero de lignina  
Fonte: Barrichelo & Britto (1989).

A Lignina apresenta uma molécula tridimensional, estereoquimicamente bastante complexa, amorfa e óticamente inativa. Portanto, o que se observa é que, dependendo da sua origem, tipo de madeira ou diferentes partes de um mesmo tecido, a lignina encontrada possui diferentes características estruturais. Em geral, ligninas encontradas em madeiras coníferas apresentam um alto teor de álcool coniferílico (unidades guaiacil) em contraposição às ligninas encontradas em madeiras folhosas, as quais apresentam quantidades equivalentes de álcool coniferílico e álcool sinapílico (unidades siringil) (ADLER, 1977; FENGEL e WEGENER, 1989).

Com base nestas constatações experimentais foram sugeridos os termos lignina guaiacil e lignina guaiacil-siringil, que denominam respectivamente os dois tipos principais de lignina, quanto a sua composição. Na madeira, a lignina pode ser encontrada nas paredes primárias e secundárias das células, as quais detêm a maior fração da quantidade total de lignina (70-90%). Também é encontrada nos espaços intercelulares, lamela média, que individualmente possui a maior concentração de lignina, comparativamente às outras partes de um mesmo tecido. Nas paredes celulares, lignina aparece ligada a hemicelulose, formando uma espécie de “cimento” o qual as fibrilas de celulose estão embebidas (Figura 5), (FENGEL e WEGENER, 1989).



**Figura 5:** Representação esquemática da parede celular de madeira.  
Fonte: Barrichelo & Britto (1989).

Na lamela média, a lignina forma uma espécie de retículo com cadeias paralelas e entrecruzadas, conferindo propriedades adesivas que mantém as várias células do tecido vegetal agregadas. O papel da lignina nos tecidos vegetais é o de conferir força e resistência mecânica, porém com elasticidade. Outra função da



lignina é a de proteção da madeira contra degradação microbiológica, função esta desempenhada graças a sua natureza recalcitrante, ou seja, de difícil biodegradação (KIRK & FARRELL, 1987). Dessa maneira, a lignina desempenha um papel fundamental no controle do ciclo de carbono na biosfera, uma vez que controla ou condiciona a degradação de celulose e hemicelulose por microorganismos.

As funções biológicas da lignina são: (1) Fornecer suporte estrutural à parede secundária de plantas vasculares. A parede celular lignificada pode ser vista como um complexo, com microfibrilas de celulose e hemicelulose, e a lignina como uma “matriz plástica” conferindo resistência ao material lignocelulósico; (2) Tornar a parede celular vegetal hidrofóbica, permitindo o desenvolvimento eficiente dos tecidos para transporte de água em plantas vasculares; (3) Conferir resistência contra ataques microbianos (ÖNNERUD et al. 2002).

Todos os métodos empregados para extração de lignina da madeira, em maior ou menor grau, acarretam modificações na sua estrutura, inclusive os métodos de extração com solventes. Assim, baseado no método de extração, diversos tipos de lignina podem ser obtidos, sendo que os principais são (D’ALMEIDA, 1982):

- a) Lignina de Brauns – obtida pela extração exaustiva de serragem de madeira com etanol, à temperatura ambiente.
- b) Lignina de Bjorkman ou “milled wood lignin” – é a lignina que se obtém utilizando-se a extração da madeira finamente moída com solventes neutros, como por exemplo, dioxano. A princípio, esta é a forma de lignina, obtida por extração, menos quimicamente modificada.
- c) Lignina Klason – este tipo de lignina é obtido em condições drásticas de extração, apresentando-se, portanto, bastante modificada quimicamente. É obtida pela hidrólise com ácido sulfúrico concentrado.
- d) Lignina Kraft – é a lignina extraída do licor de polpação (“black liquor”) obtido no processo industrial de produção de polpas celulósicas de mesmo nome, Kraft.

#### **2.5.1.4 Extrativos**

Além da celulose e lignina, existem diversas outras substâncias nos vegetais que variam de maneira notável entre as diferentes espécies. Os extrativos ou materiais acidentais são, freqüentemente, responsáveis por determinadas características como cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas da madeira (IPT, 1988a).

Os compostos extraíveis são geralmente caracterizados por terpenos, compostos alifáticos e compostos fenólicos quando presentes. Os extrativos são compostos químicos presentes em pequena quantidade na madeira e são extraídos mediante a solubilização em solventes. Podem ser quantificados e isolados com o propósito de um exame detalhado da estrutura e composição da madeira (DUEÑAS, 1997).

Teores elevados ou extrativos menos solúveis são prejudiciais pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação, formar incrustações em diversos equipamentos, dificultar a depuração e branqueamento da polpa celulósica e gerar manchas no papel produzido (FENGEL E WEGENER, 1989).

### **2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA**

Devido ao seu caráter de origem natural, a madeira apresenta propriedades físicas distintas, e com um elevado grau de variabilidade. Essa variação é parte resultante da interação entre o crescimento e outras variáveis, entre elas o clima, solo, disponibilidade de água e de nutrientes (BODIG, 1993).

#### **2.6.1 Densidade Básica**

A densidade básica pode ser definida como a razão da massa completamente seca dividida pelo volume em estado saturado de uma amostra.

Esta é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Portanto, as variações na densidade são

provocadas por diferenças nas dimensões celulares, pelas interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes químicos presentes na mesma (PANSIN E DE ZEEUW, 1980).

A densidade é uma das características e/ou fatores importantes no processo de celulose e papel. A principal influência da densidade se faz no rendimento volumétrico do processo, penetração do licor de cozimento, tempo de cozimento e qualidade da polpa celulósica e do papel produzido.

Para a indústria, a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação do rendimento do processo de obtenção de celulose, além do comportamento de algumas propriedades físicas e de resistência da celulose resultante (BERGER, 2003).

### **2.6.2 Umidade**

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente em uma amostra em relação a sua massa. Diversos autores enfatizam a importância do conhecimento e o controle da umidade, pois a influência dessa característica nos custos do transporte da matéria-prima é extremamente importante para comercialização. A influência é observada em situações onde a compra de cavacos ou toras é realizada por peso, desta forma, quanto maior for a umidade do material, menor será a quantidade de matéria-prima adquirida (BIERMANN, 1996).

A redução da umidade em cavacos acarreta dificuldades nas etapas de impregnação e deslignificação, levando a uma maior quantidade de rejeitos no processo de obtenção de polpa celulósica (KOCUREK, 2005). Por outro lado o aumento da umidade em cavacos pode gerar uma diminuição da concentração dos produtos químicos reagentes e gerar problemas no processo de obtenção de celulose (DUEÑAS, 1997)

De modo geral, o conteúdo de umidade freqüentemente utilizado nos processos de obtenção de polpa celulósica fica em torno de 50%, podendo variar numa faixa entre 30-60% (BIERMANN, 1996).

## **2.7 PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA E PAPEL**

O segmento de celulose e papel evoluiu muito desde a formação da primeira folha foi atribuída ao chinês Ts'ai Lun (HUNTER, 1978). Este segmento tem desenvolvido uma indústria complexa capaz de produzir uma grande variedade de produtos, desde celulose para exportação até papéis sanitários, de impressão e embalagens, todos estes baseados em operações ou processos comuns, porém com algumas modificações entre si (KLINE, 1991).

### **2.7.1 Obtenção de Polpa Celulósica**

Existem quatro grandes categorias de processos de obtenção de polpa celulósica: químico, semiquímico, quimiomecânico e mecânico. Estes são classificados em ordem crescente de consumo de energia e redução de consumo de reagentes químicos.

As características da polpa celulósica sofrem reflexo significativo mediante o tipo de processo utilizado em sua obtenção: assim polpas químicas diferem em muito das características das polpas mecânicas (IPT, 1988 – b).

Nos processos químicos, a separação ou individualização das fibras é conseguida através da ação de reagentes químicos que agem principalmente sobre a lignina que compõe a lamela média. Mesmo sendo seletivos os reagentes químicos acabam degradando uma fração dos polissacarídeos (holocelulose), reduzindo o rendimento e afetando as características da polpa celulósica (DUEÑAS, 1997).

Os dois principais processos alcalinos usados na produção de pastas químicas são: processo soda (NaOH) e processo kraft (ou sulfato). Estes processos são similares diferindo na aplicação do sulfato de sódio no processo kraft e hidróxido de sódio (NaOH) no processo soda, para garantir a perda do ciclo de recuperação dos reagentes do cozimento. No Brasil, cerca de 81% da produção de polpa química é feita pelo processo kraft, aproximadamente 12% pelo processo soda e os 7% restantes por outros processos (BRACELPA, 2007).

Segundo Barrichelo e Brito (1976), o processo soda (NaOH) é um processo químico alcalino que visa à remoção parcial da lignina existente na lamela média, permitindo a separação ou individualização das fibras. O produto resultante do processo recebe o nome de celulose, polpa ou pasta celulósica.

A deslignificação no processo soda envolve a fragmentação degradativa da lignina pelos reagentes e a dissolução ou dispersão dos fragmentos resultantes no licor. A lignina alcalina dissolvida pode ser precipitada pela acidificação da solução. A facilidade da retirada da lignina no cozimento alcalino parece estar relacionada com sua localização na parede da fibra, sendo a maior resistência oferecida pelas coníferas, seguida pelas folhosas e, por último, pelas palhas. (DUEÑAS, 1997). Durante o processo de deslignificação, pode haver degradação da celulose e dissolução dos fragmentos de baixo peso molecular.

A qualidade da celulose é avaliada basicamente pelo teor de lignina residual (número kappa), grau de degradação dos carboidratos (viscosidade) e propriedades físico-mecânicas das folhas formadas. Porém, essas características podem sofrer alterações de acordo com algumas variáveis do processo como carga alcalina, tempo e temperatura de deslignificação, entre outros (SILVA, 2006).

### **2.7.2 Processo de Refinação**

De acordo com o IPT (1988-b), o refino é o tratamento mecânico dado às fibras com a finalidade de prepará-las para a confecção de um papel com boa formação e resistência mecânica adequada.

A duração da refinação depende da resistência de cada celulose e pode ser muito diferente de espécie para espécie. Se uma pasta celulósica for dispersa em água o suficiente para separar as fibras umas das outras, e se a suspensão resultante for diretamente para a máquina de papel, será obtido um papel de baixa qualidade. Isto é explicado por uma série de razões: primeiro, a suspensão terá um desaguamento na tela muito rápido, o que impedirá que haja formação de uma folha uniforme; segundo, haverá formação de flóculos (fibras aglomeradas), antes mesmo que a suspensão atinja a tela; terceiro, as fibras não serão suficientemente flexíveis

e fibriladas para que tenham resistência capaz de permitir a passagem da folha, entre as diversas seções da máquina de papel, sem que ela se quebre; finalmente, a folha resultante terá baixa resistência (BIERMANN, 1996).

De maneira geral, com o aumento da refinação ocorre a diminuição da drenabilidade da polpa celulósica e aumento de determinadas propriedades de resistência do papel, entre elas a tração, estouro e rigidez, com exceção da propriedade de rasgo que, após um ligeiro aumento, decresce. Outras propriedades como alvura e opacidade também são afetadas mediante a condução do processo de refinação (CASEY, 1991).

As principais variáveis que afetam o processo de refinação são referentes ao tipo de matéria-prima, ao tipo de equipamento e às condições do processo. Dentro desta última categoria, a temperatura e a consistência são os principais fatores (BIERMANN, 1996).

### **2.7.3 Produção de Papel**

Kline (1991) define o papel como sendo uma fina camada de fibras celulósicas orientadas aleatoriamente e unidas por ligações de hidrogênio. Esta definição básica pode ser aplicada a qualquer papel.

A natureza hidrofílica da celulose desempenha um papel importante na pasta celulósica, já que a fabricação do papel ocorre em meio aquoso. As fibras celulósicas absorvem água rapidamente e se dispersam com facilidade em suspensão aquosa. Quando as fibras úmidas se juntam durante a formação da folha, as ligações ocorrem por atração polar das moléculas de água entre si e os grupos OH (hidroxila) da celulose na superfície da fibra. Quando a água é evaporada, os grupos OH superficiais se ligam através de ligações eletrostáticas (ligações de hidrogênio) (DUEÑAS, 1997).

De modo geral, em qualquer processo de fabricação de papel existem passos básicos comuns envolvidos, tais como: a formação (aplicação da polpa celulósica sobre uma tela), drenagem (remoção inicial da água através de escoamento por

gravidade ou uma diferença de pressão), consolidação (compactação do colchão da polpa celulósica) e secagem (remoção da água através do contato com a superfície aquecida). Mark et al. (2001) comenta que as características da polpa celulósica têm forte influência sobre essas operações de produção de papel.

A avaliação da qualidade do papel é realizada mediante a determinação de parâmetros como suas propriedades físicas (gramatura, espessura, umidade, densidade, permanência) e de resistências (tração, arrebentamento, rasgo e rigidez) e ópticas (alvura e cor) entre outras. (BIERMANN, 1996).

Segundo Scott et al. (1995) as propriedades físicas do papel estão sujeitas à influência de diversos fatores, dentre eles, a gramatura, a pressão exercida na formação das folhas, o tratamento mecânico aplicado nas fibras (processo de refinação), a adição de outras substâncias no papel, o tipo de fibras utilizada na formação das folhas e o conteúdo de umidade do papel.

## **2.8 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO PAPEL**

As propriedades do papel são resultantes de interações e de um grande número de fatores, como: fibras ou mistura de fibras usadas; matérias-primas não-fibrosas; tratamento mecânico dado às fibras na preparação da massa; processo de formação da folha, prensagem e secagem. Estas variáveis são ajustadas a fim de se obter um produto com as propriedades desejadas.

É importante obter pelo menos um par de ensaios diferentes, significativos para uma determinada aplicação. Segundo o IPT (1988-b), dentre as propriedades físico-mecânicas do papel, destacam-se:

### **2.8.1 Gramatura**

A gramatura é a massa do papel expressa em gramas por metro quadrado. A medição se realiza, em corpos-de-prova condicionados, por meio de uma balança na qual é possível ler diretamente a massa em gramas por metro quadrado, quando se pesa uma folha de área determinada (BIERMANN, 1996).

A gramatura é comumente especificada na venda e compra do papel. O consumidor, na compra de papel em bobinas ou folhas, está interessado na gramatura, porque um papel mais pesado que o especificado resulta em menos folhas.

### 2.8.2 Espessura

A espessura do papel é definida como segue:

**Espessura de uma única folha:** quando esta é colocada entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante.

**Espessura média das folhas no maço:** espessura de uma única folha de papel, calculada a partir do valor da espessura das folhas no maço, quando estas são colocadas entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante.

### 2.8.3 Resistência

A maneira de o papel resistir à ação de forças externas, da umidade e do calor, depende de sua composição fibrosa e de sua formação. A resistência do papel é muito importante nos casos onde o papel deve resistir a um esforço aplicado. Esta resistência, sendo um termo vago, precisa ser identificada quanto à sua natureza, como, por exemplo, resistência à tração e resistência ao rasgo.

Existem vários ensaios de resistência que podem ser feitos no papel; os mais comuns são: resistência à tração, resistência ao arrebentamento, resistência ao rasgo e resistência a dobras duplas. Nenhum destes ensaios é uma medida fundamental, mas uma combinação de vários fatores, como flexibilidade, ligações de fibras e resistência da fibra. Tais fatores dependem, entre outros, do tipo de fibras, do comprimento e espessura das fibras, da flexibilidade das fibras individuais, do número de ligações entre fibras, da resistência das ligações individuais, na gramatura do papel, da densidade aparente e da umidade.



### **2.8.3.1 Resistência à Tração**

Os papéis devem resistir, pelo menos, aos diferentes tipos de força que encontram ao longo do processo de produção e utilização. Para a determinação da resistência à atração, submete-se um corpo-de-prova de largura e comprimento especificados a um esforço de tração uniformemente crescente até a sua ruptura.

A resistência à atração está relacionada com a durabilidade e utilidade de um papel, como, para embalagem e outros usos também sujeitos a forças de tensão direta. No caso de papéis de impressão, a resistência à atração indica a probabilidade de ruptura quando são sujeitos à tensão exercida durante o processo de impressão. A resistência à tração é controlada por fatores como resistência individual das fibras, comprimento médio, formação e estrutura da folha. Dependendo do tratamento recebido durante seu processamento, as fibras podem sofrer degradação e enfraquecimento, dando origem a papéis fracos.

### **2.8.3.2 Alongamento**

O alongamento é a deformação máxima que apresenta um corpo-de-prova, de largura e comprimento especificados, no momento de sua ruptura. É determinado simultaneamente com a resistência à atração utilizando o dinamômetro.

### **2.8.3.3 Resistência ao Estouro ou Arrebetamento**

O ensaio de resistência ao arrebetamento é um dos mais antigos, por ser simples, ainda é usado nas fábricas, no controle de rotina e para caracterização.

A resistência ao arrebetamento é definida como a pressão necessária para produzir o arrebetamento do material. Ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular. O corpo-de-prova, submetido ao ensaio, é preso rigidamente entre dois anéis concêntricos. O esforço ao qual o material está submetido simula o emprego prático do papel, em forma de sacos, papel de embrulho e outros.

A resistência ao arrebentamento aumenta com crescente refinação e decresce com excesso desta. A baixa resistência ao arrebentamento pode ser atribuída, em parte, ao corte das fibras. As variações na gramatura e na espessura causam freqüentemente variação na resistência ao arrebentamento. O uso de aditivos e colas afeta consideravelmente o comportamento do papel e o resultado do ensaio.

#### **2.8.3.4 Resistência ao Rasgo**

A resistência ao rasgo mede o trabalho necessário para o rasgamento do papel, a uma distância fixada, depois de o rasgo ter sido iniciado por meio de uma faca adaptada ao aparelho.

Entre os fatores que podem afetar a resistência ao rasgo, tem-se o comprimento das fibras e a ligação entre elas.

O ensaio de resistência ao rasgo é usado na avaliação de sacos de papel, etiquetas, papéis para fins higiênicos e certos papéis que, na utilização, são submetidos à força de rasgamento.

### **2.9 Dados Gerais sobre a *Simaruba amara* – Aubl, Simaroubaceae (Marupá)**

O Marupá (*Simaruba amara* - Aubl) é uma simaroubaceae de origem americana e se distribui nos Estados brasileiros da Amazônia. Seu habitat é a mata de terra firme. Em cada região possui um nome local. Tamanqueira no Amazonas, Marupá no Estado do Pará, Marupá e Parpaíba no Maranhão, Pariba ou Craíba no Estado do Ceará. Na Guiana recebe os nomes Simaruba, Maruba e Simarupa (CORRÊA e RIBEIRO; 1972).

É uma árvore grande de copa frondosa, casca rugosa e acidentada. Folhas alternadas, compostas e compactas. Folíolos opostos, oblongos, com bases atenuadas e ápice frequentemente obtuso. Inflorescência em panículas terminais, densifloras muito ramificadas. Flores pequenas aglomeradas, monóicas, brancas. Frutos drupas ovóides, formadas de 3-5 cápsulas com maior largura na base,

glabras. A madeira é leve (densidade 0,45 – 0,55g/cm<sup>3</sup>) de cor branco-palha, levemente amarelada ou ainda branca rosada, de superfície lustrosa. Moderadamente lisa ao trato, grã-direta, textura grosseira, sabor amargo e cheiro distinto. Muito resistente ao ataque de insetos (CORRÊA, 1997).

### **2.9.1 Características milimétricas e anatômicas**

O comprimento máximo, médio e mínimo das fibras de Marupá são 1,960 mm; 1,162 mm e 0,76 mm respectivamente. A largura média 0,010 mm. Os vasos apresentam um comprimento 0,50 mm e largura de 0,24 mm. Essas medidas resultam em um Poder Feltrante de 64,7 para a fibra de Marupá. No conjunto pode-se dizer que o Marupá tem fibras curtas, mas bastantes finas. O Poder Feltrante elevado significa que os papéis obtidos desta essência apresentarão boa características quanto ao rasgo. A auto ruptura e o estouro serão um pouco baixos (CORRÊA e RIBEIRO; 1972).

### 3 MATERIAL E MÉTODO

Os testes biológicos de repicagem e crescimento dos fungos nos cavacos foram realizados no Laboratório de Biorgânica da Universidade do Estado do Amazonas e a produção da polpa celulósica, fabricação de papel e testes relacionados foram realizados no Laboratório de Celulose e Papel do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

#### 3.1 MATERIAL BIOLÓGICO

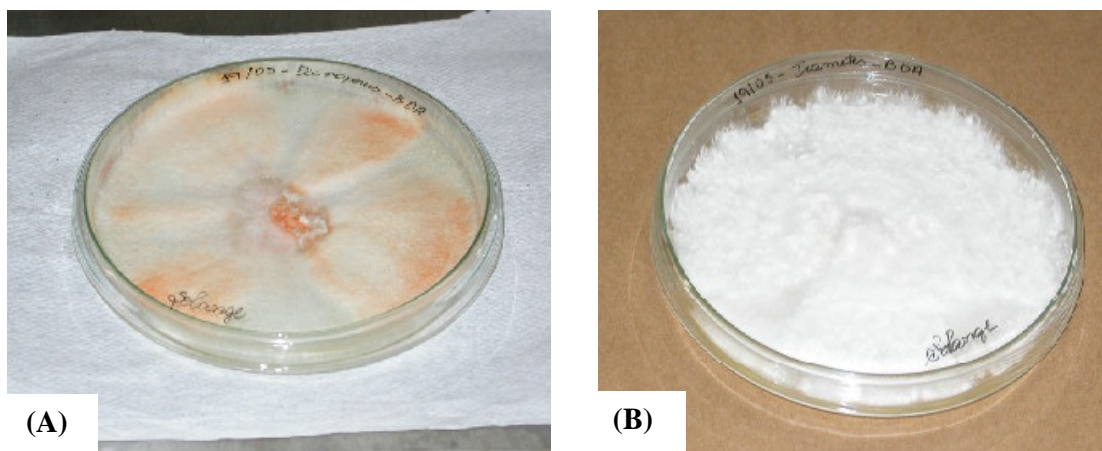
Foram utilizados neste estudo cepas de fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans*, doados pelo Laboratório de Biorgânica da Universidade do Estado do Amazonas. Os fungos foram reativados em placas de petri contendo meio de cultivo batata-dextrose-ágar (BDA) (Tabela 2).

Tabela 2

Meio de cultivo Batata-Dextrose-Ágar para os fungos *P. sanguineus* e *T. elegans*

Meio líquido	
Extrato de malte .....	40 g
Antibiótico .....	500 mg
Água destilada.....	100 ml
pH.....	5,6 – 6,0

O meio de cultura foi previamente esterilizado em autoclave a 120°C por 15 minutos. O processo de reativação foi executado em Câmara de Fluxo Laminar, incubando-se as placas a 35°C, por um período de 15 dias para crescimento e obtenção de culturas puras (Figuras 6).



**Figura 6:** Crescimento de fungo em placa de Petri após procedimento de repicagem (A) *Pycnoporus sanguineus* e (B) *Trametes elegans*

### 3.2 PICAGEM, CLASSIFICAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS CAVACOS

A madeira utilizada, *Simaruba amara* – Aubl (Marupá), pertencente à família Simaroubaceae, foi doada pela Serraria do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, por meio da Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais – CPPF. As tábuas foram cortadas nas dimensões 5 cm x 5 cm x 1,30 cm e atalhadas no picador com potência de 15 Hp, velocidade do disco de 500 rpm, facas de 7/8 polegadas, constituindo ângulos de 45° em relação ao alimentador.

Os cavacos foram colocados no classificador Vibrador Wisley, contendo três peneiras: a primeira com malha de 1 ¼ polegadas, a segunda e a terceira com malha de 1 ½ polegadas. Os cavacos utilizados são aqueles retidos na segunda malha de 1 ½ de polegadas, denominados pela norma internacional de 40 e 60 MESH. Os cavacos retidos nesta malha são propícios ao experimento, nas dimensões 3,30 x 2,0 x 0,3 cm de comprimento, largura e espessura (CORRÊA e RIBEIRO, 1972), estas dimensões não prejudicam o cozimento das fibras (Figura 7). Deste material, foram retiradas amostras para serem moídas em moinho Wisley e peneiradas para análise química.



**Figura 7:** Cavacos de *S. amara* – Aubl. classificados e retidos nas malhas 1 ½ polegadas (40 e 60 MESH).

### **3.3 TRATAMENTO DOS CAVACOS COM OS FUNGOS *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans***

Cavacos de *S. amara*-Aubl foram mantidos imersos em água durante 24 horas, sendo posteriormente depositados em ambiente natural para retirada do excesso de água, pesados a cada 200 g e armazenados em sacos plásticos de 5 kg, onde receberam um chumaço de algodão para facilitar na aeração e amarrados com barbante. Os materiais foram autoclavados a uma temperatura de 121°C durante 15 minutos para assepsia.

Após resfriamento em temperatura ambiente, foram separados quarenta sacos com cavacos. Destes, vinte foram destinados para receber inóculos de *P. sanguineus* e vinte para receber inóculos de *T. elegans*. Cada saco contendo cavacos de *S. amara* – Aubl, recebeu um disco de micélio de 4 milímetro de diâmetro em ambiente estéril (Figura 8).



**Figura 8:** Inóculos de micélio de *P. sanguineus* e *T. elegans* em experimento com cavacos

O material foi acondicionado em câmara BOD a 30°C para *P. sanguineus* e 28°C para *T. elegans*, temperaturas determinadas em outros experimentos como sendo ótimas para esses fungos, por um período de 60 dias. Foram realizadas observações contínuas para acompanhamento do crescimento (Figuras 9).



**Figura 9:** Cavacos preparados para serem acondicionados em câmara de BDO

Após este período, a madeira foi autoclavada, lavada com escova de cerdas de nylon e seca em estufa a 60°C para seguir com o cozimento soda clássico. Deste material foram retiradas amostras para serem moídas em moinho Wisley e peneiradas para análise química.

### 3.4 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

As análises químicas foram realizadas em triplicata para cada tratamento e seguiram as recomendações da TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1994), conforme Tabela 3.

Tabela 3

Relação dos procedimentos utilizados na Avaliação dos Parâmetros Químicos da Madeira

Procedimentos*	Normas
Preparação de material para análise .....	T264 - om 88
Teor de Lignina .....	T13 - m 54
Teor de Celulose Cross & Bevan .....	T201 - m 54
Teor de Celulose Cross & Bevan .....	T17 - m 15
Teor de Pentosanas .....	T223 - ts 63
Teor de Cinzas .....	T413 - ts 66
Teor de Extrativos .....	T12 – m 59
Solubilidade em NaOH 1%.....	T4 - m 59
Solubilidade em água .....	T1 – m59

\* Procedimento da Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1994)

Para cada tratamento foram utilizados aproximadamente 300 gramas de cavacos úmidos de madeira, para conversão em serragem por meio de moinho tipo martelo. As amostras foram classificadas e acondicionadas em sacos plásticos para realização das análises.

O teor de lignina insolúvel da madeira foi obtido após remoção dos extrativos e degradação dos polissacarídeos utilizando ácido sulfúrico a 72% (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (TAPPI, 1994).

A determinação do teor de celulose Cross & Bevan na madeira, consistiu em uma deslignificação do material em análise através de tratamentos alternados com água e cloro, até se obter um resíduo descolorido. O resíduo resultante é dito como “teor de celulose na amostra” (TAPPI, 1994).



O teor de pentosanas é representado por uma fração das hemiceluloses presentes na amostra, uma vez que estas são constituídas de pentosanas e hexosanas. A determinação de pentosanas ocorreu em duas etapas. A primeira consistiu na hidrólise das pentosanas, feita com solução de ácido clorídrico de concentração a 12%. Esta hidrólise levou a formação de furfural, o qual foi separado da mistura por destilação. A segunda etapa consistiu na análise da solução de furfural obtida na destilação (TAPPI, 1994).

O material inorgânico correspondente à fração residual inorgânica (cinzas), foi obtido mediante calcinação da serragem de madeira, à temperatura de  $525 \pm 25^\circ\text{C}$ . A incineração iniciou com temperatura baixa num cadinho de porcelana quartzo e depois a temperatura mais elevada (TAPPI, 1994).

A fração representada pelos extrativos totais foi obtida mediante extrações consecutivas pela ação dos solventes: etanol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ), etanol-tolueno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} - \text{C}_6\text{H}_6\text{OH}$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (TAPPI, 1994).

A solubilidade em NaOH 1% verificou o grau de degradação que o material sofreu por fungos ou outros agentes de deterioração. No tratamento da amostra com uma solução de soda a 1%, determinou-se a quantidade de material solubilizado nas condições empregadas para verificar o ataque de microrganismos (TAPPI, 1994).

### **3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA**

Para cada tratamento foram utilizados aproximadamente 300 gramas de cavacos úmidos de madeira divididos em seis repetições para realização dos ensaios.

Para obtenção do teor de umidade foi utilizado o método descrito em TAPPI, RC-91, através da fórmula (TAPPI, 1994):

$$\%TU = \frac{PU - PS}{PU} \times 100$$

Onde:

**PU** = Peso úmido

**PS** = Peso seco

A umidade foi determinada em porcentagem (%) pela relação da massa de água existente na madeira e a massa da madeira seca em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até peso constante.

A densidade básica da madeira foi obtida mediante determinação da massa seca em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  até peso constante do conjunto de cavacos e aplicação da fórmula:

$$D = \frac{250}{A} \times \frac{(100 - \% \text{ da Umidade})}{100}$$

Onde:

**A** = Densidade da madeira

### 3.6 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

Para realização dos cozimentos foram selecionados os cavacos classificados nas telas de  $1 \frac{1}{2}$  (40 e 60 MESH) que promovem um cozimento uniforme e geram uma polpa homogênea.

Os cozimentos, feitos em triplicata para cada tratamento foram realizados em digestor rotativo de aço inoxidável composto por quatro cápsulas, aquecido eletricamente. No digestor foram introduzidos o licor de cozimento composto de 200,93 g/l de NaOH e 3.177 ml de H<sub>2</sub>O. Para obtenção do número Kappa desejado, determinou-se oito testes com teor de álcali ativo 18%, 20%, 24%, 28%, 32%, 36%, 40 e 44%.

As condições de cozimento foram baseadas no método descrito por Corrêa e Ribeiro (1972), em cozimentos já realizadas com o mesmo designificante e com madeiras da região amazônica (Tabela 4).

Tabela 4  
Relação dos Parâmetros de Controle utilizados nos Cozimentos Experimentais

Parâmetros de Controle	Cavacos de <i>Simarouba amara</i> – Aubl – sem tratamento	Cavacos com o fungo <i>Pycnoporus sanguíneus</i>	Cavacos com o fungo <i>Trametes elegans</i>
Quantidade de cavacos – Base seca.....	200 g	200 g	200 g
Álcali Ativo* .....	18%, 20%,	18%, 20%,	18%, 20%,
Álcali Ativo* .....	24%, 28%,	24%, 28%,	24%, 28%,
Álcali Ativo* .....	32%, 36%,	32%, 36%,	32%, 36%,
Álcali Ativo* .....	40% e 44%	40% e 44%	40% e 44%
Relação licor-madeira.....	3,3:1	3,3:1	3,3:1
Temperatura máxima.....	170°C	170°C	170°C
Tempo até temperatura máxima.....	90 min	90 min	90 min
Tempo total.....	3:30min	3:30min	3:30min

\* Calculado como NaOH

No final do cozimento, foi feita a despressurização do cozinhador e em seguida a descarga, quando então se colheu o licor residual para posterior análise. As análises foram realizadas em triplicatas para cada tratamento. A massa resultante foi submetida a uma lavagem preliminar e posteriormente desagregada em um filtrante de 17 litros de capacidades e lavadas até a completa exaustão do licor negro remanescente (Figura 10).



**Figura 10:** Massa resultante sendo lavada até completa limpeza do licor negro

As pastas foram classificadas em depurador, utilizando tela com fenda de 0,2 mm, sendo escoadas na centrífuga e armazenadas em sacos plásticos, para cálculos dos resultados dos cozimentos e ensaios de avaliação da qualidade da pasta (Figura 11).



**Figura 11:** Pasta celulósica resultante dos cozimentos

As determinações do número Kappa e viscosidade foram efetuadas nas polpas depuradas. O método utilizado para avaliar o número Kappa foi a Norma TAPPI T236 m-60 e para a viscosidade intrínseca em solução de cuproetilenodiamina a Norma TAPPI T230 om-99. As análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento (TAPPI, 1994).

O procedimento para determinação do número Kappa correspondeu ao processo de oxidação da lignina residual contida na polpa celulósica com permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) em solução acidificada por ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Para a depuração foi calculado o rendimento depurado e o percentual de rejeito sobre a pasta. No licor residual obtido foram calculados álcali residual e densidade do licor. A viscosidade foi determinada através de viscosímetro capilar. A análise permitiu avaliar o grau médio de polimerização das cadeias de celulose. As propriedades relacionadas com o tamanho e a configuração das moléculas permitem de maneira sensível, detectar a degradação da celulose resultante dos processos de polpação.

### 3.6.1 Processo de refinação da polpa celulósica

O refino é o tratamento dado às fibras, com a finalidade de prepará-las para formar um papel de qualidade na formação e resistência mecânica adequada. O grau de refino das polpas foi medido utilizando o Aparelho Schopper Riegler, de acordo com as Normas ABCP C-10/73 (TAPPI, 1994). No processo a suspensão aquosa é drenada através de uma camada de fibras formada durante o teste sobre uma tela dentro de um funil provido de duas saídas, uma lateral e outra inferior, o filtrado recolhido do orifício lateral é medido num cilindro especial graduado em graus °SR (Schopper Riegler) (Figura 12).



**Figura 12:** Aparelho Schopper-Riegler

As polpas celulósicas obtidas após depuração e centrifugação passaram por processo de refinação, mediante a utilização de moinho tipo Jokro, a 150 rpm (Norma ISSO 5264/3) (TAPPI, 1994). Os parâmetros desta etapa são descritos na Tabela 5.

Tabela 5

Relação dos Parâmetros de Controle utilizados na Refinação da Polpa Celulósica

Parâmetros de controle	Cavacos de <i>Simarouba amara</i> – aubl – sem tratamento 28%	Cavacos com o fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i> 18%	Cavacos com o fungo <i>Trametes elegans</i> 18%
Gramatura objetivada	65 g/m <sup>2</sup>	65 g/m <sup>2</sup>	65 g/m <sup>2</sup>
Tempo / Grau Schopper Riegler	0 - 19°	0 - 16°	0 - 13°
	15' - 32°	15' - 32°	15' - 28°
	30' - 43°	30' - 41°	30' - 43°
	45' - 54°	45' - 51°	45' - 54°

\* Procedimento da Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1994)

O processo de refinação foi conduzido em tempos distintos, sendo que para cada tratamento foi comparado tempo e Grau Schopper Riegler e as características de resistências à drenagem pelo aparelho Schopper Riegler (Norma ISSO 5267/1) (TAPPI, 1994).

As polpas refinadas foram ensaiadas para que se observasse a influência dos diferentes teores de lignina das madeiras sobre suas propriedades, bem como o comportamento das polpas à medida que aumentava o grau de refino.

As folhas foram confeccionadas a partir de suspensão de polpa refinada e diluídas de modo a obter-se uma gramatura em torno de 65 g/m<sup>2</sup>, conforme as Normas ABTCP-TAPPI 205 – om 81 (TAPPI, 1994).

### 3.6.2 Produção e caracterização do papel

Para a confecção das folhas, os resíduos passaram inicialmente por um processo de desagregação das fibras celulósicas utilizando um Desintegrador DSG-2000 de 2L de água por aproximadamente 10 minutos (Figura 13), a quantidade de

resíduos fibrosos utilizada na confecção das folhas de cada tratamento, para atingir uma gramatura de papel em torno de 65 g/m<sup>2</sup>, foi calculada de acordo com a Norma ABCP P 6/70 (TAPPI, 1994).



**Figura 13:** Desintegrador DSG-2000

Após a desagregação, as fibras passaram por um processo de homogeneização em um Homogeneizador Mannheim U55, com aproximadamente 8 litros de água por tempo indeterminado, pois o tempo de homogeneização não interferiu nos resultados. A função deste aparelho é manter as suspensões de celulose em constante movimentação, evitando sedimentação e favorecendo assim a formação de folhas uniformes (Figura 14).



**Figura 14:** Homogeneizador Mannheim U55 no processo de homogeneização

A folha de papel é formada pela deposição das fibras da suspensão aquosa sobre a tela da máquina. As folhas foram confeccionadas em formador de folha de F200 Regmed. (Figura 15).



**Figura 15:** Formador de Folha F 200 Regmed “Rapid Khoten”

Após formação, as folhas passaram por um processo de secagem realizado em secadores de papel com capacidade para duas folhas em cada secagem (Figura 16). As folhas foram colocadas entre papéis mata-borrão, próprios para secagem e depositadas nos secadores por aproximadamente 15 minutos.



**Figura 16:** Papel para secagem no secador

As folhas de papel confeccionadas foram depositadas em ambiente climatizado, a uma temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $50\% \pm 2\%$  de umidade relativa



(Norma T402 – om 94). Após temperatura adequada, as folhas foram destinadas à realização de testes físicos e mecânicos. A relação das normas utilizadas nos ensaios é apresentada na Tabela 6 (TAPPI, 1994).

Tabela 6  
Relação dos Procedimentos utilizados na Avaliação das Características Físicas e de Resistência do Papel

Procedimentos	Norma
Gramatura .....	T410 – os 61
Espessura .....	T411 – om 88
Resistência a Tração .....	T494 – om 94
Resistência ao Alongamento .....	T494 – om 94
Resistência do Rasgo .....	T414 – ts 65
Resistência ao Gurley .....	ISO 5636-5

\* Procedimento da Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1994)

A gramatura é expressa em gramas por metro quadrado ( $g/m^2$ ). Para a determinação da gramatura pela Norma T410 – os 61, os corpos de prova foram pesados em balança analítica de precisão após ter sido determinada a área correspondente em metros quadrados dos mesmos (TAPPI, 1994).

A espessura do papel foi expressa em milímetros (mm), determinada mediante a definição da distância medida entre as faces das folhas de papel sob a ação de uma carga específica. Foi utilizada a Norma T411 – om 88 para determinar a espessura (TAPPI, 1994).

A resistência à tração é expressa em quilonewtons por metro (kN/m) e seu índice é calculado pela relação entre a resistência à tração pela gramatura sendo expresso em newtons metros por grama (Nm/g). Para a determinação da resistência a tração foi utilizada a Norma T494 – om 94. A resistência a tração corresponde a força máxima em quilonewtons (kN) desenvolvida por unidade de largura em metros da amostra antes da ruptura (TAPPI, 1994).

A resistência ao alongamento é expressa em Porcentagem (%), este ensaio foi realizado utilizando um dinamômetro automático, este aparelho é digital e programável, capaz de medir e indicar a força de tração máxima em Kgf (quilograma

força), e alongamento em milímetros ou percentual. Foram preparados 10 (dez) corpos de prova de cada tratamento, os quais foram presos por duas garras e tracionados até a ruptura a uma velocidade constante causando a ruptura no corpo de prova em um tempo médio de  $20 \pm 5s$  (TAPPI, 1994).

A resistência ao rasgo corresponde a força perpendicular em milinewtons (mN) ao plano do papel necessária para rasgar uma ou mais folhas, através de uma distância específica. Para a determinação da resistência ao rasgo pela Norma T414 – ts 65 utilizou-se o equipamento Pêndulo. A resistência ao rasgo é expressa em milinewtons (mN) e seu índice é calculado pela relação entre a resistência ao rasgo pela gramatura sendo expresso em milinewtons metro quadrado por grama ( $mNm^2/g$ ) (TAPPI, 1994).

A resistência ao ar (Gurley) corresponde ao tempo necessário para certo volume de ar atravessar, sob pressão constante, uma determinada área de papel. Tal como a permeabilidade ao ar, quantifica a capacidade que o papel tem em se deixar atravessar pelo ar. Para a determinação ao ar (Gurley) utilizou-se a Norma ISO 5636-5. A resistência ao ar é expressa em unidades s/100 ml (segundos por cem mililitros) (TAPPI, 1994).

### 3.7 ANÁLISE ESTÁTISTICA

Após ser comprovada a existência de homogeneidade das variâncias por meio de testes específicos, os valores neste estudo foram submetidos a análise de variância (ANOVA) a 95% de confiabilidade.

As hipóteses testadas no estudo foram:

$H_0$  – Não há influência da degradação dos fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* sobre as características da madeira e teste do papel.

$H_1$  – Há influência da degradação dos fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* sobre as características da madeira e teste do papel.

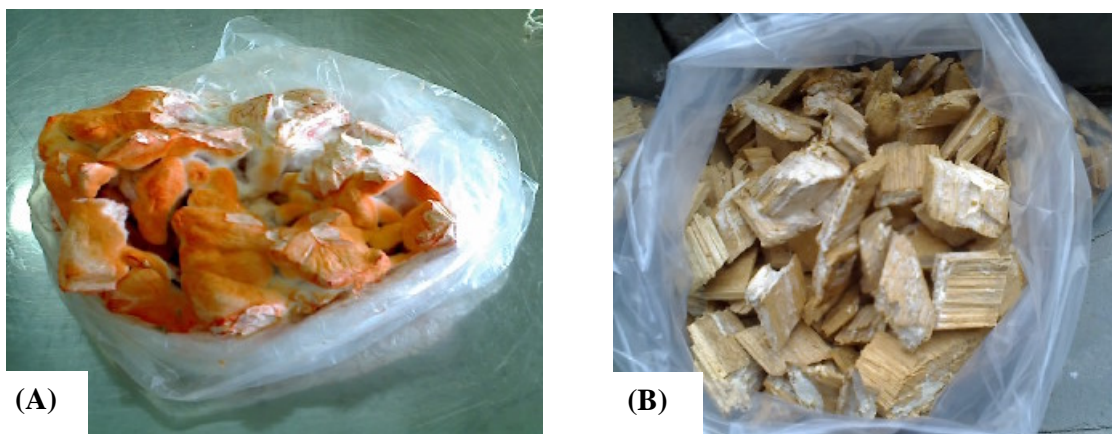
Sendo caracterizada a influência dos fungos, efetuou-se o teste de comparação múltipla de médias por Tukey, a 99% de confiabilidade.

Utilizou-se o Programa BioEstatic 5.0 nas referidas análises.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CRESCIMENTO DOS FUNGOS *Pycnoporus sanguineus* E *Trametes elegans* NOS CAVACOS DE *Simaruba amara* – Aubl.

Os cavacos que receberam inóculos do fungo *P. sanguineus* em condições favoráveis ao crescimento apresentaram degradação expressiva. As diferenças na velocidade de crescimento nos cavacos passaram a ser expressos em torno do oitavo dia de observação visual, quando *P. sanguineus* destacou-se no crescimento em relação ao *T. elegans*. Outro aspecto que chamou atenção foi a tonalidade miceliana branca e depois alaranjada na madeira, demonstrando uma intensa colonização nos cavacos e maior poder de competição (Figura 17). Estes resultados sugerem que possivelmente a ação enzimática de *P. sanguineus* atue mais eficientemente na extração dos nutrientes da madeira, favorecendo seu crescimento.



**Figura 17:** Características dos cavacos de *Simaruba amara*-Aubl, após crescimento dos fungos. **(A)** *Pycnoporus sanguineus* e **(B)** *Trametes elegans*

O fungo *T. elegans* apresentou crescimento lento, com isso houve aparecimento de contaminantes de pigmentação escura (pontos pretos) demonstrando pouca resistência aos contaminantes e baixo poder de competição.

#### 4.2 ANÁLISE QUÍMICA DOS COMPONENTES DA MADEIRA

Avaliações dos componentes químicos da madeira são fundamentais e exercem grande influência sobre os processos, interferindo ou auxiliando no processo final.

Os valores das análises das características químicas realizadas no estudo e seus respectivos padrões são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7

Parâmetros dos teores químicos da madeira *S. amara* – Aubl (sem tratamento), *S. amara* – Aubl (com ataque de *P. sanguineus*) e *S. amara* – Aubl (com ataque de *T. elegans*).

Experimentos	Caracterização química da madeira			
	Lignina (%)	Celulose Bruta (%)	Celulose Corrigida (%)	Pentosanas (%)
<i>Simaruba amara</i> -Aubl sem tratatamento .....	29,63 <sup>(a)</sup>	51,96 <sup>(a)</sup>	49,56 <sup>(a)</sup>	11,58 <sup>(a)</sup>
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Pycnopus sanguineus</i> .....	11,47 <sup>(b)</sup>	59,5 <sup>(a)</sup>	56,45 <sup>(a)</sup>	11,48 <sup>(a)</sup>
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Trametes elegans</i> .....	28,19 <sup>(a)</sup>	57,42 <sup>(a)</sup>	53,71 <sup>(a)</sup>	19,73 <sup>(b)</sup>

\* Letras iguais significam que não houve diferença estatística ao nível de 99% de confiabilidade.

O teste indicou que não existiu diferença estatística no teor de lignina degradada por *T. elegans* (a) ao nível de 95% de confiabilidade quando comparada com o teor de *S. amara* – Aubl sem tratamento. Por outro lado *P. sanguineus* degradou substancialmente a lignina quando comparada ao teor de *S. amara* – Aubl

sem tratamento, neste caso o teste ANOVA indicou que existe diferença significativa ao nível de 99% de confiabilidade de degradação por *P. sanguineus*.

Uma das grandes expectativas confirmada foi a conservação do teor de celulose bruta presente na amostra controle *S. amara* – Aubl (sem tratamento), degradada por *P. sanguineus* e *T. elegans*, pois foi observado a conservação deste componente químico pelos fungos. Estes fungos são classificados como de podridão branca e conseqüentemente grande poder de degradação específico para a lignina conservando a celulose. Dessa forma, os teores deste componente químico apresentaram pequena variação estatística, sendo que o teste ANOVA indicou que não existe diferença ao nível de 99% de probabilidade do teor de celulose bruta na madeira atacada pelos fungos.

Para o teor de celulose corrigida, o teste ANOVA seguiu o mesmo parâmetro, pois não mostrou diferença estatística no teor deste componente ao nível de 99% de probabilidade, ou seja, as madeiras tratadas com *P. sanguineus* e *T. elegans* não sofreram perda severa de celulose.

O teor químico de pentosanas é um parâmetro importante a ser analisado, pois sua presença é desejável por proporcionar menos consumo de energia no refinamento e resistência nos testes do papel. O teor apresentado ficou em torno de 11,48% a 19,73. Ao analisar a amostra observou-se que ocorreu erro na análise dos cavacos degradados por *Trametes elegans*.

Analisando os teores dos componentes químicos com o teste controle (madeira sem tratamento), os cavacos degradados por *P. sanguineus*, destacou-se na degradação da lignina, conservando celulose bruta e corrigida.

Cinzas na madeira sem tratamento enzimático apresentou teor médio de 0,56%, enquanto que a madeira degradada por *Pycnoporus sanguineus* e *T. elegans* o teor médio de cinzas foi de 0,18% e 0,33% respectivamente. (Tabela 8). Teste ANOVA evidenciou que não existe diferença estatística ao nível de 99% de probabilidade entre os teores de cinza da madeira controle e aquela degrada por *T.*

*elegans*. O baixo teor médio de cinzas na madeira degradada por *Pycnoporus sanguineus*, é um fator importante para o fator de celulose e papel.

Tabela 8

Parâmetros dos teores químicos da madeira *S. amara* – Aubl (sem tratamento), *S. amara* – Aubl (com ataque de *P. sanguineus*) e *S. amara* – Aubl (com ataque de *T. elegans*).

Experimentos	Cinzas (%)	Extrativos (%)	NaOH 1% (%)
<i>Simaruba amara</i> -Aubl sem tratamento.....	0,56 <sup>(a)</sup>	1,04 <sup>(a)</sup>	3,08 <sup>(a)</sup>
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Pycnoporus sanguineus</i> .....	0,18 <sup>(b)</sup>	0,67 <sup>(b)</sup>	11,34 <sup>(b)</sup>
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Trametes elegans</i> .....	0,33 <sup>(a)</sup>	0,93 <sup>(a)</sup>	8,03 <sup>(a)</sup>

- Letras iguais significam que não houve diferença estatística ao nível de 99% de confiabilidade.

Em relação ao teor de extrativos restantes após os tratamentos (Tabela 8), também ocorreu diferença significativas. Grande quantidade de teor de extrativos na madeira dificultam o processo de cozimento da polpa celulósica, dessa forma, o teor precisa ser o menor possível. O Teste de TUKEY indicou a existência estatística no teor dos extrativos da madeira atacada por *P. sanguineus* em relação aos outros tratamentos indicando que *Pycnoporus sanguineus* degradou significativamente os extrativos contidos na madeira. Não existe diferença estatística ao nível de 99% de probabilidade entre os teores do tratamento controle e aqueles degradados por *T. elegans*.

Um das análises que se destaca no experimento é o teste de NaOH 1%, que indica o nível de ataque por agentes degradadores na madeira (Tabela 8). A intensidade do ataque à madeira do *P. sanguineus* detectado visualmente, é confirmado pelo teor de NaOH 1%. O teste ANOVA indicou que existe diferença ao nível de 99% de probabilidade entre os tratamentos.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA

Ao final do experimento na degradação dos cavacos, os mesmos apresentaram diferentes teores de umidade (Tabela 9).

Tabela 9  
Análise da umidade da madeira

Umidade da madeira %		
<i>Simaruba amara</i> -aubl	Degradada por <i>P. sanguineus</i>	Degradada por <i>T. elegans</i>
183	34	184

O teor médio de umidade nos cavacos atacados por *Pycnoporus sanguineus* foi de 34%, enquanto que para aqueles atacados por *Trametes elegans* o teor de umidade não foi diferente do tratamento “testemunha” ao nível de 99% de probabilidade.

### 4.4 COZIMENTO A SODA (NaOH) E PROPRIEDADES DA POLPA CELULÓSICA

A avaliação das propriedades da polpa celulósica é considerada importante, pois apenas com o conhecimento de alguns parâmetros é possível estimar, com relativa precisão, a necessidade de matéria-prima necessária para se produzir determinada quantidade de polpa celulósica.

Conforme proposto na metodologia, foram desenhados oito cozimentos para obtenção do número Kappa desejado. Dentre estes, o álcali ativo de 28% para cavacos de *S. amara*- aubl sem tratamento, definido como tratamento testemunha e 18% de álcali ativo para cavacos degradados com *P. sanguineus* e *T. elegans*, pois apresentaram características propícias para a produção de papel. Os valores das propriedades do cozimento a Soda (NaOH) com álcali ativo de 28% e 18% são apresentados na Tabela 10.



Tabela 10  
Relação dos parâmetros de controle utilizados nos cozimentos experimentais

Parâmetros de Controle	<i>Simaruba amara</i> – Aubl – sem tratamento	Cavacos com o fungo <i>Pycnoporus</i> <i>sanguineus</i>	Cavacos com o fungo <i>Trametes</i> <i>elegans</i>
Quantidade de cavacos – Base seca.....	1000 kg	802 g	500 g
Álcali Ativo* .....	28%	18%	18%
Relação licor- madeira.....	3,3:1	3,3:1	3,3:1
Temperatura máxima.....	170°C	170°C	170°C
Tempo até temperatura máxima.....	90 min.	90 min.	90 min.
Tempo total.....	3:30 min.	3:30 min.	3:30 min

\* Calculado como NaOH

O material seco utilizado foi definido após secagem dos cavacos, através de retirada de água da madeira em estufa a 105° até peso constante. Água de diluição e água a ser utilizada no cozimento foram definidos de acordo com material seco utilizado, assim como álcali ativo.

As variáveis do processo de deslignificação estão associadas à madeira, bem como o processo produtivo. Na tabela 11, é possível observar o comportamento da madeira de *S. amara*-Aubl não degradada e degradada por *P. sanguineus* e *T. elegans* no processo de deslignificação.

Tabela 11

Relação dos Parâmetros de Controle na Análise do Cozimento a Soda (NaOH) – Polpa celulósica da madeira *S. amara* – Aubl (sem tratamento), *S. amara* – Aubl (com ataque de *P. sanguineus*) e *S. amara* – Aubl (com ataque de *T. elegans*).

Experimentos	Rendimento do material (%)	Rejeitos (g)	Álcali Residual (NaOH) (g/l)
<i>Simaruba amara</i> -Aubl..sem tratamento	40,98 <sup>(a)</sup>	-	14,29
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Pycnoporus sanguíneus</i> .....	48,83 <sup>(b)</sup>	1,25	-
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Trametes elegans</i> .....	48,60 <sup>(c)</sup>	19,10	-

- Letras iguais significam que não houve diferença estatística ao nível de 99% de confiabilidade.

Um importante parâmetro para avaliação da potencialidade da polpa é o rendimento. Em média, o rendimento da polpa celulósica foi maior no tratamento com os fungos.

Os valores para os rejeitos dos testes são 1,25 g para *P. sanguineus* e 19,10 g para *T. elegans*, enquanto que para cavacos sem tratamento (Testemunha) não houve teor de rejeito. Ao comparar o rendimento do material com os rejeitos, observa-se uma pequena discrepância, pois *S. amara* – Aubl sem tratamento apresentando menor rendimento do material, se obteria um maior rejeito, no entanto, não houve nenhum. Enquanto que o rejeito deveria diminuir para a madeira tratada com os fungos.

Para o teor de álcali residual da madeira “testemunha” (*S. amara* – Aubl sem tratamento) apresentou o valor de 14,29 g/m<sup>3</sup>. Por outro lado, *P. sanguineus* e *T. elegans* não apresentaram material necessário para análise, indicando seu consumo pelos fungos no processo de degradação, informação importante, já que o álcali residual não possui alta significância, pois para novamente ser utilizado, passa por uma série de tratamento que exige várias etapas e que torna o processo caro, ou quando a empresa não possui recursos para o tratamento é despejado na natureza.

Tabela 12

Relação dos Parâmetros de Controle na Análise do Cozimento a Soda (NaOH) – Licor Negro da Polpa Celulósica de *S. amara* – Aubl (sem tratamento), *S. amara* – Aubl (com ataque de *P. sanguíneus*) e *S. amara* – Aubl (com ataque de *T. elegans*).

Experimentos	Densidade do licor (g/m <sup>3</sup> )	Viscosidade Dinâmica da pasta (cm <sup>3</sup> /g)	Número Kappa
<i>Simaruba amara</i> -Aubl..sem tratamento	1,14 <sup>(a)</sup>	6,26	28,09 <sup>(a)</sup>
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Pycnoporus sanguíneus</i> .....	1,05 <sup>(a)</sup>	-	36,45 <sup>(b)</sup>
<i>Simaruba amara</i> -Aubl com <i>Trametes elegans</i> .....	1,70 <sup>(b)</sup>	-	37,19 <sup>(a)</sup>

- Letras iguais significam que não houve diferença estatística ao nível de 99% de confiabilidade.

No cozimento da pasta, a densidade do licor é um parâmetro importante. Na madeira tratada com *P. sanguineus* apresentou-se menos denso, com menor teor de materiais orgânicos e inorgânicos, indicando facilidade na produção do papel, se comparado com *T. elegans* cuja densidade do licor foi de 1,70 g/m<sup>3</sup>. Ressalta-se que o Teste de Tukey evidenciou que não existe diferença estatística ao nível de 99% de probabilidade na densidade do licor do tratamento “testemunha” e do tratado com *P. sanguineus*.

No cozimento da pasta a viscosidade dinâmica traduz o grau de degradação (ou despolimerização) da celulose, sendo importante a sua determinação. A madeira sem tratamento fúngico apresentou viscosidade dinâmica em torno de 6,26 cm<sup>3</sup>/g. Não foi possível obter este resultado para pasta tratada com os fungos, pois a polpa não se dissolveu para se determinar a viscosidade.

O número Kappa é um parâmetro decisivo para a indústria de celulose e papel, pois a partir destes serão determinados todos os testes do papel. A madeira sem tratamento (Testemunha) indicou um grau de deslignificação de 28,11% quando comparada com o teor de lignina e materiais orgânicos e inorgânicos em sua composição. Para a madeira tratada por *P. sanguineus* o grau de deslignificação foi de 36,34% e para *T. elegans* a madeira tratada apresentou um grau de

designificação de 37,16%. Não se objetivou alcançar nenhum número kappa. Vale ressaltar que a indústria de celulose e papel utiliza o número Kappa de 20% como sendo ótimo para a polpa celulósica a produção de papéis para a escrita.

#### 4.5 PROPRIEDADES DO PAPEL

A refinação da pasta celulósica é uma das etapas mais importante na formação do papel, exercendo decisiva influência na formação da folha e nas suas propriedades físicas. Conforme proposto na metodologia, esses fatores foram controlados e serviram de base para se estabelecer uma correta relação, comparação e avaliação das propriedades confeccionadas com as polpas produzidas com cavacos de *S. amara*-Aubl sem degradação e com cavacos degradados com *P. sanguineus* e *T. elegans*.

As polpas refinadas foram ensaiadas para que se observasse a influência dos diferentes teores de lignina da madeira sobre suas propriedades, bem como o comportamento das polpas na medida em que aumentava o grau de refino. (Figura 18).

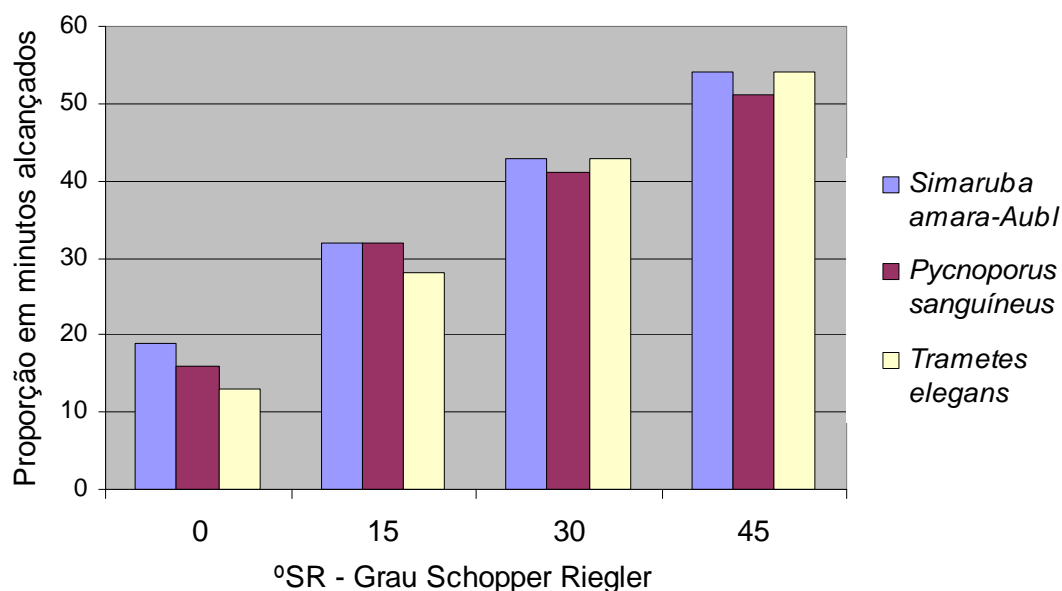


Figura 18: Análise dos Parâmetros de Controle utilizados na refinação da polpa celulósica – Refino Jokro adquiridos na madeira de *S. amara* – Aubl (sem tratamento), *S. amara* – Aubl (com ataque de *P. sanguineus*) e *S. amara* – Aubl (com ataque de *T. elegans*).

Mediante os resultados obtidos, verificou-se que não houve diferença quanto ao consumo de energia para o grau de moagem pré-estabelecido de 45°SR. No entanto, as fibras dos cavacos degradados por *P. sanguineus* mostraram-se mais sensíveis ao refino. Por outro lado, cavacos de *S. amara* – Aubl sem tratamento e cavacos degradados por *T. elegans*, apresentaram grau Schopper Riegler (°SR) semelhantes. Não se chegou a 45°SR exatamente como estabelecido, apenas cavacos de *S. amara* e *T. elegans* aproximaram-se com 43°SR.

#### 4.6 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DO PAPEL

A resistência físico-mecânica é a confirmação definitiva da durabilidade de uma polpa, pois sobre os papéis advindos são aplicados diferentes testes, que correspondem a diferentes forças nas quais os papéis são submetidos no seu uso final. O objetivo proposto foi alcançar um papel de 65 g/m<sup>2</sup>. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13  
Análise dos procedimentos utilizados na avaliação das características físicas do papel

Tempo °SR	Cavacos de <i>S. amara</i> -Aubl sem tratamento -28%	Tempo °SR	Cavacos tratados com <i>P. sanguineus</i> -18%	Tempo °SR	Cavacos tratados com <i>Tramete elegans</i> - 18%
Gramatura g/m <sup>2</sup>					
0' - 19	63,24	0'-16	67,50	0'-13	63,96
15 - 32	<b>65,03</b>	15'-32	66,57	15'-28	63,62
30'-43	62,59	30'-41	66,73	30'-43	<b>64,29</b>
45'-54	63,37	45'-51	<b>66,47</b>	45'-54	63,13

Cavacos da madeira sem tratamento (Testemunha) apresentaram um papel com gramatura de 65,03 g/m<sup>2</sup>, conforme objetivo proposto para gramatura. Cavacos tratados com *Trametes elegans* apresentaram um papel com 64,29 g/m<sup>2</sup>. Enquanto que *Pycnoporus sanguinues* ultrapassou a gramatura pretendida com 66,47 g/m<sup>2</sup>.

Para avaliar o comportamento dos papéis e suas referidas gramaturas foram realizados testes físico-mecânicos no papel produzido pelos três tratamentos com *S. amara* – Aubl (sem tratamento – Testemunha) e cavacos tratados com *P. sanguineus* e *T. elegans*. (Tabela 14).

Tabela 14

Análise das características dos testes físico-mecânicos dos papéis da madeira *S. amara* – Aubl (sem tratamento), *S. amara* – Aubl (com ataque de *P. sanguineus*) e *S. amara* – Aubl (com ataque de *T. elegans*).

Experimento	Espessura (mm)	Tração (N.m/g)	Alongamento (%)	Rasgo (mN)	Ar Gurley (s/100ml)
	Média				
<i>S. amara</i> – Aubl (sem tratamento).....	0,0928	6,28	2,04	40	113,88
°SR.....	32	54	32	32	54
<i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>P. sanguineus</i> ).....	0,1418	6,058	2,21	63,32	63,32
°SR.....	16	51	51	51	51
<i>S. amara</i> – Aubl (com ataque de <i>T. elegans</i> ).....	0,1628	6,171	1,85	27,20	69,12
°SR.....	19	43	43	54	54

°SR – Grau Schopper Riegler

A espessura média do papel produzido a partir de cavacos sem tratamentos (Testemunha) foi de 0,0928 mm com 32°SR de refino, enquanto que para o papel produzidos a partir dos cavacos com tratamento fúngico a média de espessura ficou 0,1418 mm maior no tratamento com *P. sanguineus* com refino de 16°SR e 0,1628 mm maior no tratamento com *T. elegans* com refino de 19°SR. Não houve diferença estatística significativa à 95% de probabilidade na espessura do papel produzido a partir do tratamento com os fungos.

Ressalta-se, por outro lado, que quanto menor for o teor de lignina na polpa, o grau de refino é facilitado e menor é a espessura do papel em função do tempo de refino (figura 19).

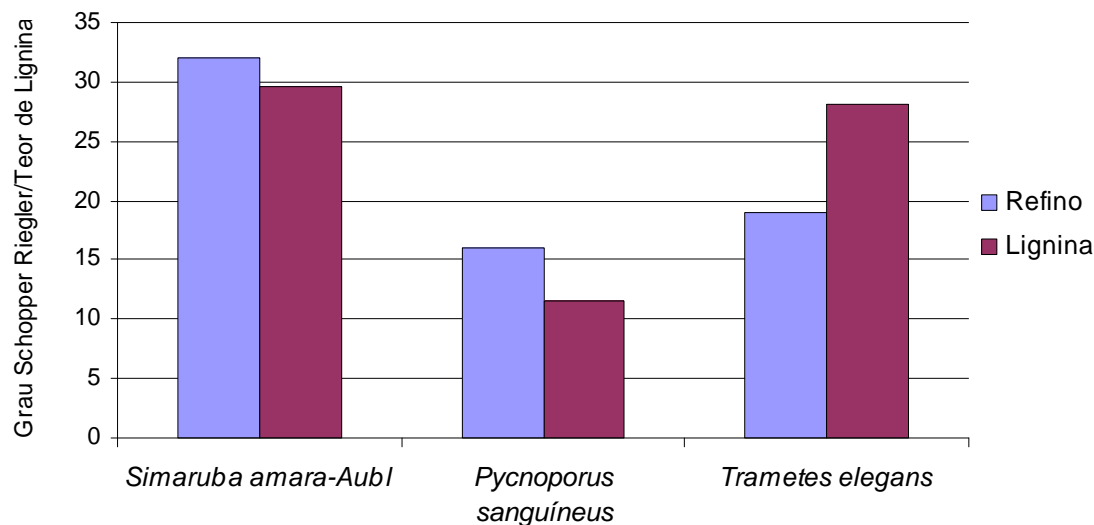


Figura 19: Análise Comparativa do Desempenho das Polpas Refinadas – Refino Jokro, quanto a Lignina contida nas Polpas.

De modo geral a resistência à tração tende a aumentar com o grau de refino da polpa, oriundas de cavacos sem nenhum tratamento fúngico. No caso específico do presente trabalho, o tratamento dos cavacos com fungos mostrou comportamento inverso, onde o tratamento com maior grau de refino apresentou menor resistência a tração do papel. Teste ANOVA, entretanto, evidenciou a nível de 95% de probabilidade que não existe diferença estatística na resistência à tração do papel nos três tratamentos.

Em relação a resistência ao alongamento, esperava-se que fosse o mesmo para os três tratamentos, uma vez que os testes de tração e alongamentos são realizados simultaneamente. Cavacos tratados com *P. sanguineus* apresentou tração de 6,058 N.m/g e maior alongamento 2,21%, enquanto que cavacos não tratados (Testemunha) apresentou maior tração 6,28 N.m/g e alongamento de 2,04% e cavacos tratados com *T. elegans* apresentando tração com valor intermediário, entre os dois testes acima, com 6,171 N.m/g e menor alongamento com 1,85%.

A resistência ao rasgo pode ser afetada devido ao comprimento das fibras e a ligação entre elas. Cavacos degradados por *P. sanguineus* apresentaram maior resistência ao rasgo com média 63,32 mN e refino de 51°SR, enquanto

que cavacos sem tratamento (Testemunha), apresentou 40 mN de resistência ao rasgo com refino de 32°SR e cavacos tratados com *T. elegans* com média de resistência de 27,2 mN e refino de 54°SR.

A figura 20 evidencia o desempenho do papel quanto à resistência ao rasgo. Para esta propriedade o teor de lignina mostrou-se mais significativo do que o grau de refino aplicado.

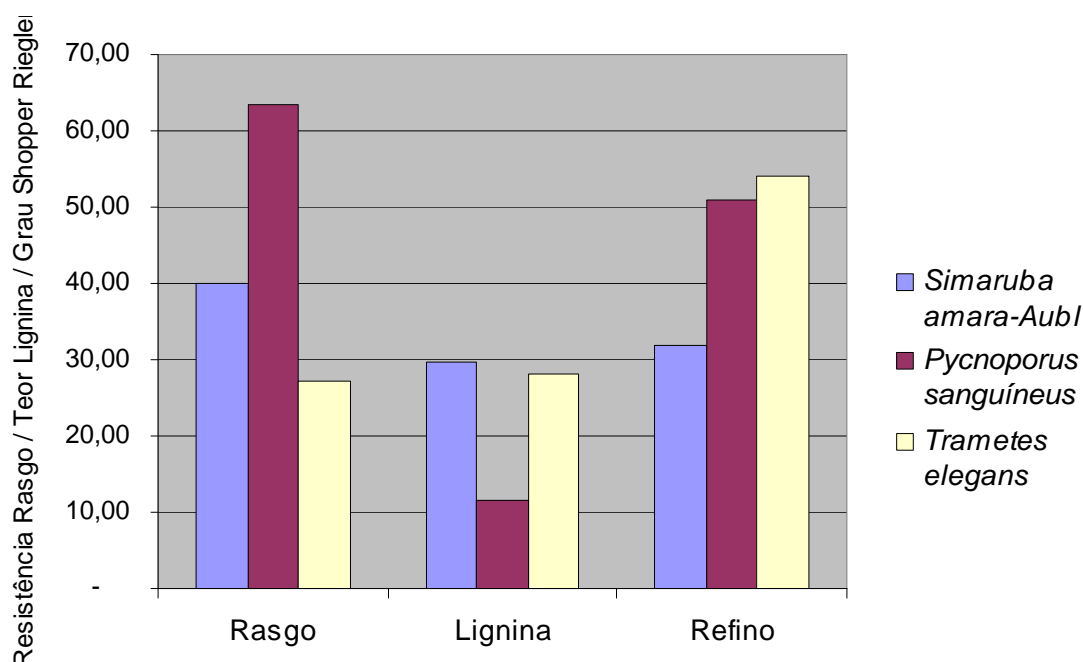


Figura 20: Análise Comparativa do Desempenho das Folhas de Papel, quanto a Resistência ao Rasgo e o teor de Lignina no Papel.

Outro fator que pode influenciar na resistência é a baixa viscosidade, no entanto, ressalta-se que cavacos degradados por *P. sanguineus* e *T. elegans* não apresentaram resultados para viscosidade, sendo um fator a ser considerado para o alto valor de resistência do papel confeccionado a partir da polpa degradada por *P. sanguineus*.

A resistência ao ar Gurley é um teste de grande relevância para a indústria de celulose e papel, pois verifica a diferença de pressão ao ar na folha de papel. Para cavacos não degradados (Testemunha) a média de ar está em torno de 113,88 s/100ml e refino de 54°SR, para cavacos degradados por *P. sanguineus* está em



torno de 63,32 s/100ml com refino de 51°SR e cavacos degradados por *T. elegans* com 69,12 s/100ml e refino de 54°SR. (Figura 21).

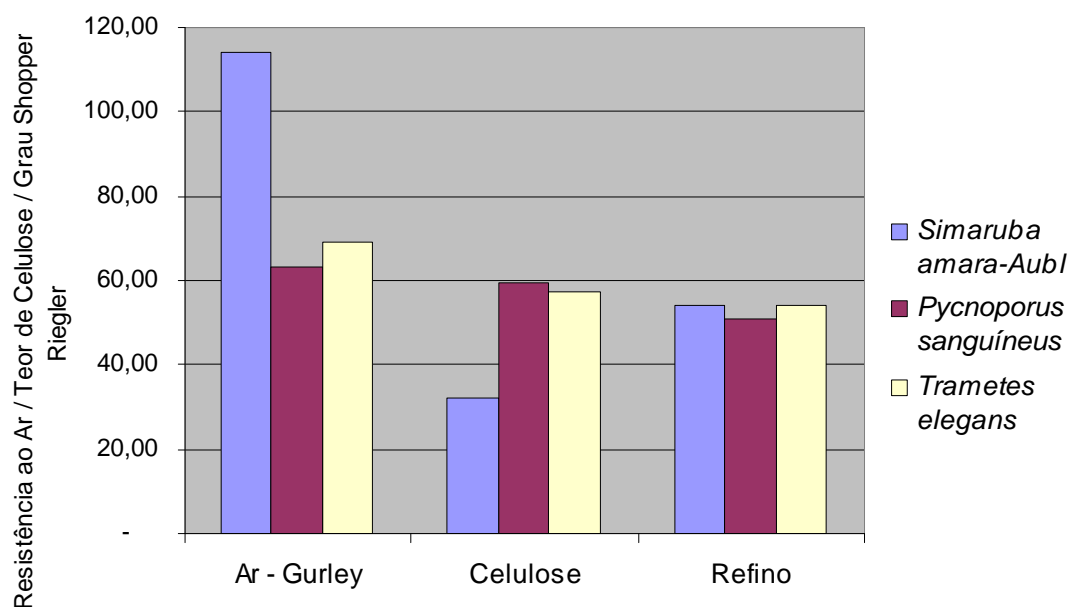


Figura 21: Análise Comparativa do Desempenho das Folhas de Papel, quanto ao ar Gurley, Refino e Celulose nas Folhas confeccionadas.

Cavacos não degradados (Testemunha) deixaram atravessar uma maior quantidade de ar em folhas de papel confeccionadas com sua polpa, com índice de 113,88 s/100ml. Enquanto que cavacos degradados por *P. sanguineus* com média de 63,32 s/100ml e *T. elegans* com 69,12 s/100ml apresentaram uma menor quantidade de ar. Sugere-se que o teor de celulose possa ter influenciado, pois *P. sanguineus* e *T. elegans* apresentaram maior teor de celulose quando comparados com cavacos não degradados (Testemunha), assim apresentaram maior resistência ao ar.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 CRESCIMENTO DOS FUNGOS

*Pycnonporus sanguineus* quando inoculado em cavacos de *Simaruba amara* – Aubl apresentou a partir do oitavo dia uma intensa coloração alaranjada com aspecto da madeira amolecida, quando comparado com *Trametes elegans*. Wille (2007) cita em seus experimentos, características relevantes de comparação quando menciona que *Pycnonporus sanguineus* apresentou maior densidade micelial no substrato de *Acacia mearnsii* do que os demais tratamentos, observados através da intensidade do micélio, aos 20 e 30 dias de incubação, tornando inclusive os cavacos mais claros, alaranjados e mantendo estas características por mais tempo que os demais. Essa observação é efetivada quando Martinez et al. (2005) citam que o padrão de decomposição da madeira pode ser identificado por aspectos macroscópicos e microscópicos. Geralmente alterações químicas na decomposição da madeira também são observadas, após degradação pelos fungos.

Um dos fatores observados para a intensa colonização nas condições proporcionadas foi o controle de temperatura propicia para a espécie. Neste contexto, Ferreira (2005) destaca que fungos amazônicos pertencentes a classe dos basidiomicetos mostram um padrão de crescimento crescente com o aumento da temperatura o que confirma a tendência já amplamente documentada na literatura científica da extrema importância desse parâmetro da determinação da quantidade e taxa de crescimento de um organismo. O aumento da temperatura em geral aumenta a atividade enzimática, provocando colisões entre enzimas e substrato, resultando na formação de mais produto.

Segundo Ferraz et al. (2005), a velocidade de crescimento dos fungos apresenta certa variabilidade numa mesma condição de cultivo, daí a necessidade de se conduzir um experimento em condições padronizadas.

*Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* são fungos basidiomicetos, classificados como fungos de podridão branca, capazes de degradar seletivamente a lignina. Estudos sobre fungos desta classificação para uso na biopolpação biobranqueamento e tratamento de efluentes têm sido descrito por vários autores no qual destacam seu poder de degradação, entre eles *Pycnoporus sanguineus* (WILLE, 2007).

No presente estudo *Trametes elegans* apresentou degradação lenta dos cavacos e pouca resistência aos contaminantes. De acordo com Donini (2006) a fase de miceliação do substrato possui uma importância fundamental para o crescimento dos basidiomicetos, pois quanto mais rápido ocorrer seu desenvolvimento menores são os riscos de ocorrerem contaminações.

*Pycnoporus sanguineus*, por outro lado, apresentou intensa degradação, não oportunizando crescimento aos contaminantes. Wille (2007) em experimentos desenvolvidos com cepa de *Pycnoporus sanguineus* e *Ceriporiopsis subvermispora* mostrou que o isolado de *Pycnoporus sanguineus* tem crescimento intenso similar à cepa amazônica do presente estudo, apresentando assim, características idênticas nos experimentos comparados.

Embora não sendo determinada no presente experimento podemos inferir que a ação enzimática de *Pycnoporus sanguineus* atuou mais eficientemente na extração de nutrientes da madeira, favorecendo seu crescimento e diminuindo a ação de contaminantes, quando comparado com *Trametes elegans*, sugerindo-se seu grande potencial no processo da biopolpação. Tal assertiva concorda com Wille (2007) que enfatiza em seu trabalho o potencial de *Pycnoporus sanguineus* na biopolpação em função da superação de dois fatores limitantes à biopolpação: a produção de inóculo em larga escala e a possibilidade de aumento na eficiência pela menor ocorrência de contaminação por fungos competidores.

## 5.2 ANÁLISE QUÍMICA DOS COMPONENTES

Na análise química da madeira, os resultados dos cavacos de *S. amara* – Aubl, serviram de parâmetro para verificar a diferença do teor químico dos componentes, quando comparados com cavacos tratados com os fungos. Nesse sentido, Schimidt et al. (2003) mencionam que os tratamentos biológicos estão baseados na inoculação de microorganismos em substratos onde atuam degradando preferencialmente a lignina sem provocar perdas consideráveis de celulose e hemicelulose. Estes tratamentos são ambientalmente seguros, pois não utilizam substâncias químicas.

A madeira de *S. amara*- Aubl, tratada com *Trametes elegans* quando comparada àquelas sem tratamento não apresentou diferença significativa na degradação da lignina. Wille (2007), por sua vez, enfatiza que como qualquer determinação gravimétrica a determinação da lignina está sujeita a diversas interferências operacionais, como àquelas referentes ao preparo da amostra, ou relacionada à própria condição ambiental de desenvolvimento pelo fungo.

Ferraz (2005) cita a degradação da lignina por fungos como um fator importante para uso no processo de biopolpação. Neste contexto, *Pycnoporus sanguineus* apresentou significativa degradação a lignina de *S. amara* – Aubl sem interferência de contaminantes, apresentando características satisfatórias para o processo de biopolpação.

No que diz respeito ao teor de celulose Silva (2006), menciona que o cozimento para polpação utilizando reagentes, preserva a celulose, e sua qualidade é avaliada basicamente pelo teor de lignina residual (número kappa), grau de degradação dos carboidratos (viscosidade) e propriedades físico-mecânicas das folhas formadas. Os resultados da pesquisa aprovam tal afirmação uma vez que o teor de celulose bruta e corrigida no processo da polpação, utilizando reagentes (tratamento controle) e no tratamento enzimático (utilizando fungos), manteve-se constante.

*Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* conservaram a celulose apresentando valores significativos, destacando-se, pois não foi utilizado reagentes químicos, e sim pelo processo de biodegradação. Neste contexto, Ferraz (2005), cita que a biodegradação dos materiais lignocelulósicos por fungos é atribuída á ação de uma série de enzimas e compostos de baixa massa molar extracelulares. A degradação ocorre necessariamente de forma extracelular, uma vez que os componentes lignocelulósicos devem ser inicialmente despolimerizados até compostos menores que são susceptíveis ao transporte pela parede celular e ao metabolismo intracelular dos fungos envolvidos. Do ponto de vista microscópico, observa-se que a ação dos fungos degradadores de materiais lignocelulósicos ocorre por meio da penetração de suas hifas no lúmen das células vegetais. As hifas aí instaladas produzem uma grande diversidade de metabólitos extracelulares que, então envolve a remoção de lignina e polioses sem a simultânea erosão da parede celular vegetal. Nesses casos, a parede celular, apesar de degradada, mantém sua forma original.

Para o teor de pentosanas as diferenças não foram extremamente significativas, sendo que *Trametes elegans* se destacou na conservação deste componente, no período de tratamento considerado. Corrêa e Ribeiro (1972) citam em seus experimentos com a madeira *S. amara*-Aubl um teor de pentosanas de 11,48% a 12,2%. No presente experimento foi encontrado um teor de pentosanas 11,48% para a amostra controle de *S. Amara-Aubl*. A mesma faixa foi encontrada com a madeira biodegradada. O referido autor menciona que o percentual de pentosanas em seus experimentos foi baixo, não chegando, contudo a ser um grande inconveniente, considerando-se que a soma de lignina mais extrativos sejam inferior à soma de pentosanas mais celuloses corrigidas, o que também constatou-se nos experimentos da pesquisa em questão.

Em relação ao teor de cinzas o valor médio encontrado os tratamentos foi em torno de 0,18% para *P. sanguineus*, 0,33% para *Trametes elegans* e 0,56% para o tratamento sem degradação (Testemunha). Corrêa e Ribeiro (1972) citam que o teor de cinzas contém muitas vezes partículas de carvão residual difíceis de queimar. Portanto, é imprescindível que apresente o menor percentual possível.

Para o teste de NaOH 1%, *Pycnoporus sanguineus* demonstrou maior poder de degradação na madeira, confirmando os resultados até aqui apresentados, pois apresentou maior degradação da lignina, quando comparado *Trametes elegans*. Corrêa e Ribeiro (1972) ao comparar *S. amara-Aubl* com *E. urograndis*, verificou que este apresentou maior fragilidade nos teores de NaOH 1% indicativo ao ataque das polpas e madeiras por organismos xilófagos. Justifica que *S. amara-Aubl* sendo nativa e habilitada ao seu ecossistema, apresentou mecanismos de proteção superior a *E. urograndis*, que é uma exótica de reflorestamento, porém, sem mecanismo de defesa. Discorda-se em termos dos autores, uma vez que no referido experimento, a madeira *S. amara-Aubl* foi severamente atacada por *Pycnoporus sanguineus*, e, portanto, pode-se afirmar que essa biodegradação pode estar muito mais em função do “pool” de enzimas do que necessariamente mecanismos de defesa.

### 5.3 COZIMENTO – POLPA CELULÓSICA

Levando em consideração a deslignificação de *S. amara-Aubl* por *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans*, os teores de álcali ativo ficaram nas seguintes proporções: *S. amara-Aubl* 28%, *P. sanguineus* 18% e *T. elegans* 18%. Nesse sentido, Scott et al. (1995), enfatizam que a hipótese de que o tratamento fúngico seja benéfico em vários sentidos, baseia-se na possibilidade de redução do tempo de cozimento e conseqüentemente a energia requerida para polpação. A demanda química também pode ser reduzida devido a degradação prévia da lignina pelo fungo.

O processo utilizado foi o processo soda, sendo pouco utilizado pela indústria de celulose e papel. Este apresenta desvantagem de baixos rendimentos e qualidade inferior da polpa celulósica em relação ao processo kraft. Estas desvantagens são atribuídas ao tempo de deslignificação excessivamente longa e altas concentrações de soda, necessariamente para a produção de polpas que possam ser branqueadas. Porém, esse processo seria uma excelente solução de substituição ao kraft, caso conseguissem melhorias na taxa de deslignificação, no rendimento e na qualidade da polpa através da biodegradação por fungos lignocelulósicos.

No presente trabalho, os testes para a escolha dos álcalis foram aperfeiçoados através do refino da polpa. Para *Simaruba amara-Aubl* sem tratamento foram utilizados 28% de álcali ativo. No entanto, quando pastas obtidas pela biodegradação de *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* com álcali ativo de 28% foram refinadas, apresentaram degradação na pasta. Assim, concluiu-se que se os fungos já haviam degradado um percentual de lignina, dessa forma, seria relevante diminuir o teor de álcali ativo de 28% para 18%, cuja influência será observada nos testes físico-mecânicos do papel. Nesse contexto, Wille (2007) concretiza essa observação, quando cita que as polpas biodegradadas previamente geram uma redução na quantidade de reagentes necessárias para polpação, podendo reduzir o tempo de cozimento, melhorando a qualidade da polpa e reduzindo o consumo de energia.

A polpa obtida pela biodegradação da madeira pelos fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* destacaram-se no teor de rendimento com 48,83% e 48,60% respectivamente. Corrêa e Ribeiro (1972), no entanto, mencionam em seu trabalho com *S. amara* –Aubl um rendimento em torno de 43,25%, e destacam que este teor é um pouco inferior aos das folhosas papeleiras, mas não chega a ser um inconveniente. Ressalta-se, que o cozimento utilizado pelos autores foi kraft, sendo caracterizado como um potente deslignificante. No entanto, no presente experimento, a polpa tratada com fungos apresentou rendimentos semelhantes, sendo processada com o cozimento a Soda (NaOH).

#### **5.4 PROPRIEDADES DO PAPEL**

As polpas dos três tratamentos foram refinadas e não alcançaram exatamente 45°SR necessário para um refino de qualidade, estabelecido pela indústria de celulose e papel. No entanto, para os três experimentos não houve discrepância de valores estando os graus em torno de 31°SR a 54°SR. Nesse sentido, Corrêa e Ribeiro (1972) destacam que nos testes de refino com *S. amara* – Aubl não houve nenhum inconveniente, obtendo-se facilmente 40°SR com apenas quatro passagens, de acordo com sua metodologia aplicada. Mencionam que para este grau de refino as características físico-mecânicas foram satisfatórias.

A gramatura objetivada no decorrer do estudo para os testes físico-mecânico foi de  $65\text{g/m}^2$ . Apenas a polpa sem tratamento (testemunha) apresentou a gramatura especificada. A polpa tratada com *Trametes elegans* aproximou-se com  $64,29\text{g/m}^2$  e *Pycnoporus sanguineus* ultrapassou estes valores com  $66,47\text{g/m}^2$ . Rodrigues (2008) em seus experimentos produziu papel de fibras de açaí refinadas com gramatura a  $60 \pm 2\text{g/m}^2$ , de quatro testes apenas um teste ultrapassou a característica desejada. O autor menciona que a gramatura é determinada por métodos de ensaios normalizados, os quais afetam a maioria das propriedades principalmente as mecânicas e as ópticas.

Corrêa e Ribeiro (1972) em experimentos com *S. amara* –Aubl produziram papel com gramatura de  $60,5\text{g/m}^2$  a  $30^\circ\text{SR}$ , enquanto que no estudo em questão, produziu-se um papel com gramatura de  $65,03\text{g/m}^2$  a  $32^\circ\text{SR}$  de *S. amara*-Aubl sem tratamento (Testemunha). É importante enfatizar a diferença do cozimento entre os experimentos e o teor de álcali utilizado. O autor não faz nenhuma alusão a respeito da gramatura, apenas menciona que as características do papel com a referida gramatura é satisfatória.

Em relação à espessura do papel, Rodrigues (2008) destaca que a mesma é uma propriedade de grande importância na fabricação do papel, cartão e papel ondulado, pois, além de contribuir para a caracterização do produto em si, fornece dados que permitem um melhor acompanhamento e controle dos processos de produção e consumo.

O papel obtido no presente experimento, a partir da madeira de *S. amara* –Aubl sem tratamento (Testemunha) apresentou espessura média em torno de  $0,0928\text{mm}$ . Àquele papel obtido através do tratamento com fungos apresentou espessura de  $0,1418\text{mm}$  e  $0,1628\text{mm}$  para *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* respectivamente. De acordo com IPT (1988-b), a espessura é afetada pela composição fibrosa, grau de refino entre outros fatores e afeta as propriedades mecânicas e ópticas do papel, influenciando fortemente nas características e no desempenho dos papéis, além de possuir grande importância em papéis para impressão, embalagens e outros tipos. Com relação ao refino, tal assertiva pode ser confirmada no experimento em questão, quando é observado que *S. amara*-Aubl



apresentou um papel com espessura a 0,0928 mm a 32°SR, ou seja, apresentou um papel mais fino com um processo de refino maior que os outros tratamentos.

Coelho (2006) ao produzir papéis pelo processo químico a partir da espécie madeireira Tauari (*Carianiana micrantha*), concluiu que a espessura do papel diminuiu em função do tempo de refino, obtendo espessura para esta espécie em torno de 0,112 mm a 0,157 mm. Valores próximos àqueles encontrados no tratamento com *Pycnopus sanguineus* que foi 0,1418 mm.

Na resistência à tração os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si, ao nível de 95% de probabilidade. Corrêa e Ribeiro (1972), analisando as características milimétricas e anatômicas de *S. amara* – Aubl destacam que o comprimento máximo, médio e mínimo das fibras são 1,960 mm. A largura média 0,010 mm. Os vasos apresentaram um comprimento 0,50 e largura de 0,24 mm. Essas medidas resultam em um Poder Feltrante de 64,7 mm para fibra de Marupá. Nesse conjunto, a espécie tem fibras curtas e bastantes finas, assim com o Poder Feltrante elevado, os papéis obtidos desta essência apresentarão boa características quanto à tração e ao rasgo.

Campos et al. (2007) ao desenvolverem experimentos com eucaliptos para fabricação de papéis para impressão alcançou um índice de tração de 6,92 N.m/g a 40°SR, com as pastas celulósicas branqueadas e disponíveis no mercado. No experimento em questão *S. amara* – Aubl sem tratamento (Testemunha) apresentou índice de tração de 6,28 N.m/g a 54°SR, um índice aproximado de tração entre as polpas dos tratamentos com fungos.

Segundo IPT (1988-b), o alongamento é definido como a formação máxima que apresenta um corpo de prova no momento de sua ruptura, sendo determinado simultaneamente com a tração no momento da ruptura. Assim, interpreta-se que os melhores índices de alongamentos são equivalentes a maior resistência a tração. No experimento em questão o tratamento com *Pycnopus sanguineus* apresentou menor tração, no entanto apresentou maior alongamento, enquanto que a madeira sem tratamento *S. amara*-Aubl (Testemunha) e àquela biodegradada por *Trametes elegans* apresentaram alongamento similares.

Quando os tratamentos foram comparados com experimentos de Campos et al. (2007), onde em seus experimentos utilizaram eucaliptos, o índice de alongamento foi de 9,97% superior ao índice de tração com 6,92 N.m/g a 40°SR. Tais resultados não corroboram com o que menciona o IPT (1988-b), sendo um importante fator a ser estudado em pesquisas futuras.

Quanto à resistência ao rasgo o papel produzidos a partir da polpa tratada com *Pycnoporus sanguineus* apresentou maior resistência ao rasgo maior consumo de energia a 54°SR. Corrêa e Ribeiro (1972) destacam que o Marupá tem fibras curtas, mas bastante finas e com um Poder Feltrante elevado, resultando em boas características para resistência ao rasgo, em contra partida os valores de resistência ao rasgo são fortemente influenciadas pelo comprimento da fibra e a ligação entre elas.

O comprimento da fibra é de fundamental importância para a resistência ao rasgo, mas a espessura da parede também é importante pela sua modificação durante a refinação. Klock (2002) observou que somente o comprimento da fibra de *Pinus taeda*, sem refinação não foi suficiente para suprir resistência ao rasgo, e após 30 minutos de refinação houve uma ascendência grande a essa resistência. Tal fato provavelmente decorra no estágio da moagem, o trabalho de fricção no arrancamento das fibras aumente em decorrência de um maior enovelamento causado por um aumento da interligação das fibras no momento do refino (IPT 1988-b).

Outro aspecto importante do papel, principalmente para aqueles utilizados para a impressão, diz respeito a resistência ao ar. Segundo Rossi Filho (2007), a resistência ao ar afeta a absorção do veículo da tinta. Na impressão em máquinas rotativas, é necessário que a resistência ao ar seja baixa para proporcionar baixa penetração do solvente e rápido assentamento da tinta para evitar decalque e riscos na impressão. Outras aplicações requerem papéis menos porosos para evitar penetração excessiva e atravessamento da tinta.

Papéis produzidos com polpas biodegradadas por *Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* apresentaram maior resistência ao ar quando comparados com

aqueles sem tratamentos com fungos *S. amara* – Aubl (Testemunha). Supõe-se que essa diferença esteja relacionada com o percentual de celulose contidas nos experimentos. Campos et al. (2007), enfatizam que os níveis de 40°SR a 55°SR para polpas de eucalipto brasileiras apresentaram maiores valores de resistência ao ar. O referido autor enfatiza um dado importante que pode ter influenciado esse estudo, é o número inicial de fibras por grama, tanto como o corte ou sem corte por causa da maior concentração fibrosa. Somadas a isso, a evolução do refino e a geração de fragmentos de fibras e colapsamento de fibras de paredes mais finas propiciaram a formação de folhas feitas com base nas pastas celulósicas brasileiras, mais fechadas do que as que usaram pastas celulósicas internacionais.

## CONCLUSÃO

O processo da biopolpação com fungos amazônicos pode ser considerado um processo viável, simples, econômico e prático além de proporcionar mudanças econômicas e ambientais.

*Pycnoporus sanguineus* é mais competitivo em relação à colonização do substrato, quando comparado com *Trametes elegans*. Apresentando-se superior aos contaminantes.

A ação enzimática de *Pycnoporus sanguineus* atuou mais eficientemente na extração da lignina de *Simaruba amara*-Aubl, mantendo intacto o teor de celulose e pentosanas, quando comparado a *Trametes elegans*.

*Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans*, apresentaram potencial em degradar cinzas e extrativos, constituintes que prejudicam a produção de uma polpa de qualidade.

*Pycnoporus sanguineus* e *Trametes elegans* concretizaram o estudo quando foi necessário diminuir o percentual do álcali de 28% (controle) para 18% para os cavacos degradados pelos fungos.

Apenas *Simaruba amara* – Aubl alcançou a gramatura objetivada, destacando-se nos testes de espessura e tração. No entanto, *Pycnoporus sanguineus* apresentou melhores resultados para o índice dos testes de alongamento, rasgo e ar – Gurley, enquanto que *Trametes elegans* não obteve resultados significantes nos referidos testes.

Os resultados indicam o potencial do fungo amazônico *Pycnoporus sanguineus* para o processo da biopolpação, com suas respectivas características, no entanto, a espécie *Simaruba amara* – Aubl serviu apenas como controle, sendo necessário serem testadas outras espécies com outros tipos de cozimento.

## REFERÊNCIAS

ADLER, E. **Lignin Chemistry - Past, Present and Future wood. Science Technology.** n. 11. p. 169-218. Atlanta: TAPPI Press, 1977.

AKHTAR, M.; ATTRIDGE, M. C. **Biomechanical pulping of loblolly pine with different strains of the white-rot fungus *ceriporiopsis subvermispora*. Tappi Journal.** Atlanta, 22 Febr. 1998. p. 105-109.

ALEXOPOULUS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology.** New York: John Wiley & Sons, 1996.

ARO N.; PAKULA T.; PENTILLA M. **“Transcriptional regulation of plant cell wall Biotechnology.** n. 63. New York: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Manual de normas técnicas para pasta celulósica e papel.** São Paulo: IPT/ABTCP, 2001.

BARRICHELO, L.E.G. & BRITTO, J.O. - Química da Madeira - **Manual Didático** - Centro Acadêmico “Luiz de Queiróz”. USP – Piracicaba: 1989.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da Madeira de um clone de *Eucaliptus saligna* Smith. Sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** Santa Maria. 2003. 110 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BIERMANN, C. J. **Handbook of Pulping and Papermaking**. 2 ed. 754 p. San Diego: Academic Press, 1996.

BLANCHETTE, R.A. **Rvaluating isolates of *Phanerochaete chrysosporium* and *Ceriporiopsis subnervispora* for use in biological pulping processes.** **Holzforchung**. V. 46, p. 109-115, 1992.

BODIG, J. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. 576 p. New York: Krieger Publishing Company, 1993.

BONONI, V. L. R.. **Biodegradação de organoclorados no solo por basidiomicetos lignocelulósicos.** p .243-268. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997.

BOOMINATHAN, K. e REDDY, A. **Fungal Degradation of lignin: Biotechnological Applications.** Vol. 4. p. 795-798. N. York: 1992.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e papel. **Reciclagem com Qualidade. Jornal do Comércio.** Ano XIII, São Paulo. 14 agosto., 2007.

CAMPOS, E. S.; MARTINS, M.A.L.; FOELKEL, C.E.B.; FRIZZO, S.M.B. **Seleção de Critérios para a especificação de pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos na fabricação de papéis para impressão “offset”.** *Ciência Florestal*. Santa Maria. V. 10. p. 57-75, jun., 2007.

CAPELARI, M. **Atividade biodregadora e cultivo de três espécies comestíveis de basidiomicetos: *Pleurotus sp.* E *Agrocybe perfecta* (Rick) Sing.** 1996. 154p. Tese (Doutorado em Botânica)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo: 1996.

CASEY, J.P. **Pulpa y papel, química e tecnología química.** ed.1, v.3, 659 p. México: Editorial Limusa S.A., 1991.

CASTRO e SILVA, A. **Micromorfologia da degradação de madeira da espécie amazônica *Hura crepitans* L. por fungos lignolíticos pertencentes a classe *Hymenomyces*.** 1996. 90f. Tese (Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio INPA/UFAM). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus.

CASTRO e SILVA, A; SILVA, M.B.C. **Influência da anatomia e química nas propriedades da madeira.** Manaus: Publicação CEFET/UTAM. 1991.17p.

COELHO, L. M. **Avaliação do Processo Soda para Espécie Madeireira Amazônica.** Manaus. 2006. Relatório de Estágio Supervisionado. Universidade do Federal do Amazonas, Manaus.

CORRÊA, A. A. **A polpa Química de Eucalipto *urograndis* contra a da *Andiropa* e *Marupá*: um estudo comparativo.** In.: Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. n. 30. Manaus: Acta Amazônia, 1997.

CORRÊA, A.C.; RIBEIRO, E.B.P. **O Marupá como essência papeleira de reflorestamento Amazônico.** *Acta Amazônica*. Manaus. Ano III. n. 3. p. 83-91, dez., 1972.

D'ALMEIDA, M.L.O. **“Composição Química dos Materiais” em Celulose e Papel – Tecnologia da Fabricação de pasta Celulósica.** Vol. 1. Ed. IPT. São Paulo, 1982. p. 42-54.

DONINI, L.P. **Cultivo de Shimeji [*Pleorutus ostreatus* (Jacq.: Rf) Kummer] em Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) suplementado com farelos.** 2006, 80f. Dissertação. (Programa de Pós graduação em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DUEÑAS, R. S. **Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel.** 1997, 1 ed. 293 p. Dissertação. (Programa de Pós graduação em Engenharia) Universidade de Guadalajara, Guadalajara.



EGGERT, C., TEMP, U., DEAN, J. F.; ERIKSSON, K. E. L. **A fungal metabolite mediates degradation of non-phenolic lignin and synthetic lignin by laccase. FEBS Letters.** V. 391, p. 144-148, 1996.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.** 613 p. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FERRAZ, A. L. Fungos Decompositores de Materiais Lignocelulósicos. in: **Fungos: uma introdução a biologia, bioquímica e biotecnologia** /Orgs. Elisa Espósito e João Lúcio de Azevedo. Caxias do Sul: Educs. 2004.

FERRAZ, A. GUERRA A.; MENDONÇA, R.; PAVAN, P.C. Biomechanical pulping of *Eucalyptus* Wood chips. **Journal of Wood Chemistry and Technology.** v. 7. 2005.

FERRAZ, A.; MASARIN, F.; VICENT, M.P.; PAVAN, P.C. **Aplicações da biodegradação de Madeira por Basidiomycetes na produção de celulose e papel.** In.: Congresso Nacional de Botânica. n. 57. p. 244-247. Gramado. Sociedade Botânica do Brasil: Porto Alegre: 2006.

FERREIRA, Francisca da Silva. **Crescimento e produção enzimática dos fungos deterioradores de madeira *Pycnoporus sanguineus* (L.: Fr) Murr e *Trametes*.** 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais da Amazônia). Universidade Estadual do Amazonas, Manaus.

FIDALGO, O. FIDALGO, Mepk. **Revisão de Fungi Saopaulensis.** Arquivo do Museu Nacional, n. 43. p. 157 – 188. 1957.

FURASTÉ, P. A. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico: Elaboração e Formatação.** Explicitação das Normas da ABNT. 14 ed. Porto Alegre: [s.n], 2006.

GOMID, J.L.; OLIVEIRA, R.C. **Eficiência da antraquinona na polpação alcalina de eucalipto. Revista Árvore.** v. 3, n. 2, p. 208-220. Viçosa: 2000.

HAMMEL, KE. **Extracellular free radical biochemistry of ligninolytic fungi. New J. Chem.** New Jersey. n. 20. abril, 1996.

HATAKKA, A. **Lignin-Modifying Enzymes from Selected White-Rot Fungi: Production and Role in Lignin Degradation.** FEMS Microbiological Reviews. Finland. v. 13. 17 jan. 1994.

HIGUCHI, T. **Lignin biochemistry: Biosynthesis and biodegradation.** n. 1. v. 24. Berlin: Springer Link, 1990.

HUNTER, D. **Papermaking: The history and technique of an ancient craft.** Courier Dove Publications, 672 p. New York: 1978.

IPT. **Celulose e Papel.** Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. v. 1. 2 ed. São Paulo: IPT, 1988a.

IPT. **Celulose e Papel.** Tecnologia de fabricação de papel. v. 2. 2 ed. São Paulo: IPT, 1988b.

KAPICH, A. N.; PRIOR, B. A.; LUNDELL, A.; HATAKKA, A. A. **A rapid method to quality pro-oxidant activity in cultures of wood decaying white-rot fungi.** **Journal of Microbiological Methods.** New York. v. 61. p. 261-271, 2005.

KARUNANANDA, K & VARGAS, G.A. Colonization of crop residues by White rot fungi: cell wall monosaccharides, phenolic acids, ruminal fermentation characteristics and digestibility of cell wall fiber components in vitro. **Animal feed Science Technology.** n. 1 - 4. v. 63. p. 273-288. Amsterdam: 1996.

KIRK, T. K; FARRELL, R.L. Enzimática “**combustion**”: **The microbial degradation of lignin.** p. 465-505. Ann. Rev. Microbiol. n. 41. 1987.

KLINE, J.E. Paper and paperboard, manufacturing and converting fundamental. 2 ed. 245 p . São Francisco: Miller Freeman, 1991.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.** 2000. 291 p. Curitiba. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Paraná.

KOCUREK M. J., KOURIS M. **Control and Control Systems: Quality Testing, Environmental, Corrosion, Electrical Systems. Tappi Journal.** Atlanta, 01 jan. 2005. p. 105-109.

LEPAGE, E. S. I.; 1986. **Manual de Preservação de Madeiras.** Vol. I. São Paulo: IPT, 1986.

LEVY, J.F. **The natural history of the degradation of wood.** *Phil Trans. R. Soc. Lond.* p. 423-433. **A 321**, Londres: 1987.

LOMASCOLO, A.; CAYOL, J.L.; ROCHE, M. GUO, L.; ROBERT, J. L.; RECORD, E.; LESAGE M. L.; OLLIVEIRA, B.; SIGOILLOT, J.C.; ASTHERR, M. **Molecular clustering of *Pycnoporus* strains from various geographic origins and isolation of monacarytioc strains for lacase hyper production.** *Mycology Research.* n. 106. p. 1193-1203, out., 2002.

MARK, R.E.; HABEGER, C.C.; BORCH,J. **Handbook of physical testing of paper.** v.1. 2 ed. 1040 p. Atlanta: Marcel Dekker, 2001.

MARTÍNEZ, A. T. **Biodegradacion of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin.** *Internacional Microbiology.*v. 8. p. 195-204, 2005.

MENDONÇA, R. M. T.**Avaliação de um pré-tratamento biológico (biopolpação) para obtenção de polpas químicas de alto rendimento.** 2002. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas). Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOORE, W.E.; EFLAND, M. **Chemical composition of fast-growth juvenile wood and slow-growth mature sycamore and cottonwood.** n. 57. p. 96-98. Atlanta: TAPPI Press, 1974.

MORAIS, R. L. C.; BENACHOR, M.; DUARTE-COELHO, A. C. **Estudo da Caracterização Reológica do Licor Negro do Processo Soda / *Bambusa vulgaris Schrad* e do efeito da Adição do Peróxido de Hidrogênio.** UFP. São Paulo: 2007.

ÖNNERUD, H., ZHANG, L., GELLERSTEDT, G. & HENRIKSSON, G. **Polymerization of Monolignols by Redox Shuttle-Mediated Enzymatic.** In: *Annals of Botany*. 673-695p. May 1, 2002.

ORTH A. B.; TIEN, M. "Biotechnology of lignin biodegradation". In: Kuck (ed). *The mycota II. Genetics and biotechnology*". Springer-Verlag. p. 289-302. Berlin Heidelberg. 1995.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4 ed. 722 p. New York: Mc Graw Hill, 1980.

PUTZKE, J.; PUTZKE, M.T.L. **Os Reinos dos Fungos.** Vol. 1. 2 ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2004.

REZENDE. A. A. P.; MATOS, A. T.; SILVA, C. M. **Utilização do efluente de indústria de celulose e papel em imigração – Uma revisão.** In.: **Congresso Internacional de Celulose e Papel.** São Paulo: ABTCP – TAPPI, 2000.

RODRIGUES, A. M. L. **Ensaio físico-mecânicos em papéis produzidos com fibras vegetais e aparas de papel.** 2008. 74 f. Monografia. (Engenheira Florestal). Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.

RODRIGUEZ, J. **Estudo do sistema ligninolítico do ascomiceto *Chrysonilia sitophila*.** Tese. (Doutorado em Química). Instituto de Química, UNICAMP-SP, São Paulo: 1990.

ROSSI FILHO, S. **Impressões offset: soluções práticas.** Colégio de Formação Profissional. 127 p. Porto Alegre: SENAI de Artes Gráficas Henrique D'Ávila Bertaso, São Paulo: UFP, 2007.

SCHIMIDT, P.; WECHSLER, F. S.; NASCIMENTO, J. S.; VARGAS, J. F. M. **Tratamento do feno de Braquiária pelo fungo *Pleorotus ostreatus*. Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 32, n. 6, p. 1866-1871, 2003.

SCOTT, W. E.; ABBOTT, J.C.; TROSSET, S. **Properties of Paper: An Introduction.** 2 ed. 192 p. Atlanta: TAPPI PRESS, 1995.

SILVA, M. L. C. **Caracterização química de glucanas fungicas e suas aplicações biotecnológicas. Química Nova.** v. 29, n. 1, p. 85-92, 2006.

SOARES, C. H. L. **Estudos Mecanísticos da Degradação de Efluentes de Indústrias de Papel e Celulose por Fungos Basidiomicetos Degradadores de Madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Estadual de Campinas – SP, 1998.

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **The methods: 1994-1995.** Atlanta: TAPPI Press, 1994.

TEIXEIRA, M. F. S.; PORTO, A. L. F.; ROCHA, W. C. & FERNANDES, O. C. C. **Produção de Compostos Bioativos de Interesse Industrial.** Universidade do Amazonas. Fundação UNISOL. Manaus – AM, 2001.

WILLE, N. C. **Potencial do fungo *Pycnoporus sanguineus* na biopolpação de *Eucalyptos grandis* e *Acácia mearnsii*.** Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas). 2007. 53 f. Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.