POTENCIAL ENERGÉTICO DO INSUMO FLORESTAL PINUS E MISTURA COM LODO PARA A INDÚSTRIA PAPELEIRA

Sueli Zminko¹, Graciela Ines Bolzon de Muniz².

1. Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Campus Jardim Botânico, Curitiba, Paraná, Brasil. (sue_zk@yahoo.com.br)
2. Professora Doutora orientadora, coordenadora do LabNano-Sisano da Universidade Federal do Paraná.

Recebido em: 08/09/2015 – Aprovado em: 14/11/2015 – Publicado em: 01/12/2015
DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_211

RESUMO

O uso do insumo energias renováveis está cada vez mais sendo propagado entre os diversos setores da indústria, seja por razões econômicas ou ambientais. No Brasil a biomassa florestal do *Pinus* e do *Eucalyptus* são as que mais se evidenciam, pelo fato de não competirem com a cadeia alimentar. O presente trabalho buscou trazer informações bibliográficas e qualitativas, através de análises e testes de média, sobre a biomassa do *Pinus* e mistura com o lodo gerado pela indústria papelreira, com a finalidade de fornecer subsídios técnicos para uma melhor escolha do insumo a ser utilizado como fonte de energia. Foram analisadas duas misturas: (pinus) e (pinus + lodo), sendo o lodo primário oriundo da produção de uma indústria de papel. As análises imediatas realizadas permitiram identificar as amostras das diferentes misturas. Visando avaliar o potencial energético analisou-se as seguintes variáveis: umidade, densidade, granulometria, teor de cinzas e poder calorífico superior. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que: a) a biomassa que contém somente *Pinus* apresentou melhor qualidade em poder calorífico superior; b) o teor de cinzas foi baixo para ambas as misturas analisadas; c) da granulometria, a variável pó, que é um problema para o entupimento das caldeiras, se mostrou com menor porcentagem na mistura Pinus + lodo. Da mistura que contém lodo, constatou-se que sua inclusão não se torna um impedimento para queima, pois nos testes de média, seus resultados não diferem estatisticamente. Tais dados, evidenciaram a sustentabilidade do uso da biomassa do *Pinus* como fonte de energia renovável.

PALAVRAS CHAVE: Bioenergia, *Eucalyptus*, lodo.

POTENTIAL ENERGY OF INPUT PINE FOREST AND MIXING WITH SLUDGE TO PAPER INDUSTRY

ABSTRACT

The use of input renewable energy is increasingly being propagated between the various sectors of industry, either for economic or environmental reasons. In Brazil the forest biomass of *Pinus* and *Eucalyptus* are those more evidence, because it does not compete with the food chain. This study sought to bring literature and qualitative information through analysis and mean tests on the biomass of pine and mixed with the sludge generated by the paper industry, in order to provide technical

support for a better choice of input to be used as power supply. Two mixtures were analyzed: (pinus) and (pinus + sludge), the primary sludge derived from the production of the paper industry. The immediate analyzes have identified the samples of different blends. To evaluate the energy potential we analyzed the following variables: moisture, density, particle size, ash content and higher calorific value. Based on these results, we conclude that: a) biomass containing only pine showed better quality gross calorific value; b) the ash content was low for both mixtures analyzed; c) the particle size, the powder variable, which is a problem for clogging the boiler, showed a lower percentage in Pinus + sludge mixture. The mixture containing sludge, it was found that their inclusion does not become an impediment to burning, because the average of tests, their results do not differ statistically. These data highlighted the sustainable use of biomass of Pinus as a source of renewable energy.

KEYWORDS: Bioenergy, *Eucalyptus*, Sludge.

INTRODUÇÃO

A crise mundial de energia é uma realidade vivenciada e é impreterível a busca por fontes renováveis. Devido às questões sociais, ambientais e também econômicas, várias formas de se obter essa energia estão sendo implantadas, como por exemplo, o uso da biomassa proveniente de origem vegetal que, apesar de sua queima, não emite CO₂, pois este é absorvido previamente pela planta. O tema Biomassa é extremamente amplo, ainda que muitos autores o utilizem de uma forma genérica, devido à enorme abrangência das fontes existentes. Do ponto de vista energético, o Centro Nacional de Referência em Biomassa define como todo material renovável de origem orgânica (animal ou vegetal), excluindo-se os de origem fóssil, que pode ser utilizado para produzir energia (CENBIO, 2010). Existem diversas espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser utilizadas para a produção de biocombustíveis, entre elas a soja, o girassol, a cana de açúcar e estas também são usadas na alimentação humana, o que acaba concorrendo e elevando seu preço. Sendo assim, e sabendo que o Brasil é rico em diversidade de biomassa, constata-se que matérias primas que não irão competir com a cadeia alimentar humana, devem ser o foco de pesquisas, para utilização como fonte de energia.

No cenário mundial das indústrias, a área papelreira se apresenta como uma das mais importantes. Seus processos de produção demandam grande quantidade de energia. Porém, essas indústrias de papel vêm se destacando no cenário mundial, por seus processos de produção gerarem poucos resíduos quando comparados com outros segmentos do mercado madeireiro. Assim a legislação ambiental possui exigências para que as indústrias se enquadrem para conseguirem certificações ambientais incentivando essas a buscarem soluções que atendam as leis ambientais e, ao mesmo tempo tornem seus produtos competitivos no mercado (LÉBEIS, 2003). E, para tentar minimizar a dependência dos combustíveis fósseis e contribuir com a queda no aquecimento global, muitas indústrias papelreiras utilizam também como fonte de combustíveis seus resíduos primários: licor negro, lodo. Segundo a BRACELPA (2011), apesar da queima do lodo não ser um processo comum utilizado por indústrias brasileiras, o mesmo pode ser queimado juntamente com a biomassa, pois estará contribuindo para a diminuição da deposição dos aterros. O lodo produzido pelas indústrias papelreiras geralmente tem como destino aterros sanitários, o que está previsto na legislação ambiental, mas tal ação resulta em uma prática não sustentável acarretando ônus para a empresa, sendo que o

aterro usado para descarte vem encontrando dificuldades em vários países devido ao esgotamento de áreas para aterrar resíduos industriais (HOJAMBERDIEV et al, 2008).

Observando-se os dados da Figura 1, onde na década de 40, de toda a energia que o Brasil consumia 80% era proveniente da queima da lenha, convém enfatizar que houve um “upgrade” nas fontes de energias renováveis, contribuindo para um processo de sustentabilidade, no qual estas estão inseridas e também podem ser obtidas através do uso da biomassa proveniente de florestas plantadas.

Fontes	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2008	2009
Petróleo, Gás Natural e Deriv.	6,4	12,9	25,7	38,0	49,2	43,7	50,9	48,1	46,8	46,6
Carvão Mineral e Derivados	6,4	4,8	2,9	3,6	5,1	6,8	7,1	6,3	5,8	4,7
Hidráulica e Eletricidade	1,5	1,6	3,2	5,1	9,6	14,1	15,7	14,8	14,0	15,2
Lenha e Carvão Vegetal	83,3	78,1	63,9	47,6	27,1	20,1	12,1	13,0	11,6	10,1
Produtos da Cana	2,4	2,7	4,3	5,4	8,0	13,4	10,9	13,8	17,0	18,2
Outras ¹				0,3	0,9	1,9	3,3	4,1	4,8	5,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

1: Inclui Outras Fontes Primárias Renováveis e Urânio

FIGURA 1. Evolução da oferta interna de energia.

Fonte: BEN (2010)

As florestas plantadas ou florestas energéticas se caracterizam pelo seu rápido período de crescimento, cerca de 4 a 5 anos formando maciços florestais que geram uma grande quantidade de energia por hectare, no menor espaço de tempo possível, apresentando madeira de alta densidade, além da utilização dos desbastes, tornando-se uma fonte cada vez mais competitiva de bioenergia, bem como desempenham um papel social e ambiental, cada vez mais importante (ABRAF, 2012).

Estudos demonstram que as espécies *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* são as mais utilizadas para produção de biocombustível e geração de energia renovável (COUTO et al., 2004). Nos processos de conversão energética, os estudos sempre visam o aumento do ganho energético do material. Conforme BRAND (2010), devido a alta produtividade das florestas brasileiras e o grande volume de resíduos gerados na indústria de base florestal, o Brasil faz uso de tecnologias modernas para a conversão desta biomassa em energia elétrica através de termelétricas ou nos sistemas de cogeração. Porém, alguns pontos concernentes à qualificação energética ainda são pouco estudados e desenvolvidos. Na década de 70, VARGAS (1979), já citava que o desenvolvimento de estudos na área de qualificação da biomassa florestal para o uso energético deve ser um dos pontos importantes de pesquisa no Brasil e no mundo. Assim sendo, estudos e análises, visando não somente a preservação de florestas nativas como também a qualidade da biomassa produzida tem se tornado cada vez mais importantes, para a implementação de tecnologias que as tornem mais eficientes na geração de energia nos mais variados

setores industriais. Desse modo, as ações para um desenvolvimento sustentável estão cada vez mais presentes nos vários segmentos que permeiam nossa sociedade e sabendo-se que o Brasil é dependente do petróleo, convém ressaltar que ele possui a matriz energética mais diversificada entre os países industriais, sendo que atualmente cerca de 45% é formada por fontes renováveis (MME, 2012). Conforme BRAND (2010), as principais características que definem se a biomassa é um combustível eficiente são: rápida secagem, baixas temperaturas de ignição, alta taxa de combustão e um alto poder calorífico presentes nesta. Dentro deste contexto, para ANTUNES (2003), citado por LOPES (2012), somente a alteração da fonte não garante aumento de ganhos energéticos no processo. O baixo poder calorífico e massa específica, altos teores de umidade, custos de exploração e transporte elevados, necessidade de preparação e dificuldade de manuseio, devido à variação granulométrica, são algumas das desvantagens da biomassa florestal. Estas variáveis precisam ser controladas para aumentar a eficiência de utilização e competitividade desta fonte. As fontes para geração de energia precisam ter determinadas características que os tornem aptos, sendo necessárias análises e conhecimento da sua composição química.

Portanto, através da análise das propriedades energéticas do insumo florestal *Pinus* sp e do lodo proveniente da produção de papel, este estudo pretendeu evidenciar qual biomassa fornecerá melhor potencial energético, para a escolha da biomassa a ser utilizada na queima como fonte de energia em uma indústria de papel.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

Os dados para realização deste trabalho foram coletados na Indústria Santa Maria Cia. de Papel e Celulose situada às margens da BR 277 na cidade de Guarapuava no centro-sul do Paraná, na data de 03 de abril de 2013 a 12 de julho de 2013.

Amostragem

Os materiais para estudo foram coletados separadamente e classificados. Para que fosse possível coletar amostras de turnos diferentes, optou-se por realizar as coletas em dias alternados, sendo realizadas duas coletas de 8 Kg de biomassa cada, com no mínimo de cinco horas entre estas. Na coleta constatou-se que a indústria, em determinados dias adiciona na biomassa do pinus a ser queimada, parte do lodo gerado por sua estação de tratamento dos efluentes do papel, (Figura 2). Dessa biomassa com lodo coletou-se em intervalos de dias mais espaçados, pois não havia um dia certo em que o lodo era misturado. Cada material coletado foi armazenado e identificado separadamente..

FIGURA 2. Lodo gerado na produção de papel.

Na Tabela 1 são mostrados os dois tratamentos e o número de amostras para cada um dos tratamentos.

TABELA 1. Classificação das amostras conforme seus componentes.

Nome do tratamento	Componente	Numero de amostras
(T1) Pinus	Biomassa de pinus	28
(T2) Pinus + lodo	Biomassa de pinus e lodo	28

Procedimentos das análises físicas e químicas das amostras

No mesmo dia da coleta, as amostras eram levadas ao laboratório para a análise do teor de umidade na base úmida, da qual se estipulou uma quantidade de 400 gramas (com três repetições cada) do material úmido para avaliação, sendo estas colocadas em sacos de papel, identificadas pesadas em balança de precisão e levadas à estufa, a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, onde analisou-se com 48h, 72h até seu peso constante, de acordo com a norma da ABNT NBR 14929/2003. Dependendo do estado da biomassa, se esta está na forma sólida (toras) ou na forma particulada (granel) é necessário usar metodologias diferentes para expressar sua massa. Para a determinação da densidade, utilizou-se a metodologia do cálculo da massa específica aparente, estabelecida por FOELKEL et al. (1990), visto que as amostras analisadas eram na forma de particulados (granel). Para tanto foram realizadas três repetições para cada procedência, onde colocou-se em um recipiente de volume conhecido a biomassa, pesando-se em balança analítica e ao final, convertido este peso em Kg/m^3 pela seguinte equação:

$$D = \frac{M_u}{V_u}$$

Onde:

D = densidade aparente ou massa específica aparente

M_u = Massa úmida, em Kg.

V_u = Volume úmido em m^3

O restante das amostras foram acondicionadas e identificadas em caixas de papel, e levadas à estufa na temperatura de $\pm 55^\circ\text{C}$ para secagem, e posteriormente serem feitas demais análises.

Após secagem do material em estufa determinou-se uma quantia de dois quilos da biomassa (com três repetições de cada amostra) para a análise da granulometria, no agitador de peneiras eletromagnético. Foram pré determinadas as granulometrias das partículas da biomassa a serem analisadas conforme BRAND, (2010) em: a partir de 12,5 mm até acima de 50 mm (cavaco); entre 0,85 a 12,4 mm (serragem) e abaixo de 0,85 mm (pó). As peneiras foram pesadas vazias e depois com o material de cada granulometria fazendo ao final uma média das três repetições, através de uma regra de três.

Para a análise da composição química do material examinado, as amostras foram primeiramente moídas, em um moinho de facas tipo Willye, com peneira de $1\frac{1}{2}\text{mm}$. Após moer 80 gramas de amostra, todo o moinho era limpo com um aspirador de ar, antes de se colocar uma nova amostragem, evitando-se assim contaminação. Como as amostras foram identificadas em 2 tratamentos, (pinus e pinus+lodo) as com lodo foram deixadas para serem moídas por último, para não ocorrer contaminação com as demais.

Posteriormente, cada amostra foi colocada em saco plástico a uma umidade relativa de $50 \pm 2\%$ e temperatura ambiente de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ sendo identificada e acondicionada na ordem de coleta objetivando facilitar o manuseio nas demais análises químicas.

Para a determinação do poder calorífico superior foi utilizada bomba calorimétrica seguindo as normas da ABNT NBR 8633/1984, onde foram realizadas duas repetições por amostra. Os teores de cinzas foram obtidos através da norma ABNT NBR 13999/2003, com três repetições de cada amostra. Pesou-se o cadinho vazio em balança analítica, anotado seu peso e pressionado a tecla "ON/Tare" foi colocado 2,0 g de amostra neste (anotado seu peso) sem tampa, acondicionado dentro da mufla onde após a combustão e o fim da chama fechou-se a mufla, aguardando de 2 a 3 horas, até a incineração total do material a $525^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$; retirando os cadinhos e colocado sob dissecador por 30 minutos e após isso pesou-se os cadinhos anotando seu peso e aplicou-se a equação abaixo, para obtenção dos resultados.

$$TC = \left(\frac{P_{ac} - P_c}{P_{as}} \right) \times 100$$

Onde:

TC = Teor de cinzas

P_{ac} = Peso das cinzas, em gramas, mais cadinho.

P_c = Peso do cadinho vazio.

P_{as} = Peso da amostra seca a 0% de umidade.

Delineamento estatístico

O delineamento estatístico teve a finalidade de testar se as diferenças entre as médias das variáveis: teor de umidade, granulometria, densidade, poder calorífico superior e teor de cinzas são estatisticamente significativas (FERREIRA, 2005). Os dados foram analisados no programa SISVAR da Universidade Federal de Lavras, pelo Teste de média de Tukey ($p > 0,05$), para cada variável.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando se trata de biomassa para geração de energia, o teor de umidade deve ser determinado na base úmida, pois é dessa forma que ela será utilizada como combustível. O percentual de umidade presente na biomassa é, segundo GULLICHSEN et al. (2000), um dos principais fatores que irão influenciar na capacidade de aquecimento dos combustíveis, visto que uma parte da energia liberada é consumida na vaporização. Ainda, segundo BRAND (2010), a umidade é uma variável mais importante que a espécie, sendo que irá interferir no poder calorífico do combustível, pois são inversamente proporcionais. Desse modo nos processos de combustão quanto maior a umidade, mais energia será necessária para eliminação da água.

Na Tabela 2 podem ser visualizados os resultados obtidos para o teor de umidade das biomassas utilizadas no estudo. Apesar da média das amostras serem alta, houve diferença significativa entre os tratamentos. O material de pior qualidade, em termos de teor de umidade foi à mistura T2 (pinus + lodo). A melhor mistura para queima foi o T1(Pinus). O teste de Tukey mostra que o tratamento T2 apresentou maior umidade (56,31%). Conforme BRITO & BARRICHELO (1982), para que a biomassa tenha melhor funcionamento na geração de energia, o teor de umidade deve ser inferior a 30%.

TABELA 2. Teor de umidade médio dos tratamentos analisados.

Tratamento	Umidade (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	52,91	5,44	A
T2 (Pinus + Lodo)	56,31	5,44	b

Como já citado, a umidade é um parâmetro importante a ser analisado na qualidade energética da biomassa florestal, e esse está diretamente relacionado com o poder calorífico, por tanto se achou pertinente demonstrar na Tabela 3 a relação do lodo originado do fabrico do papel, o qual contém alta taxa de umidade.

TABELA 3. Relação entre o teor de umidade com o poder calorífico.

Umidade do Lodo (%)	Poder calorífico (MJ/KG)
0	20,4
20	16,3
40	12,2
50	10,2
60	8,1
70	6,1
80	4,1
90	2,0

Fonte: adaptado de GULLICHSEN et al. (1999) citado por PINHEIRO (2008)

A densidade é uma propriedade indispensável a ser analisada quando se quer avaliar a qualidade da madeira para fins energéticos, pois esta representa a quantidade de massa presente em um determinado volume de material. Ela também fornece dados para efeitos de custos com transporte da biomassa, onde quanto maior a densidade do material, menor será o custo. Entre indivíduos e entre diferentes espécies de árvores, a densidade dessas pode variar, usualmente não obedecendo a um padrão de variações (ZIECH, et al., 2011). BRAND, (2010) identificou que, quanto maior a umidade maior o peso e, consequentemente, maior a densidade aparente. Para a variável densidade, observa-se na Tabela 4 que os tratamentos T1 e T2 não diferem estatisticamente. BRAND, (2010) evidenciou que isso se deve ao fato de a densidade aparente ser influenciada pelo teor de umidade e pela granulometria das partículas, visto que no tratamento T2 ser constituído de lodo, este contém muita umidade além de ser bem mais particulado.

TABELA 4. Densidade média dos tratamentos analisados

Tratamento	Densidade (kg/m ³)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	282,28		a
T2 (pinus + Lodo)	285,00	3,70	a

A classificação granulométrica de um material irá determinar suas dimensões, a qual tem influência direta na densidade a granel do material a ser utilizado como fonte de energia. BRAND, (2010) e QUIRINO et al., (2004) colocam que o ideal para queima é que as partículas de biomassa que formam a granulometria, tenham tamanho maior que 3mm e menor que 30mm. Cavacos muito grandes causam entupimento do fluxo do sistema além de proporcionar uma menor superfície de evaporação, assim como partículas muito finas podem ser carregadas pelo ar dentro da chaminé, sem passarem pelo processo de combustão (BRAND, 2010). A granulometria de um combustível sólido tem importância, pois podem entupir grelhas dificultando a passagem do ar de combustão, se muito pequenas podem ser arrastadas sem terem sido queimadas completamente. De posse desses dados, o comprador pode incluir as especificações como condições ao seu fornecedor.

Para a variável cavaco, a Tabela 5 mostra que não existe diferença significativa entre os tratamentos analisados. A média geral foi 60,95 % o que equivale em 1,244 gramas num total de dois quilos de biomassa, com um CV= 11,5%.

TABELA 5. Porcentagem média de cavaco para os tratamentos analisados

Tratamento	Cavaco (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	60,2	11,5	a
T2 (pinus + Lodo)	61,7	11,5	a

Os diferentes tratamentos não demonstraram diferença a 0,05% de probabilidade para a variável serragem, conforme pode ser observado na Tabela 6 mostrando comportamento similar, constatando-se um CV= 4,15% com média geral de 34,5%. Contudo, em termos de teor de serragem quando analisada pelo teste de Tukey, o T1 se mostrou o melhor tratamento, por apresentar a menor porcentagem.

TABELA 6. Porcentagem de serragem para os tratamentos analisados

Tratamento	Serragem (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	34,0	4,15	a
T2 (pinus + Lodo)	34,1	4,15	a

Na análise da variável pó, foi constatado que os dados são heterogêneos, havendo a necessidade de transformação desses, sendo usada a opção ($\bullet x+1$) para permitir a homogeneidade, mostrando diferença significativa, onde o CV= 2,23% e a média geral de 5,0%. Pela Tabela 7 constata-se que o tratamento T1 pelo teste de Tukey destaca-se com a maior média, no entanto, o interesse da análise é saber qual a menor porcentagem de pó, que nesse caso o tratamento T2 demonstrou, talvez pelo fato do lodo se aglutinar na amostra.

TABELA 7. Porcentagem de Pó para os tratamentos analisados

Tratamento	Pó (%)	CV (%)	Tukey
T2 (Pinus + Lodo)	4,2	2,23	a
T1 (pinus)	5,8	2,23	b

O poder calorífico da biomassa florestal que é o calor liberado durante o processo de combustão de um quilograma do mesmo, está diretamente relacionado com a eficiência do combustível (BRAND, 2010). No Brasil ele geralmente é expresso em unidades de caloria, quilocaloria por quilograma ou joules por unidade de massa. Por definição, quanto maior o poder calorífico, maior será a energia liberada. Segundo o observado por SLIGH & KOSTECKY (1986) e citados por BRAND, (2010), as diferentes partes de uma árvore podem apresentar diferentes valores em termos de poder calorífico. Verifica-se pela Tabela 8, que, estatisticamente o poder calorífico superior médio entre os tratamentos, apesar da presença de lodo, não difere significativamente chegando a 4784 Kcal/cal com um CV= 4,20% e média de 4735 Kcal/cal. Nos estudos de BRAND, (2007) o poder calorífico superior de Pinus taeda chegou a 4806 Kcal/cal e 4590 Kcal/cal para o Eucalyptus dunnii. Já para o lodo, na literatura os dados sobre o poder calorífico deste são escassos. Com relação ao poder calorífico, a biomassa constituída apenas de pinus teve os melhores resultados, contudo a inclusão do lodo não interferiu negativamente na qualidade energética da biomassa. De acordo com MME, (2013) o poder calorífico superior para lenha comercial é 3.300 Kcal/cal.

TABELA 8. Poder calorífico superior para os tratamentos analisados

Tratamento	Poder calorífico superior (Kcal/cal)	CV (%)	Tukey
T2 (Pinus + Lodo)	4686	4,20	a
T1 (Pinus)	4784	4,20	b

Os dados relativos ao teor de cinzas variam conforme a composição da biomassa. Nos processos que necessitam de energia, as cinzas são componentes indesejáveis, pois quanto maior o percentual deste resíduo, menor será o poder calorífico da biomassa usada como combustível. Em caldeiras para produção de vapor, um alto teor de cinzas pode fundir-se nessas tornando-se um material extremamente tóxico (EMBRAPA, 2010), sendo que a quantidade de cada componente encontrado depende do material utilizado como combustível. GÖTTSCHING et al. (2000) fez uma comparação entre diversos materiais em relação ao teor de cinzas e o poder calorífico. (Tabela 9)

TABELA 9. Comparação do teor de cinzas e o poder calorífico de diversos tipos de insumo

Fonte de energia	Teor de cinzas (%)	Poder calorífico (Mj/Kg)
Madeira (seca ao ar)	<1	14 -17
Lodo de destinação (úmido)	40 – 60	7 – 10
Lodo biológico (úmido)	20 – 40	70 – 80
Rejeitos (úmido)	8 - 12	20 - 50

Fonte: adaptado de GÖTTSCHING et al. (2000)

Da análise do teor de cinzas contido nos tratamentos, houve necessidade de transformação dos dados que não se mostraram homogêneos, assim sendo, as médias foram transformadas através da raiz quadrada de $(Y + 1.0)$, com um CV= 41,4% e média de 0,09%. Observa-se na Tabela 10 que, pelo teste de Tukey o T1 e o T2 não diferem estatisticamente. NOGUEIRA & LORA, (2003), verificaram o baixo teor de cinzas presentes na composição química de diferentes tipos de biomassa. Desse modo, o tratamento que apresentou resultados satisfatórios foi o T1, contendo o menor teor de cinzas 0,09%. O conteúdo de cinzas de uma biomassa pode variar também em função da idade do vegetal e pode ser dividido em duas categorias: natural e poluído, este seria o que durante os processos de manuseio, sofre incrustações de materiais inorgânicos como terra e areia, de acordo com Brand, (2007). No entanto, BRAND, (2007) encontrou valores médios para o teor de cinzas do Pinus de 0,38% e para a espécie de *Eucalyptus dunni* foi de 0,40%.

TABELA 10. Porcentagem de cinzas para os tratamentos analisados

Tratamento	Cinzas (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	0,09		a
T2 (Pinus + Lodo)	0,10	41,4	a

CONCLUSÕES

Deste estudo concluiu-se que:

1. apresentou poder calorífico superior significativo a biomassa do Pinus denominada de T1 ficando dentro dos parâmetros encontrados na literatura;

2. a mistura Pinus + Lodo expressou uma maior densidade devido ao fato de o lodo possuir alto teor de umidade;
3. apesar das análises do teor de cinzas não terem diferido estatisticamente, quando se leva em consideração a escala em toneladas, é baixo para ambas as misturas estudadas caracterizando pequena quantidade de resíduos após a queima;
4. a variável Pó considerada um problema para o entupimento das caldeiras, se apresentou com menor porcentagem na mistura T2.

Dos resultados comparativos das biomassas analisadas, mesmo o poder calorífico superior não diferir estatisticamente e sabendo-se que a umidade é um fator expressivo na escolha do insumo a ser utilizado para queima, a que apresentou resultados satisfatórios foi o tratamento denominado de T1.

Constatou-se ainda que a inclusão do lodo primário gerado pela indústria, na biomassa, não mostrou ser um impedimento para sua queima, porém tem-se que levar em conta a questão econômica e a logística para saber se é viável investir em um sistema que fará utilização desse tipo de combustível, pois dependerá da quantidade de resíduos que se produzirá para justificar tal investimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Espécies de florestas plantadas como fonte de energia**. [s.l.], 2012. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 20 nov/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: 1984**. Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999: 2003**. Determinação do resíduo Cinzas após a incineração. Rio de Janeiro, 2003.

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

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **BEN** [s.l.] 2010. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/default2010.aspx>>. Acesso em: 14 nov/2013.

BRACELPA. **Relatório de sustentabilidade, 2011**. Disponível em: <http://bracelpa.org.br/bra2/sites/files/public/RA02-relatorioFlorestal_2010.pdf>. Acesso em 05 abr/2014.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. 151f.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 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. São Paulo. Anais, 1982. p. 101-137. Disponível em: < <http://www.proceedings.scielo.br>>. Acesso em: 09 ago/2013.

CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA EM BIOMASSA - **CENBIO**. USP/São Paulo, 2010. Disponível em: < <http://cenbio.iee.usp.br/publicacoes.htm>>. Acesso em: 13 nov/2013.

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CAMARA, D. Vias de **valorização energética da biomassa**. Biomassa & energia. [s.l.]. v1, n1, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Projeto Florestas Energéticas 2010**. [s.l.], 2010.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: editora UFLA, 2005. 664p.

FOELKEL, C. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. **Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose**. 1990. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos>>. Acesso em: 11jun/2013.

GÖTTSCHING, L.; PAKARINEN, H. **Environmental Footprint Comparasion Tool . A tool for understanding environmental decisions related to the pulp and paper industry**. [s.l.], 2000. Disponível em: <<http://www.paperenvironment.org/>>. Acesso em: 16 out/2013.

GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. **A Papermaking science and technology**. Editora Chemical pulping. Helsinki: Fapet Oy, 2000, v. 6A, 693 p.

HOJAMBERDIEV M., KAMESHIMA Y., NAKAJIMA A., OKADA K., KADIROVAZ.: Preparation and sorption properties of materials from paper sludge. **Journal of Hazardous Materials**, 151, n. 2-3; p. 710-719 - 2008.

LÉBEIS, V. D. L., Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas. 96p. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

LOPES, G. A. Uso energético de resíduos madeireiros em um polo de produção de cerâmica vermelha do estado de São Paulo. **Tese** de doutorado. Piracicaba, 2012. Disponível em: <www.teses.usp.br/.../Guilherme_de_Andrade_Lopes_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 12 mar/2014.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS. **MME**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 13 nov/2013.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS. **MME**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/galerias/arquivos/publicacoes/BEN_Ano_Base/2012_Completo.pdf>. Acesso em: 04 mar/2014.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200 p.

PINHEIRO, R. M. Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica argilosa. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2008.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L.; AZEVEDO, A. C. S. **Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos**. Biomassa & energia. Viçosa, v.1, n. 2 (2004).

VARGAS, I. J. Biomassa. **In**: Simpósio nacional sobre fontes convencionais e alternativas de energia. Brasília: câmara dos deputados, 1979. Disponível em: <<http://worlcat.org/libraries/31168.pdf>>. Acesso em: 08 ago/2014.

ZIECH, R.Q.S.; RIBEIRO, A. O.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. **Variação da densidade básica da madeira de *Toona Cibata* Roem cultivada em diferentes localidades**. Scientia Florestalis. Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 359-356, set. 2011.