

# Influência da espécie na qualidade da biomassa florestal sob estocagem, para geração de energia

## Influence of species in the quality of forest biomass in storage, for energy generation

Martha Andreia Brand<sup>1</sup>

### Resumo

Este trabalho determinou a influência da espécie nas alterações ocorridas na biomassa durante a estocagem, visando ao uso na geração de energia. Foram utilizadas toras com casca de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, estocadas em pilhas, por um período de seis meses, com coletas no material recém colhido, com dois, quatro e seis meses de estocagem. Foram utilizados quatro lotes: lote 1 (outubro a maio); lote 2 (janeiro a agosto); lote 3 (maio a novembro) e lote 4 (agosto a fevereiro). As propriedades avaliadas foram: teor de umidade na base úmida, poder calorífico superior e líquido, composição química (extrativos) e teor de cinzas. A espécie teve influência sobre o comportamento da biomassa frente à estocagem. As toras de *Eucalyptus* tiveram melhor comportamento durante a estocagem que as toras de *Pinus*, perdendo mais umidade, tendo menor alteração na composição química e maior ganho energético ao longo do tempo de estocagem. A estocagem contribuiu para a redução do teor de umidade, provocou alterações na composição química da madeira e no poder calorífico, mas sem influenciar significativamente o teor de cinzas da biomassa na forma de toras.

**Palavras-chave:** *Pinus taeda*; *Eucalyptus dunnii*; poder calorífico; composição química.

### Abstract

This study aimed to determine the influence of species on changes in biomass during storage in order to use in energy generation. It was used logs with bark of *Pinus taeda* and *Eucalyptus dunnii*, stored in piles, for a period of six months, with collections in the freshly harvested material, with two, four and six months of storage. It was utilized four lots: the first lot was stored between October to May, the second lot (January-August), the third lot (May-November) and the fourth (August-February). The properties evaluated were: moisture content on wet

---

<sup>1</sup> Dra.; Engenheira Florestal; Professora do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro Agroveterinário; Endereço: Avenida Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, CEP: 88520-000, Lages, Santa Catarina, Brasil; E-mail: a2mab@cav.udesc.br

basis, calorific superior and liquid power, chemical composition (extract) and ash content. The species had an influence on the behavior front of biomass storage. The Eucalyptus logs had better behavior in the storage than the Pinus logs, losing more moisture, with minor changes in chemical composition and higher energy gain over time of storage. The storage contributes to the reduction of moisture content, causes changes in chemical composition of wood and the calorific value, but without significant influence on the ash content of biomass in the form of logs.

**Key words:** *Pinus taeda*; *Eucalyptus dunnii*; calorific value; chemical composition.

## Introdução

A biomassa tem sido usada de forma crescente no mundo como insumo energético; muito mais para usos finais como energia térmica, mas já de forma importante como geradora de energia elétrica, e de forma também crescente como origem de combustíveis líquidos (etanol).

Assim, pode-se perceber que existe uma clara transição dos usos envolvendo “baixo nível tecnológico”, como o uso da lenha para cozinhar, para processos mais avançados e classificados como “modernos”, que são vetores de transformações da biomassa em energia elétrica e combustíveis líquidos.

Nesse contexto, a biomassa é um exemplo onde propriedades físicas e químicas têm influência direta sobre a viabilidade de uso do material como combustível. Além disso, a melhoria dessas propriedades, sujeitas a manejo e tratamento, pode tornar a biomassa mais atrativa para sistemas de geração de energia, tornando-se competitiva com outros combustíveis que a princípio teriam maior qualidade energética. (BRAND, 2010, p. 18).

Assim, para determinar a qualidade da biomassa florestal, agroindustrial e urbana para o uso como combustível, é fundamental a análise e conhecimento da sua composição química (elementar e imediata); teor de

umidade; poder calorífico superior, inferior e líquido; granulometria, teor de cinzas e nível de biodegradação. Além disso, como a biomassa é proveniente de seres vivos, a espécie da qual ela deriva e as condições de crescimento também influenciam na sua qualidade como combustível. (BRAND, 2010, p. 18).

A biomassa florestal usada para a geração de energia inclui muitas espécies e componentes da mesma espécie, que diferem muito em relação às suas propriedades físicas e químicas. O papel da estocagem e dos processos de secagem, desde a colheita até a utilização, é muito importante, porém as características diferenciadas da biomassa tornam a escolha de uma única forma de armazenamento muito difícil (JIRJIS, 1995, p. 187). Além disso, durante esse procedimento, as propriedades do material mudam devido a processos físicos, químicos e microbiológicos. (THÖRNQVIST, 1985, p. 126).

Segundo Garstang et al. (2002 p. 15), a composição química da madeira é importante na interpretação do seu comportamento durante a estocagem. Pois, no armazenamento aeróbio, processo que ocorre em uma pilha de madeira, as primeiras alterações que ocorrem são nos extrativos. (GARSTANG et al., 2002, p. 57).

Nesse sentido, Fengel e Wegener (1989, p. 182) e Sjöström (1993, p. 90) definem extrativos como compostos com uma grande variabilidade de componentes químicos, que representam uma pequena porcentagem da massa seca da madeira, denominados assim por serem extraídos a partir de solventes orgânicos neutros e água. Esses compostos são formados por inúmeros componentes individuais. Sjöström (1993, p. 90) ressalta ainda que eles têm natureza hidrofílica ou lipofílica.

Basicamente, os extrativos podem ser classificados, segundo sua composição química, em terpenos e terpenóides, graxas e gorduras (compostos alifáticos) e compostos fenólicos, além dos compostos inorgânicos que constituem as cinzas da madeira. (SJÖSTRÖM, 1993, p. 92-107 e KLOCK, MUÑIZ e HERNANDEZ, 2006, p. 73). Por sua vez, esses compostos químicos se subdividem em inúmeros outros que estão presentes em quantidade e composição diferenciadas na madeira de Gimnospermas e Angiospermas.

Nas Gimnospermas, os principais extrativos são os ácidos resinosos, monoterpenos voláteis, terpenóides, ésteres de ácidos graxos e esteróides, sendo que a maioria dos polifenóis está concentrada no cerne. Nas Angiospermas, as resinas da madeira são constituídas geralmente de gorduras, ceras e esteroides. (KLOCK, MUÑIZ; HERNANDEZ, 2006, p. 79).

Com relação à casca, esta difere da composição da madeira pela presença de polifenóis e suberina, menor porcentagem de polissacarídeos e maior porcentagem de extrativos (FENGEL; WEGENER, 1989, p. 244). Em estudos com casca de *Pinus taeda*, citados por Fengel e Wegener (1989), foram observados valores que variaram entre 18,3

a 27,5% de extrativos, dependendo o tipo de solvente utilizado na extração.

Durante a estocagem de toras de *Picea*, Ekmam, citado por Sjöström (1993, p. 108) observou que a quantidade de glicídeos diminui para menos da metade dos valores originais, enquanto que os ácidos graxos aumentaram consideravelmente, aumentando também os ácidos resinosos. Neste estudo, o autor observou também que os esteróis e esteril-ésteres se mantiveram praticamente constantes.

Sjöström (1993, p. 108) observou que os ácidos resinosos com sistemas de duplas ligações conjugadas do tipo abietano são oxidados rapidamente. Os ácidos graxos insaturados, tanto livres como insaturados, são também oxidados. A reação do ácido linolênico procede mais rapidamente que o ácido linoléico, que por sua vez é oxidado mais rapidamente que o ácido oléico.

Os ácidos graxos dienóicos e trienóicos são oxidados por certas enzimas, como as liposidases. Como resultado disso, a hidrofília e a solubilidade em água são aumentadas. Além da oxidação, certas enzimas agem como catalisadoras na hidrólise das graxas. (SJÖSTRÖM, 1993, p. 108).

A auto-oxidação e as reações enzimáticas são largamente influenciadas pelas condições prevalecentes durante a estocagem da madeira. Essas reações são muito mais rápidas na madeira estocada na forma de partículas que na estocada na forma de toras. Também é conhecido que a hidrólise dos trissacarídeos, que leva à formação de ácidos graxos livres, ocorre mais rapidamente na condição de estocagem de madeira úmida em relação à estocagem da madeira seca. (SJÖSTRÖM, 1993, p.108).

Garstang et al. (2002, p. 16) lembra ainda que as alterações iniciais, ocorridas

durante a estocagem são também devidas à fermentação dos açúcares da madeira, produzindo ácidos graxos voláteis, etanol e água, com a liberação de CO<sub>2</sub> e calor. Na ausência de atividades específicas de preservação, a oxidação desses ácidos orgânicos ocorre em vários níveis nas pilhas de madeira. Os carboidratos solúveis terão uma preservação inicial e energia para o subsequente processo de secagem.

Johnson et al, citados por Jirjis (1995, p. 186) também trabalharam nesse campo e chegaram à conclusão que, após 26 a 52 semanas (6,5 a 13 meses) de armazenamento, de diferentes madeiras e herbáceas, apenas pequenas mudanças (<3%) foram observadas nos componentes químicos da madeira (celulose, lignina e polioses). As maiores mudanças foram observadas nos extrativos obtidos por extração em etanol a 95%. O decréscimo do conteúdo de extrativos observado pelos autores foi superior a 70% em relação ao originalmente encontrado.

Garstang et al (2002, p. 57), trabalhando com madeira de *Salix* e resíduos florestais, na forma de partículas, constatou que o conteúdo de carboidratos solúveis em água no início do experimento de armazenamento apresentou valores entre 0,5 a 1,0%, com valores irregulares, e muita variação nos primeiros 50 dias de estocagem, declinando após esse período para valores uniformes abaixo de 0,5%. O autor constatou ainda que a liberação dos carboidratos solúveis em água é uniforme nas diferentes profundidades das pilhas.

Thörnqvist (1986, p.08) não observou alterações na quantidade de lignina ou carboidratos durante o período de estocagem na madeira contida na biomassa florestal estocada durante um período de nove meses. No entanto, durante longos períodos de

estocagem, os polissacarídeos da madeira podem ser atacados por microorganismos (SJÖSTRÖM, 1993, p. 107), conduzindo à formação de extrativos (JOHNSON et al., citados por JIRJIS (1995, p. 186) e (GARSTANG et al., 2002, p. 16).

Os diferentes teores de lignina na madeira, oriunda de Gimnospermas e Angiospermas, fazem com que o nível de acessibilidade das bactérias e fungos à celulose e polioses seja diferente nesses dois grupos vegetais, resultando em variações na velocidade e intensidade da biodegradação (GARSTANG et al., 2002, p. 16), que por sua vez tem influência sobre a perda de massa e alterações no poder calorífico.

Com relação ao uso da biomassa florestal para geração de energia, o fato da lignina ter maior proporção de carbono e hidrogênio em relação à celulose e polioses, faz com que ela tenha maior poder calorífico superior que os carboidratos, conferindo também às Gimnospermas maior poder calorífico em comparação com as Angiospermas. Além disso, a quantidade de extrativos na casca de coníferas é maior que em folhosas (NURMI, 1992, p. 45; MARTÍN, 1997, p. 06), também contribuindo para o aumento do poder calorífico.

Com relação aos componentes do tronco das árvores, este é composto basicamente de madeira, casca interna e casca externa. A sua proporção varia com a altura comercial do tronco e idade da árvore (NURMI 1992, p. 157). A casca, apesar de estar presente em menor proporção, em relação à madeira, tem maior porcentagem de carbono e hidrogênio (LEVIN; REPYAH, citados por NURMI 1992, p. 165), fazendo com que tenha maior poder calorífico superior que a madeira.

No entanto, a madeira, por representar a maior proporção da massa do tronco, é o componente mais importante a ser considerado quando o poder calorífico superior do tronco como um todo é calculado (NURMI, 1992, p. 163).

Isso, porque os combustíveis precisam ter determinadas características que os tornam aptos para a geração de energia. E, sem dúvida, o poder calorífico é a propriedade mais importante para avaliar a viabilidade de uso de uma fonte para a geração de energia, e para alguns combustíveis, essa é a principal propriedade levada em consideração (BRAND, 2010, p. 18).

Quirino et al. (2004, p. 179-180) realizou um estudo em que reuniu dados do poder calorífico de 258 espécies florestais e chegou à conclusão de que o poder calorífico superior das madeiras variou de 4685 a 4736 kcal, ou seja, um poder calorífico médio de 4710 kcal/kg. No estudo, o autor afirmou ainda que essa propriedade varia relativamente pouco entre as espécies florestais.

Os valores de poder calorífico superior, obtidos para madeiras do gênero *Pinus*, variam entre 3900 a 5200 kcal/kg, e para madeiras do gênero *Eucalyptus* variam de 4200 a 5000 kcal/kg (BRITO e BARRICHELO, 1982; ANTUNES e ALMEIDA, 2003; QUIRINO et al., 2004).

O teor de cinzas varia muito em função da espécie de madeira e posição onde a amostra foi retirada na árvore. Essa propriedade varia também entre árvores do mesmo local de crescimento. Além disso, durante a colheita da biomassa, entre a floresta e a planta de geração de energia, o material pode ser contaminado através da adição de pedras e areia. (THÖRNQVIST, 1985, p. 130). Os valores apresentados

por Brito e Barrichelo (1982, p. 109) para espécies do gênero *Eucalyptus* variaram entre 0,41 a 0,53 % em árvores com quatro anos de idade.

Quando o assunto é estocagem de biomassa florestal para geração de energia, as principais fontes da matéria-prima são os resíduos, que podem ser industriais e florestais, ou a biomassa oriunda de florestas energéticas.

Porém, qualquer que seja a fonte, o material disponível para a estocagem terá formas e tamanhos variados. Quando oriundos de resíduos industriais estarão na forma de cavacos, serragem, costaneiras, refilos e destopos. E, quando oriundos de resíduos de plantios florestais destinados ao uso múltiplo ou de florestas energéticas estarão na forma de ponteiros de árvores, toras, galhos com e sem folhas.

A forma mais comum de armazenamento, principalmente na indústria, é em cavacos. Porém, segundo Nurmi (1995, p. 245) e Thörnqvist (1988, p. 193) essa metodologia apresenta alguns problemas, sendo que o principal deles é a combustão espontânea. Nesse contexto, o tamanho das partículas tem grande influência sobre as variações das propriedades da madeira ao longo da estocagem como observaram Garstang et al. (2002, p. 81) e Jirjis (2005, p. 199).

Nesse sentido, para que se tenha a melhoria das propriedades da biomassa para a geração de energia, deve-se ter o controle sobre o tipo de material que será colocado sob estocagem. Isso, porque a espécie e origem, os componentes e o formato do material têm influência sobre o comportamento da biomassa frente ao armazenamento. Tais fatores afetam em maior ou menor intensidade a velocidade e homogeneidade na perda de umidade, alterações químicas

e biodegradação da biomassa, que, por sua vez, levam à perda de massa seca, mudanças no conteúdo energético e riscos de incêndio. Esses fatores determinam ainda a forma de estocagem, que pode ser em pilhas, leiras, fardos ou outras formas; o volume estocado; o tempo de estocagem, e o manejo do material antes, durante e após essa operação.

Levando em consideração estes fatores, este trabalho objetivou a determinação da influência da espécie da biomassa sobre as alterações em suas propriedades, durante a estocagem, visando ao uso na geração de energia.

Tabela 1 - Condições climáticas de Lages – SC (outubro de 2003 a fevereiro de 2005)<sup>1</sup>

DADOS	ANO																
	2003			2004										2005			
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Precipitação (mm)	119	94	225	81	114	144	82	103	28	233	52	278	162	104	136	147	47
Temperatura (°C)	18	19	20	21	21	20	19	13	13	12	14	17	17	19	20	22	22
Umidade relativa (%)	76	72	79	78	76	77	83	85	82	84	77	82	75	76	76	76	75

Fonte: EPAGRI (2006).

<sup>1</sup> A precipitação total do ano de 2004 foi de 1517 mm, e os valores médios de temperatura e umidade relativa foram 17°C e 79%, respectivamente. Os dados apresentados refletem as condições climáticas de anos típicos na região.

Foram utilizadas toras com casca de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden, com diâmetros variados<sup>2</sup> e comprimento médio de 2,4 m. Cada material foi estocado, separadamente, em pilhas (6 m de comprimento x 2,5 m de largura x 2,5 m de altura). Foram analisados quatro lotes

<sup>2</sup> Os diâmetros das toras variaram de 8 a mais de 30 cm, pois o material de estudo foi constituído de madeira destinada à geração de energia (toras finas) e toras descartadas em processos industriais (toras grossas), sendo que esta variável não foi controlada no estudo.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado em Lages, Santa Catarina, entre outubro de 2003 a fevereiro de 2005. A cidade fica situada a 27° 30' de latitude Sul e a 50° de longitude Oeste, com altitude entre 800 a 900 m. Conforme a classificação climática de Köppen, essa região pertence ao tipo Cfb, caracterizado por verão fresco e não apresenta déficit hídrico (LEITE et al., 1973). Os dados meteorológicos do período de estudo estão apresentados na Tabela 1.

de cada material, que permaneceram sob estocagem durante seis meses, com coletas no material recém colhido, com dois, quatro e seis meses, com estocagem em diferentes épocas do ano. As épocas de estocagem foram entre outubro a maio (Lote 1); janeiro a agosto (Lote 2); maio a novembro (Lote 3) e agosto a fevereiro (Lote 4) (Tabela 2).

Na tabela 2, as zonas escuras indicam o período de avaliação dos lotes, e os X marcados indicam os momentos de coleta no experimento.

Tabela 2 - Delineamento experimental utilizado no estudo de estocagem de biomassa

Ano	2003					2004					2005						
Mês	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02
Lote 1	X	X				X		X									
Lote 2				X			X		X		X						
Lote 3								X	X			X		X			
Lote 4											X		X	X			X

Fonte: Autor (2012).

As amostras foram coletadas na base, meio e topo das pilhas. Sem haver remoção da casca, as toras foram transformadas em cavacos, utilizados na determinação das propriedades físicas e químicas. O teor de umidade na base úmida, poder calorífico superior e líquido, solubilidade da madeira em água fria, quente, etanol tolueno e em hidróxido de sódio e teor de cinzas foram analisados segundo as normas NBR 14929; DIN 51900, TAPPI T 207, Norma TAPPI 212, NBR 14853 e TAPPI 211, respectivamente.

O tratamento estatístico foi feito através do teste F para verificação de variação significativa, e confirmação da variação através do Teste de média de Tukey ( $P > 0,05$ ), considerando na análise a interação entre os fatores espécie e tempo de estocagem, para cada propriedade avaliada.

## Resultados e Discussões

Os resultados das propriedades físicas, energéticas e químicas da biomassa florestal estocada por um período de seis meses podem ser visualizados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Propriedades físicas e energéticas da biomassa florestal, em função da espécie e do tempo de estocagem

Tempo de estocagem (meses)	Teor de umidade (%)				Poder calorífico superior (Kcal/kg)			
	PCC		ECC		PCC		ECC	
Recém colhido	A 59	a	A 54	a	A 4788	a	B 4542	b
2 meses	A 58	a	B 43	b	A 4806	a	A 4615	b
4 meses	B 45	a	C 34	b	A 4839	a	A 4616	b
6 meses	AB 51	a	C 32	b	A 4792	a	AB 4606	b
Tempo de estocagem (meses)	Poder calorífico líquido (Kcal/kg)				Teor de cinzas (%)			
	PCC		ECC		PCC		ECC	
Recém colhido	B 1479	a	C 1646	a	A 0,45	a	AB 0,78	a
2 meses	B 1545	b	B 2204	a	A 0,41	b	A 1,02	a
4 meses	A 2198	b	A 2624	a	A 0,39	a	B 0,61	a
6 meses	AB 1875	b	A 2746	a	A 0,43	b	A 0,97	a

Fonte: Autor (2012).

Tabela 4 - Propriedades químicas da biomassa florestal, em função da espécie e do tempo de estocagem

Tempo de estocagem (meses)	Solubilidade da madeira em água fria (%)				Solubilidade da madeira em água quente (%)			
	PCC		ECC		PCC		ECC	
Recém colhido	B 2,09	b	AB 3,31	a	AB 3,03	a	A 4,32	a
2 meses	A 3,46	a	A 3,72	a	A 4,03	a	A 4,25	a
4 meses	B 1,86	a	BC 2,23	a	AB 2,72	a	A 3,39	a
6 meses	B 1,62	a	C 1,78	a	B 2,15	a	A 2,93	a
Tempo de estocagem (meses)	Solubilidade da madeira em NaOH a 1% (%)				Solubilidade em Etanol-tolueno (%)			
	PCC		ECC		PCC		ECC	
Recém colhido	A 14,24	a	A 16,49	a	B 4,47	a	B 3,04	b
2 meses	A 11,71	a	AB 13,76	a	A 5,54	a	A 4,08	b
4 meses	A 11,86	a	B 13,08	a	A 6,15	a	B 2,71	b
6 meses	A 11,72	a	B 12,67	a	C 2,11	a	B 3,33	a

Fonte: Autor (2012).

Nota: PCC: Toras de *Pinus taeda* com casca; ECC: toras de *Eucalyptus dunnii* com casca

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si (Tukey  $P > 0,05$ ). Letras Maiúsculas antes dos valores indicam a variação na coluna, relativa ao diferentes tempos de estocagem, para o mesmo material (recém colhido, 2, 4 e 6 meses de estocagem). Letras minúsculas após os valores indicam a variação na linha, relativa às diferenças entre as espécies avaliadas (PCC e ECC).

### Teor de umidade

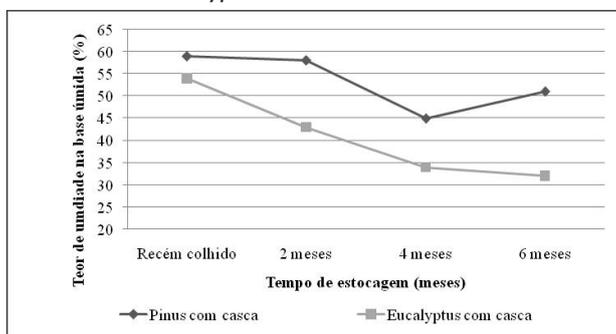
A espécie utilizada foi determinante no comportamento da biomassa frente à estocagem. O teor de umidade do *Pinus* e *Eucalyptus* nas toras recém-colhidas foi igual estatisticamente, apresentando alto teor de umidade, o que reflete em baixo desempenho energético. No entanto, ao longo do tempo de estocagem, as toras de *Eucalyptus* tiveram melhor desempenho, perdendo mais umidade e sendo diferente do *Pinus* para todos os períodos de coleta.

Avaliando-se cada espécie separadamente, o *Pinus* manteve altos teores de umidade nos primeiros dois meses

de estocagem, com redução aos 4 meses e ganho de umidade aos seis meses de estocagem. Já as toras de *Eucalyptus* tiveram perda gradativa de umidade, atingindo, aos quatro meses de estocagem o teor de umidade mínimo requerido para a geração de energia, que segundo Brito e Barrichelo (1982) e Garstang et al. (2002) é de 30% (Figura 1).

Desta forma, o tempo ideal de estocagem foi de 4 meses, sendo que o *Eucalyptus* atingiu teores de umidade adequados para a geração de energia, enquanto que a estocagem do *Pinus* na forma de toras é pouco recomendável, pela baixa eficiência na perda de umidade durante o armazenamento.

Figura 1 - Variação do teor de umidade na base úmida em função do tempo de estocagem para Vtoras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*



Fonte: Autor (2012).

### Composição química da biomassa florestal

As análises de solubilidade da madeira objetivam a quantificação de compostos inorgânicos, taninos, gomas, açúcares e materiais coloridos presentes na madeira, quando utilizada a água fria; todos os compostos anteriores, com a inclusão do amido, quando utilizada a água quente e materiais não voláteis como ceras, graxas, resinas, fitoesteróis, hidrocarbonetos não voláteis, carboidratos de baixa massa molecular, e outras substâncias solúveis em água, quando usado a etanol-tolueno. Já o hidróxido de sódio é utilizado para indicar o grau de decomposição causada por fungos ou a degradação por calor, luz, oxidação, etc. Dessa forma, a variação dos valores de solubilidade da madeira nesses solventes indica a alteração química ocorrida na biomassa durante a estocagem da mesma.

Avaliando-se as duas espécies estudadas, pode-se perceber que houve variação entre as espécies na solubilidade em água fria para o material recém-colhido e para a solubilidade em etanol-tolueno em todos os momentos de coleta. A variação da solubilidade em solvente orgânico é

explicada pela variação da composição química dos extrativos em espécies de Gimnospermas e Angiospermas como mencionaram Klock, Muñiz e Hernandez (2006). Para solubilidade em água quente e hidróxido de sódio não houve diferença entre as espécies em nenhum momento das coletas. Para *Eucalyptus*, houve variação ainda para solubilidade em hidróxido de sódio e para *Pinus* em água quente.

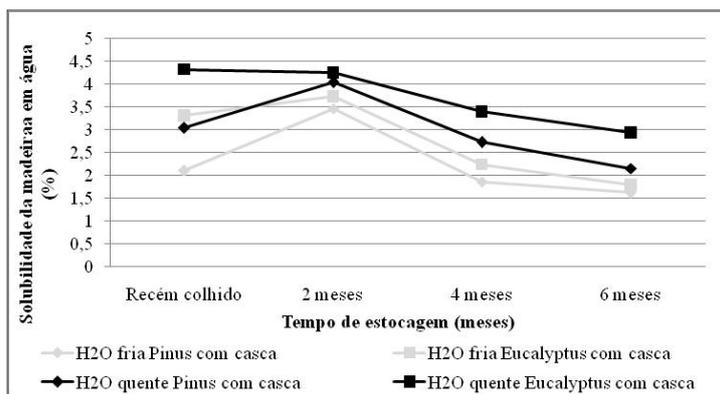
Com relação ao tempo de estocagem, a composição química da madeira é alterada em função da estocagem. O comportamento da solubilidade em água fria e quente foi similar para ambas as espécies, com aumento nos valores obtidos no início da estocagem (0 a 2 meses) e decréscimo até seis meses (Figura 2), concordando com o que foi observado por Garstang et al. (2002).

O aumento da solubilidade em água no início da estocagem pode ser explicada pela oxidação dos ácidos graxos, o que resulta no aumento da hidrofilia e solubilidade em água. Além da oxidação, certas enzimas agem como catalisadoras na hidrólise das graxas (SJÖSTRÖM, 1993, p. 108). Assim, no início da estocagem ocorre a transformação e disponibilização dos extrativos solúveis em água, sem que haja a perda para o meio. Após

esse período, além de ocorrer a transformação e disponibilização, ocorreu também a perda para o meio, fazendo com que a quantidade de extrativos solúveis em água diminua gradativamente até o final do período de estocagem.

As perdas de extrativos em água foram menores que o observado por Ekman, citado por Sjöström (1993), que observou reduções de 50% em relação aos valores originais.

Figura 2 - Variação da solubilidade da madeira em água em função do tempo de estocagem para toras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*



Fonte: Autor (2012).

O *Eucalyptus* apresentara os maiores valores de extrativos solúveis em água, em relação ao *Pinus*. Esse resultado confirma as observações feitas por Garstang et al. (2002) e Nurmi (1999), com relação à composição química de espécies de Gimnospermas e Angiospermas. Porém, as variações ao longo do tempo de estocagem foram mais amenas no *Eucalyptus*.

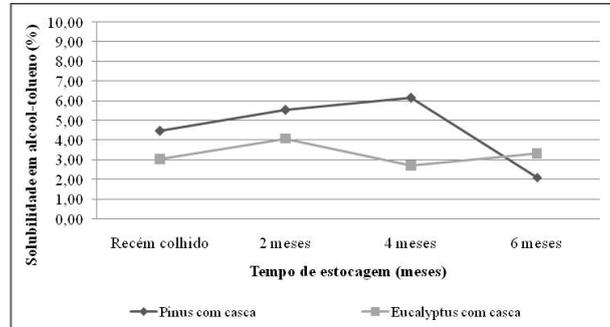
Com relação à solubilidade da madeira em etanol tolueno (Figura 3), o *Pinus* teve o mesmo comportamento observado por Ekman, citado por Sjöström (1993, p. 108) que mencionou que os ácidos graxos aumentaram consideravelmente, aumentando também os ácidos resinosos, devido à oxidação que esses compostos sofrem durante a estocagem, refletindo no aumento dos solutos em etanol-tolueno.

Neste estudo, o autor observou também que os esteróis e esteril-esteres se mantiveram praticamente constantes. Já o *Eucalyptus* apresentou pouca variação ao longo do tempo de estocagem, devido à composição química diferenciada do *Pinus*.

Garstang et al., (2002, p. 16) lembra ainda que as alterações iniciais, ocorridas durante a estocagem são também devidas à fermentação dos açúcares da madeira, produzindo ácidos graxos voláteis, álcool e água, com a liberação de CO<sub>2</sub> e calor, o que explica o aumento da solubilidade em água e em etanol-tolueno nos dois primeiros meses de estocagem.

As mudanças observadas nos extrativos obtidos por extração em solventes orgânicos foi da ordem de 50% para *Pinus*, inferiores as observadas por Johnson et al., citados por Jirjis (1995).

Figura 3 -Variação da solubilidade da madeira em etanol tolueno em função do tempo de estocagem para toras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*

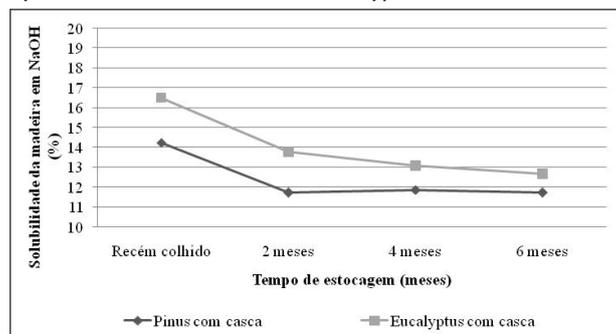


Fonte:Autor (2012).

Considerando, a solubilidade em hidróxido de sódio, o decréscimo dos valores registrados indica que não houve degradação dos componentes majoritários da parede celular das espécies (celulose, polioses e lignina), (Figura 4), havendo somente alteração química dos extrativos.

Não houve diferença estatística entre as espécies para a solubilidade em hidróxido de sódio. Para o *Pinus*, todos os valores obtidos foram estatisticamente iguais, ao longo do tempo de estocagem, enquanto para *Eucalyptus*, os valores do material recém-colhido e com dois meses de estocagem foram estatisticamente iguais.

Figura 4 -Variação da solubilidade da madeira em hidróxido de sódio a 1% em função do tempo de estocagem para toras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*



Fonte:Autor (2012).

### Poder calorífico

Houve variação no poder calorífico superior entre as duas espécies avaliadas, concordando com Brito e Barrichelo (1982), Nurmi (1992) e Martin (1997), que afirmaram que as Gimnospermas têm maior poder calorífico superior que as

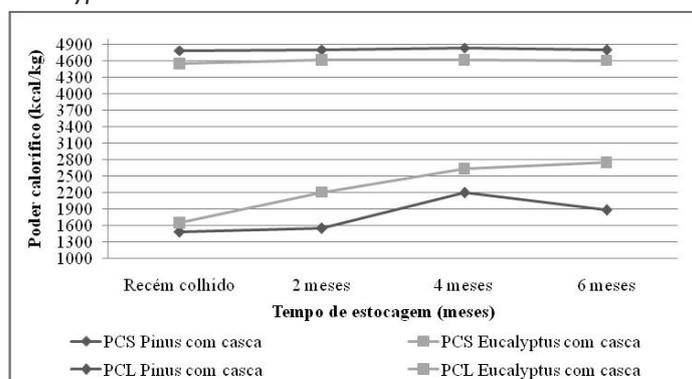
Angiospermas. Em relação ao tempo de estocagem, somente o *Eucalyptus* apresentou variação estatística, com aumento do poder calorífico superior ao longo do tempo de estocagem. Porém as variações observadas não são significativas em termos práticos, pois para isso são necessárias variações superiores a 300 kcal/kg.

Para ambas as espécies, houve aumento do poder calorífico superior até quatro meses de estocagem, com posterior redução, seguindo a mesma tendência dos valores de solubilidade da madeira (Figura 5). Isso indica que a disponibilização dos extrativos contribui para o aumento do poder calorífico superior, quando não ocorre degradação dos componentes estruturais da madeira. Quando se inicia sua

perda, por volatilização para o meio, o poder calorífico superior também começa a diminuir.

No entanto, apesar do poder calorífico superior do *Pinus* ter sido maior que o do *Eucalyptus*, a quantidade de energia útil disponível (poder calorífico líquido) para a geração de energia foi maior no *Eucalyptus*, após a estocagem, pois esse último teve maior perda de umidade durante o armazenamento (Figura 5).

Figura 5 - Variação do poder calorífico em função do tempo de estocagem para toras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*



Fonte: Autor (2012).

## Teor de cinzas

A espécie constituinte da biomassa teve influência sobre os teores de cinzas, sem alteração dos valores obtidos para *Pinus*, ao longo da estocagem, mas com alteração para *Eucalyptus*. Os dados obtidos não apresentaram uma tendência clara de comportamento ao longo do tempo de estocagem, apesar da variação entre as espécies como observado por Garstang et al. (2002) e Jirjis (2005).

## Conclusões

A espécie teve influência sobre o comportamento da biomassa frente à estocagem.

As toras de *Eucalyptus* tiveram melhor comportamento frente à estocagem que as toras de *Pinus*, perdendo mais umidade, tendo menor alteração na composição química e maior ganho energético ao longo do tempo de estocagem;

As toras de *Pinus*, mesmo após seis meses de estocagem, não atingiram os valores mínimos necessários de teor de umidade para a geração de energia, tiveram variações na composição química mais intensa, e menor ganho energético.

A estocagem contribui para a redução do teor de umidade para toras de *Eucalyptus*, mas não para as toras de *Pinus*.

A composição química da madeira é alterada durante a estocagem e contribui para

ganhos energéticos no início do período de estocagem e redução a partir de quatro meses de estocagem.

O poder calorífico superior é pouco alterado durante a estocagem para as duas espécies avaliadas. Já o poder calorífico líquido é significativamente alterado, principalmente

para o *Eucalyptus*, contribuindo para a melhoria da qualidade da biomassa para a geração de energia.

O teor de cinzas é diferente entre as espécies, mas baixo para ambas. Essa propriedade não tem um comportamento definido durante a estocagem.

## Referências

ANTUNES, B. M. F.; ALMEIDA, E. D. L. **Biomassa**: Produção e planejamento de energia elétrica. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. 23 p. Relatório técnico. Citation on computers documents. Disponível em: <<http://thor.deec.uc.pt/~ppee/docs0203/biomassa.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 1982. p. 101-137.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. **DIN 51900**: Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value. Berlim, 2000.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Estação meteorológica**. Lages: Estação Experimental de Pesquisa Agropecuária de Lages, 2006.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood. Chemistry, Ultrastructure, reactions**. New York: de Gruyter, 1989.

GARSTANG, J.; WEEKES, A.; POULTER, R.; BARTLETT, D. Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulkstorage of wood chips and development of best storage practices. FES B/W2/00716/RESP.DTI/Pub urn 02/1535, 2002. 116 p. **Relatório técnico**.

JIRJIS, R. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 2, p. 193-201, 2005.

- JIRJIS, R. Storage and drying of wood fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 9, n.1-5, p. 181-190, 1995.
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A. **Química da Madeira**. 3. ed. Curitiba: FUPEF, 2006. 82 p. Série didática FUPEF.
- LEITE, N. B.; FERREIRA, M.; RAMOS, P. G.; GUTIERREZ NETO, F. Efeito de geadas sobre diversas espécies/procedências de *Eucalyptus* spp introduzidas na região de Lages - Santa Catarina. **IPEF**, n.7, p.101-114, 1973.
- MARTIN, F.M. **Otros aprovechamientos forestales**. Salamanca: Edita Fernando Martín Asín, 1997.
- NURMI, J. Measurement and evaluation of wood fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 2, n. 1-6, p. 157-171, 1992.
- NURMI, J. The effect of whole-tree storage on the fuelwood properties of short-rotation *Salix* crops. **Biomass and Bioenergy**, v. 8, n. 4, p. 245-249, 1995.
- NURMI, J. The storage of logging residue for fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 17, n. 1, p. 41-47, 1999.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEREDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, v. 1, n. 2. p. 173-182, 2004.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry. Fundamentals and applications**. 2. ed. Califórnia: Academic Press, 1993. 293 p.
- Technical Association for the worldwide pulp, paper and converting industry. TAPPI standard Test Methods. **TAPPI 207**: Water solubility of wood. Atlanta. 1994a.
- Technical Association for the worldwide pulp, paper and converting industry. TAPPI standard Test Methods. **TAPPI 211**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta. 1994b.
- Technical Association for the worldwide pulp, paper and converting industry. TAPPI standard Test Methods. **TAPPI 212**: One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta. 1994c.
- THÖRNQVIST, T. Drying and storage of forest residues for energy production. **Biomass**, England, v. 7, p. 125-134, 1985.
- THÖRNQVIST, T. Projekt storskalig säsongslagring av trädbraänsle – en sammanfattning av etapp 1. Large-scale seasonal storage of tree fuel project – summary of phase 1. Sweden: The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Products, 1986. 50 p. **Report n° 188**.
- THÖRNQVIST, T. Wood fuel storage in large piles – Mechanisms and risks of self-ignition. In: IEA/BE CONFERENCE TASK III/Activity 6 and 7., 1988, Sweden. **Proceedings...** Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Operational Efficiency, 1988. p. 193-198.