

# Determinação das Propriedades Energéticas de Resíduos de Madeira em Diferentes Períodos de Armazenamento

M. A. Brand, UNIPLAC; V. J. da Costa, UNIPLAC; A. Durigon e M. Amorim, TRACTEBEL ENERGIA

**Resumo**—Objetivou-se a caracterização energética de resíduos madeiráveis e a influência do tempo de armazenamento na qualidade do material. Foram utilizadas toras de *Pinus*, *Eucalyptus* e *Pinus* atacado por vespa da madeira, da floresta, e lâminas, costaneiras, cavaco e serragem produzidos na indústria. Com exceção do cavaco e serragem todos os materiais ficaram armazenados por seis meses com coletas no material recém chegado ao pátio, após um, quatro e seis meses de armazenamento. Analisou-se: teor de umidade; granulometria; densidade; poder calorífico e teor de. Concluiu-se que o teor de umidade é alto e que o tempo de armazenamento deve ser de dois meses para melhor desempenho na geração de energia. A granulometria é variável e influencia diretamente na grelha de queima da caldeira. A perda de massa não é significativa durante o período de armazenamento. O poder calorífico e o teor de cinzas são baixos.

**Palavras-chave**— cogeração, madeira, resíduos.

## I. INTRODUÇÃO

A região de Lages até pouco tempo atrás se caracterizava somente como produtora e fornecedora de matéria-prima para outras regiões que agregavam valor à madeira. Porém, políticas governamentais, principalmente estaduais e municipais, o crescimento de instituições de ensino, pesquisa e extensão na área da madeira e a mudança de visão dos empresários está fomentando o desenvolvimento de atividades que levarão a região a se tornar um importante polo madeireiro nacional.

Assim, a região está desenvolvendo todas as condições econômicas, sociais e políticas para a transformação de uma situação de fornecedor de matéria-prima para um polo de agregação de valor a ela. Portanto, se atualmente o volume de resíduos gerados pelas indústrias do setor já é preocupante, ambientalmente e economicamente, a situação se agravará ainda mais.

Esta realidade gerou a necessidade do desenvolvimento de uma pesquisa da situação dos resíduos madeiráveis na região de Lages, e em 2001, [2] realizou um levantamento na regi-

ão dos campos de Lages, em um raio de 120 km, via transporte rodoviário desta cidade, onde constatou-se a existência de 283 empresas de transformação primária (serrarias e laminadoras), transformação secundária (fábricas de painéis de madeira, fósforos, elementos de construção civil, etc), e transformação terciária (fábricas de móveis, artefatos de madeira, etc), excetuando as fábricas de celulose e papel. O município com maior número de empresas foi Lages com 56% das empresas cadastradas na região, seguido dos municípios de Bom Retiro, Curitibaanos e São Joaquim.

De maneira geral, o volume total de resíduos gerados nas indústrias pesquisadas foi de 26.376,13 toneladas/mês, sendo que deste volume 20.789,32 toneladas/mês eram vendidas para alguma finalidade, restando portanto uma média de 5.586,81 toneladas/mês. Vale lembrar porém, que este montante de resíduos gerados correspondia a 33,57% da população amostrada (283 empresas cadastradas).

Lages, além de ser o maior polo gerador de resíduos era também o município que tinha maior disponibilidade dos mesmos. Curitibaanos, que era o segundo maior polo produtor vendia mais de 80%, Bom Retiro vendia praticamente 100% do que produzia e São Cristovão do Sul em torno de 80%.

Assim, a região de Lages, na ocasião já era uma região com grande potencial gerador de resíduos, que não eram utilizados nos locais onde eram gerados, causando problemas ambientais sérios como poluição e assoreamento dos rios, poluição do ar pela queima a céu aberto e uso de locais na indústria que poderiam ser melhor utilizados no processo produtivo.

No entanto, os resíduos podem ser tornar uma das soluções para o problema energético que o Brasil vem enfrentando, pois segundo [4], o consumo de eletricidade cresceu 56% de 1983 para 1998. Para o futuro a Eletrobrás prevê altos riscos de déficit. O sistema de geração brasileiro apresenta altas características sazonais devido à origem de sua hidroeletricidade, sendo que no período de secas o risco de interrupção de energia é ainda maior. Com base nesta informação, o governo brasileiro está desenvolvendo políticas para o incentivo à instalação de termo-elétricas, cuja fonte energética pode ser a biomassa e não o gás natural

Considerando-se somente a biomassa oriunda da madeira, tanto de florestas energéticas como dos resíduos da transformação industrial desta matéria-prima, com certeza o suprimento desta fonte energética seria suficiente para garantir o fornecimento de energia sem problemas de sazonalidade.

---

Este trabalho foi apoiado financeiramente pela empresa Tractebel Energia, Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC e Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado de Santa Catarina - FAPESC.

M.A. Brand, trabalha na UNIPLAC (e-mail: [martha@uniplac.net](mailto:martha@uniplac.net))

J.V.Costa, trabalha na UNIPLAC (e-mail: [valdeci@uniplac.net](mailto:valdeci@uniplac.net))

A.Durigon, trabalha na UNIPLAC (e-mail: [ailton@uniplac.net](mailto:ailton@uniplac.net))

M. Amorim, trabalha na Tractebel Energia (e-mail: [matheus@tractebelenergia.com.br](mailto:matheus@tractebelenergia.com.br))

Esta afirmação pode ser feita pois, levando-se em conta somente as florestas plantadas de *Pinus*, o consumo nacional de madeira roliça na indústria, em 2001, foi em torno de 94 milhões de m<sup>3</sup> [3]. Aliado a isso, na indústria de transformação da madeira, quase metade da matéria-prima torna-se resíduo na forma de casca, aparas, costaneiras, refilos, destopos, cavacos ou uma mistura destes. Este resíduo ou é utilizado para a geração de energia térmica na própria indústria ou fica armazenado sem nenhuma destinação, causando problemas de poluição ambiental e ocupando um espaço físico que poderia ter melhor aproveitamento na indústria.

Outros dois aspectos que devem ser considerados na utilização da biomassa para a geração de energia estão relacionados ao seu caráter estratégico, pois em um país em desenvolvimento como o Brasil, nenhuma fonte de energia deve ser esquecida ou subvalorizada, especialmente as de caráter renovável como é o caso da madeira [6], e ao crescimento da utilização da biomassa em todo o mundo, sendo esta o quarto combustível mais usado depois do óleo, carvão mineral e gás natural [1].

Além disso, nos últimos anos, tem sido chamada a atenção para o uso deste tipo de fonte energética como favorável ambientalmente, pois polui menos que os combustíveis fósseis. Sendo que, esta mudança de visão do uso da madeira para a geração de energia têm promovido a criação de políticas setoriais para o incentivo do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a conversão da biomassa em energia térmica e elétrica [5].

Assim, a geração simultânea de energia térmica e elétrica com a utilização de resíduos da indústria da madeira pode se constituir em uma alternativa, tanto para a minimização da crise energética que o Brasil vem atravessando como para solucionar o problema de disponibilização e falta de uso dos resíduos gerados durante a transformação da madeira.

Com base em toda a problemática apresentada e dos resultados obtidos no trabalho de [2] foi instalada em Lages uma co-geradora de energia, que começou a operar em 2004, e que vêm trabalhando intensamente junto à Universidade para o desenvolvimento de pesquisas na área de quantificação e qualificação de resíduos madeiráveis para a geração de energia.

Neste sentido, em 2003 foi iniciada uma pesquisa sobre a qualidade energética de resíduos madeiráveis armazenados durante um período de seis meses, um função da necessidade de armazenamento de material com maiores dimensões para funcionar como um estoque regulador da unidade de cogeração de Lages. Assim, os resultados deste experimento serão apresentados neste trabalho.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

O material coletado e analisado constituiu-se de:

- Madeira de *Pinus* com dimensões de 2,4 m de comprimento médio ou comprimento variável.
- Madeira de *Eucalyptus* com comprimento médio de 2,4 m e com diâmetros variados.
- Costaneira de *Pinus*, proveniente da transformação de toras em serrarias, com comprimento de 2,0 m, normalmente contendo casca.
- Lâminas verdes provenientes de laminadora de *Pinus*.
- Madeira de *Pinus* atacada por vespa da madeira, com

comprimento de 2,40 m e que não tem utilização no processo de celulose e papel ou na transformação mecânica.

Além deste material, que foi armazenado e acompanhado ao longo do tempo, em cada coleta realizada, foram coletados serragem verde produzida na empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda, obtida das esteiras de transporte do material, e cavacos denominados na empresa como destinados para a geração de energia, provenientes da mistura de todos os resíduos produzidos na indústria.

Foi realizada uma coleta de material vindo da floresta e da indústria, cujo destino foi o armazenamento em pátio. A partir do momento que o material chegou no pátio, foram realizadas 4 coletas de material para análise. A primeira coleta foi feita no material recém chegado ao pátio. A segunda coleta no material com um mês de armazenamento, a terceira com quatro meses de armazenamento e a quarta com seis meses de armazenamento.

As coletas foram iniciadas em outubro de 2003 e se estenderam até maio de 2004.

O volume trazido para o pátio de armazenamento para cada tipo de resíduo foi de aproximadamente 10 m<sup>3</sup>. Todo o material coletado foi disposto em pilhas no pátio cedido pela Battistella Indústria e Comércio Ltda., localizada na área industrial da cidade de Lages, próxima da planta de cogeração da empresa TRACTEBEL Energia.

O pátio cedido para o experimento teve área de 57 m por 35 m. A maior dimensão tem o orientação leste oeste.

As pilhas de madeira foram dispostas no sentido do maior comprimento, de leste para oeste, ou seja, para que a insolação tivesse maior incidência na maior dimensão da pilha, porém atingindo diretamente o topo das peças.

Para permitir a aeração entre as pilhas e a coleta do material com facilidade, ao longo do experimento, foi determinado que entre as pilhas de material em teste seria deixado um espaço entre pilhas de 3,5 m.

Os detalhes relacionados às coletas estão representados a seguir:

Coleta 1 (18/10/03) - material recém chegado do campo - Madeira de *Pinus* atacada por vespa da madeira (montagem da pilha); Madeira de *Pinus*, recém cortada, com comprimento de 2,4 m (montagem da pilha); *Eucalyptus* com comprimento de 2,4 m (montagem da pilha); Lâmina de *Pinus*\*, Costaneiras de *Pinus*\*\*, Cavacos de energia da Battistella e Serragem de serraria da Battistella.

Coleta 2 - (17/11/04) - material com um mês de armazenamento - mesmo material citando anteriormente.

Coleta 4 (04/03/04) - material com quatro meses de armazenamento - mesmo material de campo

Coleta 6 (04/05/04) - material com seis meses de armazenamento - mesmo material de campo

\* Material coletado para análise laboratorial, porém não foi montada a pilha no dia 18/10/2003.

\*\* Este material não foi coletado para análise laboratorial e nem foi montada a pilha devido à falta do mesmo no momento da coleta, sendo efetuada a montagem das pilhas no dia 25/10/2003.

Não foram apresentadas aqui as coletas 3 e 5 por se tratar do material 2 vindo da floresta, cujos resultados não serão apresentados e analisados neste trabalho.

Foram coletadas 2 toras de cada tipo de material na base das pilhas, 2 toras no meio da pilha e 2 toras no topo da pilha, para a verificação da variação das propriedades energéticas em função da posição do material na pilha. Do material que não se apresentou na forma de toras (lâminas e costaneiras) foi coletado um volume equivalente ao das toras. Para facilitar a retirada do material foram utilizados separadores.

Todo o material disposto no pátio foi empilhado. A primeira coleta, com exceção da serragem e cavaco para energia, foram as testemunhas, para a avaliação da variação da qualidade energética ao longo do tempo.

Para a verificação da influência do clima sobre o material armazenado, a EPAGRI Lages forneceu mensalmente boletins contendo o regime pluviométrico e de temperatura que serão utilizados para as análises posteriores e completas dos resultados obtidos.

As análises de laboratório para a determinação da qualidade energética de resíduos de madeira foram feitas a partir do material coletado em campo e que após chegar ao laboratório era preparado para as análises. A preparação consistia em:

Parte das toras foram descascadas. Como foram coletadas duas toras em cada posição da pilha (base, meio e topo) uma, de cada posição, permanecia com casca e a outra foi descascada. A casca foi coletada para a análise em separado da madeira e da casca. O material descascado foi a madeira de *Pinus* de 2,4 m e o *Eucalyptus*.

Todo o material coletado foi passado no picador, para a redução em cavacos. Mesmo a casca retirada das toras, também foi passada no picador. Os únicos materiais que não foram passados no picador foram a serragem e os cavacos para energia coletados na Battistella.

Após a passagem no picador, de cada tipo de material avaliado, o mesmo foi limpo, para evitar contaminação do material anteriormente picado, no material que foi posteriormente passado.

De todo material obtido no picador, foi feita uma amostragem, sendo recolhido em um saco de lixo, com capacidade para 50 litros, cavacos de cada tipo de material picado (um saco para cada tipo de resíduo).

Os sacos foram bem fechados para evitar a perda de umidade até o início das análises de laboratório e identificados com etiquetas, contendo o nome do material que estava sendo coletado.

Estando o material preparado foram iniciadas as análises de laboratório.

A partir da segunda coleta, o material também foi separado por posição na pilha (base, meio e topo).

As variáveis analisadas em laboratório foram: Teor de umidade, granulometria, densidade a granel ou massa específica do material (básica e aparente), teor de cinzas e poder calorífico superior e inferior.

Todas as variáveis analisadas em laboratório obedeceram normas internacionais [7, 8 e 9]. Porém, em função do tipo de material analisado e por se tratar de uma tese de doutora-

do foram realizadas algumas alterações metodológicas para obtenção de resultados mais confiáveis.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### A. Teor de Umidade

Os resultados obtidos para o teor de umidade dos resíduos avaliados ao longo de seis meses de armazenamento podem ser visualizados na Tabela I.

TABELA I  
VALORES DE TEOR DE UMIDADE, NA BASE VERDE, DOS RESÍDUOS AO LONGO DE SEIS MESES DE ARMAZENAMENTO

Amostra	Teor de umidade (%)			
	Recém coletado	1 mês	4 meses	6 meses
C	49	26	14	23
CE	56	31	15	22
CP	44	50	44	48
ECC	53	44	33	28
ESC	47	44	10	26
L	52	54	32	40
PCC	56	62	25	50
PSC	60	56	47	51
PV	29	38	33	35

\* Os resíduos denominados CB e SB não ficaram armazenados no pátio, portanto, as análises são sempre feitas em material recém produzido e aqui separadamente.

Legenda: C – costaneira; CE – casca de eucalipto; CP – casca de pinus; ECC – eucalipto com casca; ESC – eucalipto sem casca; L – lâmina; PCC – pinus com casca; PSC – pinus sem casca e PV – pinus vespa, SB – serragem e CB- cavaco da indústria.

Os materiais com melhor comportamento durante a armazenagem foram a costaneira, e a casca de eucalipto, seguidos do eucalipto sem casca. Os piores comportamentos foram para os materiais pinus sem casca, pinus atacado por vespa de madeira e casca de pinus.

Este resultado pode ser explicado porque a costaneira perde maior quantidade de umidade por ser um material com menores dimensões, mas maior área superficial para a perda de umidade. O pinus se mostrou com pior comportamento provavelmente devido à maior susceptibilidade à biodegradação, o que torna o material mais poroso, aumentando sua permeabilidade.

A madeira atacada por vespa da madeira não tem bom desempenho durante o armazenamento, devido ao aumento da permeabilidade da madeira pelo ataque do inseto e fungos associados, o que permite que a madeira adquiria umidade do ambiente com grande facilidade. Assim o teste demonstrou que a secagem não é diretamente proporcional à absorção de umidade, e portanto é preferível que este tipo de material seja trazido para a indústria e utilizado sem que ocorra armazenagem.

Considerando que as empresas que utilizam resíduos de biomassa para a geração de energia normalmente devem optar pelo tipo de resíduos que utilizarão, esta informação é

muito importante para se determinar qual o melhor material a ser armazenado em pátio.

Além disso, na região de Lages, onde o estudo foi desenvolvido, existe grande disponibilidade de material na forma de costaneiras com casca, sendo este o material com melhor desempenho em armazenamento.

Porém, com o desenvolvimento da indústria da madeira, esta começando a se estabelecer uma concorrência deste tipo de material com a indústria produtora de celulose e papel.

O tempo de armazenamento mais adequado é entre um e quatro meses, sendo que o período de um mês é muito reduzido e o de seis meses é muito elevado. Com um mês o material não perdeu a quantidade de umidade necessária para o uso em energia e com seis meses a madeira já está entrando em processo de degradação e portanto, tornando-se mais permeável.

Apesar de aqui não estarem sendo apresentados os resultados nas demais coletas, para o material 2 (vindo da floresta), onde a segunda coleta foi realizada com 2 meses de armazenamento e a terceira coleta com 4 meses de armazenamento, os teores de umidade com 2 e 4 meses foram muito similares. Assim, pode-se dizer que o tempo de armazenamento mais adequado para o uso de resíduos para energia é de 2 meses.

A determinação do tempo de armazenamento mais adequado para a manutenção do material em pátio de armazenamento é fundamental pois implica no aumento ou redução dos custos de produção e na otimização do uso do material armazenado devido ao aumento ou diminuição da qualidade do resíduo para o uso em energia.

Todos os resíduos utilizados na análise chegam ao local de experimento com alto teor de umidade, em média 50%, com exceção do pinus atacado por vespa da madeira, com em torno de 30% de umidade.

Quando se trabalha com biomassa florestal os teores de umidade são altos, o que acarreta em diminuição do poder calorífico do material. Apesar do alto teor de umidade, resíduos com esta característica são os que apresentam maior volume de disponibilidade na região de estudo.

Além disso, a simples determinação dos valores de teor de umidade já auxiliam a indústria no controle do processo de utilização do resíduo para a geração de energia.

## *B. Granulometria*

Os resultados obtidos para a granulometria são apresentados na Tabela II.

TABELA II

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS RESÍDUOS AVALIADOS NA QUARTA E SEXTA COLETAS REALIZADAS (QUATRO E SEIS MESES DE ARMAZENAMENTO)

Material analisado com quatro meses de armazenamento											
	SB	CB	PCC	PSC	CP	L	PV	ECC	ESC	CE	C
50 mm ou mais	0,00	0,38	2,10	0,83	0,00	0,00	0,00	1,29	3,33	2,44	0,49
37,5 a 50 mm	0,00	2,25	2,72	3,96	0,00	0,10	4,94	3,20	2,90	1,33	2,52
25 a 37,5 mm	0,07	15,70	18,35	27,31	3,59	5,83	21,26	16,75	21,75	15,54	15,98
12,5 a 25 mm	0,18	31,02	33,53	42,30	36,08	35,05	41,55	37,64	42,21	51,99	43,39
6,3 a 12,5 mm	0,16	16,07	35,14	18,86	26,95	37,61	23,15	29,27	19,80	14,47	27,30
3,35 a 6,3 mm	0,31	6,73	5,93	5,26	14,01	16,85	6,14	9,04	6,88	7,86	7,79
2,00 a 3,35 mm	0,62	2,84	1,14	0,30	6,82	3,24	0,92	1,64	1,40	2,59	1,45
0,85 a 2,00 mm	69,04	14,06	0,72	0,19	7,81	1,03	0,34	0,81	0,45	2,18	0,81
0,60 a 0,85 mm	18,87	5,82	0,18	0,04	1,42	0,10	0,07	0,12	0,06	0,43	0,08
0,425 a 0,60 mm	9,86	4,04	0,16	0,60	1,63	0,09	0,98	0,11	0,71	0,49	0,06
0,25 a 0,425 mm	0,88	1,09	0,02	0,35	1,22	0,05	0,61	0,09	0,45	0,42	0,05
Abaixo 0,25 mm	0,01	0,01	0,00	0,00	0,47	0,06	0,04	0,05	0,05	0,25	0,09
Material analisado com seis meses de armazenamento											
	SB	CB	PCC	PSC	CP	L	PV	ECC	ESC	CE	C
50 mm ou mais	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00	1,29	3,83	0,00	9,33	0,00	0,00
37,5 a 50 mm	0,00	1,10	6,42	0,00	0,82	0,00	6,06	0,00	0,82	8,18	5,67
25 a 37,5 mm	0,00	24,52	22,10	25,86	3,56	21,63	12,13	15,36	26,26	36,93	28,50
12,5 a 25 mm	0,00	17,20	47,94	50,18	48,68	34,89	49,42	52,90	36,97	26,59	46,20
6,3 a 12,5 mm	0,00	15,48	17,30	19,24	27,68	28,16	21,40	23,47	19,52	19,02	15,77
3,35 a 6,3 mm	0,57	3,86	4,57	3,48	8,62	11,88	5,44	5,63	4,93	5,71	3,23
2,00 a 3,35 mm	2,27	2,97	0,87	0,57	3,13	1,57	0,94	1,26	1,30	1,54	0,33
0,85 a 2,00 mm	75,74	12,99	0,54	0,45	3,98	0,43	0,52	0,85	0,56	1,05	0,13
0,60 a 0,85 mm	21,21	3,92	0,12	0,09	1,72	0,07	0,08	0,12	0,07	0,17	0,03
0,425 a 0,60 mm	0,21	1,28	0,09	0,03	1,41	0,05	0,09	0,13	0,04	0,18	0,03
0,25 a 0,425 mm	0,00	0,01	0,03	0,00	0,38	0,02	0,05	0,11	0,04	0,19	0,04
Abaixo 0,25 mm	0,00	0,01	0,01	0,09	0,02	0,01	0,04	0,17	0,16	0,44	0,08

A granulometria da serragem varia de 0,425 a 3,35 mm, sendo que de 70 a 80% do material tem granulometria entre 0,85 a 2,00 mm e de 15 a 20% do material tem granulometria entre 0,60 a 0,85 mm.

Para os resíduos em forma de cavacos, pode-se dizer que a granulometria foi de 0,85 a 50 mm, com maior concentração de material entre 3,35 a 37,5 mm.

O resíduo denominado Cavaco Battistella (CB), coletado junto à pilha de resíduos destinados à queima, produzidos pela Empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda. tem comportamento granulométrico diferente dos demais resíduos analisados. Este fato é explicado porque este resíduo constitui-se na mistura de resíduos provenientes de uma laminadora, uma serraria e uma fábrica de manufatura de painéis o que confere ao resíduo variação nas dimensões do material. Para este resíduo, em torno de 10 a 20% do material tem granulometria igual a da serragem (0,60 a 2,00 mm), sendo o restante do material com granulometria entre 3,35 a 37,5 mm, ficando entre 30 e 50% do material entre a granulometria de 6,3 a 25 mm.

Para a lâmina, a passagem do material no picador confere a mesma a concentração da granulometria entre 3,35 a 37,5 mm, com maior concentração de material, mais de 50% entre 6,3 a 25 mm. A casca de pinus tem o mesmo comportamento da lâmina, porém com maior concentração de material nesta granulometria.

Para a casca de eucalipto, com faixa de granulometria entre 3,35 a 37,5 mm, a maior quantidade de material fica entre 12,5 e 37,5 mm.

A determinação da granulometria do material destinado à queima é fundamental para a determinação do tipo de grelha de queima da caldeira. Além disso, mesmo após a instalação da grelha, a granulometria é importante para a determinação da mistura ideal de material para a queima.

Assim, o resíduo gerado em maior quantidade na região de estudo se constitui de material com pequena granulometria o que causa muitos problemas de homogeneidade de queima nos processo de geração de energia. A informação obtida no trabalho subsidia a indústria na produção de material com granulometria controlada.

### C. Densidade

Os resultados obtidos para a densidade são apresentados na Tabela III.

TABELA III  
VALORES DE DENSIDADE BÁSICA DE RESÍDUOS ARMAZENADOS POR SEIS MESES

Amostra	Densidade básica (Kg/m <sup>3</sup> )			
	Recém chegado	1 mês	4 meses	6 meses
C	368	354	380	409
CE	250	291	344	341
CP	303	244	267	237
ECC	363	369	418	417
ESC	414	411	444	451
L	3220	379	383	378
PCC	334	287	300	284
PSC	314	324	293	317
PV	303	329	293	286
SB*	246	167	165	172
CB*	377	328	281	261

\* Material que não sofreu armazenamento

A serragem coletada na indústria da madeira tem densidade básica (peso seco/volume verde) de 160 a 240 Kg/metro cúbico. O cavaco produzido pela indústria tem densidade de 260 a 370 Kg/metro cúbico e os outros tipos de materiais tem densidade variando entre 250 a 450 Kg/metro cúbico.

Apesar deste valor ser teórico, pois a densidade real é a densidade aparente (a um determinado teor de umidade), dá indicativos da perda de massa ao longo do tempo de armazenamento, que indica o nível de biodegradação da madeira.

A densidade aparente ainda precisa de alguns ajustes para a determinação dos valores confiáveis. Porém, estes valores e a análise da sua variação ao longo do tempo permitem dizer que não ocorreu o que se esperava, ou seja, esperava-se que houvesse uma perda de massa ao longo do tempo de armazenamento, em função da biodegradação do material.

Ao contrário, o que se observou foi um ganho na densidade do material, para a maioria dos resíduos. Os resíduos que apresentaram perda de densidade foram o pinus atacado por vespa da madeira, o pinus com casca e a casca de pinus. Para o pinus atacado por vespa, como já houve uma degradação previa, e com isso aumento da permeabilidade e compreensível que a degradação seja mais rápida.

Estes resultados indicam que a perda de biomassa ao longo de seis meses de armazenamento não é significativa em função da biodegradação. Portanto, quando se usa a madeira para a geração de energia, o armazenamento por seis meses não diminui a quantidade de massa que gera energia.

#### D. Poder Calorífico

Os resultados do poder calorífico líquido, que é o efetivamente disponível para a geração de energia estão apresentados na Tabela IV.

O poder calorífico superior dos resíduos variou entre 4100 e 4800 Kcal/Kg. Este valor é teórico, pois é determinado na madeira em peso anidrido. Assim, o valor que interessa para a geração de energia é o poder calorífico líquido que variou de 940 Kcal/Kg (material com 65% de umidade) a 3800 Kcal/Kg (material com 10% de umidade). De forma geral, o poder calorífico aumenta em função do tempo de

armazenamento, pois está diretamente ligado ao teor de umidade do material.

A determinação desta variável para o material avaliado tem valor para o controle do processo, através do controle da admissão do material para a queima na caldeira.

TABELA IV  
PODER CALORÍFICO LÍQUIDO DOS RESÍDUOS, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO

Amostra	Recém chegado		Um mês de armazenamento		Quatro meses de armazenamento	
	PCL (Kcal/Kg)	TU BV (%)	PCL (Kcal/Kg)	TU BV (%)	PCL (Kcal/Kg)	TU BV (%)
C	1966	49	3080	25	3618	14
CE	1550	56	2808	31	3652	15
CP	2221	44	1876	50	2150	43
ECC	1775	53	2121	44	2723	33
ESC	2044	47	2172	44	3892	10
L	1636	52	1659	54	2756	32
PCC	1662	56	1216	62	3052	25
PSC	1404	60	1545	56	1914	48
PV	2517	29	2444	38	2687	33
CB	1777	50	1931	49	2481	36
SB	2193	43	1466	57	942	65

#### E. Teor de Cinzas

Os resultados do teor de cinzas do material analisado estão apresentados na Tabela VI.

TABELA VI  
VALORES DE TEOR DE CINZAS DOS RESÍDUOS ANALISADOS

Amostra	Teor de cinzas (%)			
	recém chegado	1 mês	2 meses	6 meses
CB	0,33	3,06	0,54	5,39
SB	0,34	0,27	0,27	0,33
ECC	1,01	0,95	0,67	0,74
PCC	0,41	0,38	0,44	3,61
PV	0,38	0,13	0,42	1,05
L	0,44	0,18	0,25	0,57
C	0,40	0,31	0,39	1,25
ESC	0,50	0,49	0,53	0,86
CE	3,90	3,58		2,08
CP	0,88	1,40	0,64	8,33
PSC	0,40	0,21	0,34	1,19

O teor de cinzas do material a ser queimado indica qual será o volume de resíduos gerados após a queima do material. Com relação à madeira o teor de cinzas é sempre baixo e neste estudo foram encontrados valores entre 0,13 a 8,3% de cinzas.

De maneira geral o teor de cinzas da madeira não é um complicador para o uso desta para a geração de energia, devido inclusive ao seu baixo teor de enxofre.

Estes resultados são importantes para o estabelecimento de um banco de dados do teor de cinzas de cada tipo de ma-

terial utilizado para a geração de energia.

#### IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RL. Bain, KC. Craig. and RP. Overend. *Biomass Gasification - Commercialization and Development: The Combined Heat and Power (CHP) Option*. National Renewable Energy Laboratory, 1999.
- [2] M.A. Brand, F.J. Simioni, D.N.H. Rotta, e L.G.P. Arruda. Caracterização da produção e uso dos resíduos madeiráveis gerados na indústria de base florestal da região serrana catarinense. UNIPLAC. Lages, SC, Relatório técnico. Dezembro. 2001.
- [3] M. Caron Neto. *Pinus conquista espaço na região sul. Revista da Madeira*. Ano 10, nº 58, .p 24-28. 2001.
- [4] S.T. Coelho, A. Varkulya Jr, C.E.M. Paletta, P. Guardabassi, O.S. Martins. Geração de energia da madeira de reflorestamento. *Revista da Madeira*. Ano 11. nº65. p. 24-26. 2002.
- [5] FAO. Contribution of woodfuels to energy sector. State of the world's forests. *Editorial Group FAO Information Division FAO*. Rome. p 37-40.1999.
- [6] MR. Souza. “Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais - IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas”. In *Proc. 1997 Workshop sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana*. p. 49-70.
- [7] TAPPI. *The leading technical association for the worldwide pulp, paper and converting industry*. T 264 om-88, 1998.
- [8] TAPPI. *The leading technical association for the worldwide pulp, paper and converting industry*. T211, 1998.
- [9] TAPPI. *The leading technical association for the worldwide pulp, paper and converting industry*. T4 m-59, 1998.