



POTENCIAL DE USO DE BIOMASSA
VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE
BRIQUETES NA REGIÃO DO BAIXO-AÇU
NO RIO GRANDE DO NORTE

Thais Estevão dos Santos

Projeto final de curso em Engenharia de
Bioprocessos

Orientadores:

Valéria Castro de Almeida, - D.Sc.

Silvio Roberto de Lucena Tavares, - D.Sc.

POTENCIAL DE USO DE BIOMASSA VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES NA REGIÃO DO BAIXO- AÇU NO RIO GRANDE DO NORTE

Thais Estevão dos Santos

Projeto final de curso submetido ao Corpo Docentes da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de graduação em Engenharia de Bioprocessos.

Aprovado por:

Cheila Gonçalves Mothé - D.Sc.

Simone Louise Delarue C. Brasil - D.Sc.

Shirlei Aparecida de Oliveira – M.Sc.

Orientado por:

Valéria Castro de Almeida, - D.Sc.

Silvio Roberto de Lucena Tavares

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Dezembro de 2012

Santos, Thais Estevão dos.

Potencial de uso de biomassa vegetal para produção de briquetes na região do Baixo-Açu no Rio Grande do Norte/ Thais Estevão dos Santos. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2012.

viii, 36 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2012.

Orientadores: Valéria Castro de Almeida e Silvio Roberto de Lucena Tavares.

1. Biomassa vegetal. 2. Briquetagem. 3. Energia renovável. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Valéria Castro de Almeida, - D.Sc. e Silvio Roberto de Lucena Tavares, - D.Sc..

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marcia e Arnaldo, e minha irmã, Patrícia, que sempre me apoiaram e deram condições para me dedicar aos estudos e contruir minha carreira.

Aos meus amigos da faculdade que enfrentaram junto comigo a rotina de estudos e esforço para absorver todo o conhecimento possível e obter resultados positivos nas disciplinas.

Ao meu orientador, Silvio, que me ajudou não só a realizar esta tese como me deu oportunidade de aprender com o dia a dia de uma empresa quando estagiei sob sua supervisão.

À orientadora, Valéria, que foi fundamental para a consolidação e realização deste projeto final de curso.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia de Bioprocessos.

POTENCIAL DE USO DE BIOMASSA VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES NA REGIÃO DO BAIXO-AÇU NO RIO GRANDE DO NORTE

Thais Estevão dos Santos

Orientadores: Valéria Castro de Almeida, - D.Sc.

Silvio Roberto de Lucena Tavares, - D.Sc.

RESUMO

Em vista da oportunidade de reaproveitamento de biomassas e preservação ambiental, fez-se um estudo com 5 biomassas agrícolas plantadas (capim elefante e vetiver); biomassa disponível em corpos hídricos superficiais (macrófita) e biomassas advindo de explorações florestais (carnaúba e palmeira real), para a produção de briquetes visando a utilização deste combustível sólido nas cerâmicas vermelhas estruturais na região do Baixo-Açu no Rio Grande do Norte. Foi feita a avaliação das propriedades físicas, químicas e energéticas das matérias primas mencionadas anteriormente. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) consistindo na análise para determinar a qualidade das mesmas, para uso como combustível térmico, totalizando 15 parcelas experimentais (5 biomassas X 3 repetições). Os resultados mostram que os briquetes oriundos das biomassas vegetais como palha de carnaúba e capim elefante, apresentam grandes potenciais para o uso na geração de energia térmica nos fornos existentes das cerâmicas da região do Baixo-Açu, RN e que essas biomassas podem ser utilizadas na fabricação de briquetes tanto de forma individual como misturadas em *blends* de diferentes composições, visando a manutenção de fabricação de briquetes ao longo de todo o ano agrícola apresentando uma maior regularidade das características físico-térmicas dos mesmos.

Palavras Chave: Biomassa vegetal; Briquetagem; Energia renovável; Monografia (Graduação – UFRJ/EQ); Valéria Castro de Almeida e Silvio Roberto de Lucena Tavares.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	1
I.1. Biocombustível sólido.....	5
I.2. O processo industrial da produção de briquetes	5
I.3. Propriedades dos briquetes.....	8
Capítulo II - Objetivo	9
Capítulo III - Materiais e Métodos	13
III.1. Análise imediata.....	14
III.2. Quantificação de C H N.....	16
III.3. Determinação de Fibra em Detergente Ácido (FDA).....	16
III.4. Determinação de Fibra em Detergente Neutro (FDN).....	16
III.5. Preparação das amostras.....	17
III.6. Densidade dos briquetes.....	18
III.7. Poder Calorífico Superior.....	18
Capítulo IV - Resultados e Discussão	21
IV.1. Análise imediata.....	21
IV.2. Quantificação de CHN e análise elementar.....	22
IV.3. Densidade dos briquetes.....	25
IV.4. Poder Calorífico Superior.....	29
Capítulo V – Conclusão	32
Referências Bibliográficas	33
Apêndice A: Análise de variância para as propriedades das biomassas PC, CE, CV, M e PR.....	35
Apêndice B: Propriedades das biomassas para geração de energia.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de consumo final de energia no mundo-1973 e 2006.....	2
Figura 2. Produção de energia primária.....	2
Figura 3. Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil.....	3
Figura 4. Produção primária de energia renovável no RN.....	4
Figura 5. Consumo final de energia por fonte no Rio Grande do Norte.....	4
Figuras 6 e 7. Imagens do fluxo industrial e comercial do briquete	7
Figura 8. Carnaúba da região do Baixo-Açu.....	10
Figura 9. Capim elefante.....	11
Figura 10. Macrófita.....	11
Figura 11. Capim vetiver.....	12
Figura 12. Palmeira Real.....	12
Figura 13. Briquetadeira Lippel®, modelo BL 95.....	14
Figura 14. Briquetadeira Lippel®, modelo LB 32.....	14
Figura 15. Briquete com a biomassa macrófita.....	18
Figura 16. Briquete com a biomassa palmeira real.....	18
Figura 17. Briquete com a biomassa capim vetiver.....	18
Figura 18. Calorímetro.....	19
Figura 19. Acessórios do calorímetro.....	19
Figura 20. Agitador de peneiras.....	20
Figura 21. Cadinho de alumínio e parte interna da bomba calorimétrica.....	20
Figura 22. Bomba calorimétrica sendo inserida no equipamento.....	20
Figura 23. Visor de resultados e ajustes do calorímetro.....	21
Figura 24. Gráfico da densidade dos briquetes blendados.....	29
Figura 25. Gráfico do poder calorífico superior dos briquetes blendados.....	31

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Percentagem de material pré-seco da palmeira real.....	15
Tabela 2: Condições usadas na briquetagem.....	17
Tabela 3: Composição dos briquetes blendados.....	18
Tabela 4: Resultados da análise imediata.....	22
Tabela 5: Resultados da composição química elementar (C H N).....	24
Tabela 6: Resultados de determinação da fibra em detergente ácido (FDA) e detergente neutro (FDN).....	25
Tabela 7: Resultados da densidade dos briquetes.....	26
Tabela 8: Resultados da densidade e do PCS dos briquetes com <i>blends</i> de PC e CE.....	27
Tabela 9: Resultados poder calorífico superior dos briquetes.....	31

Abreviaturas e siglas

PC – Palha de carnaúba

CE – Capim elefante

CV – Capim vetiver

M – Macrófita

PR – Palmeira real

PCS – Poder calorífico superior

MV – Materiais voláteis

CF – Carbono fixo

CZ – Cinzas

FDA – Fibra em detergente ácido

FDN – Fibra em detergente neutro

1. INTRODUÇÃO

Desde os mais remotos tempos o homem vem se utilizando dos recursos naturais para sobreviver. Quando o homem dominou o fogo, por volta de 500.000 a.C., tornou possível a sua sobrevivência num ambiente inóspito não só por causa do conforto térmico como também pela possibilidade de cocção dos alimentos, de forja das armas e ferramentas etc. (GUARDABASSI, 2006).

A descoberta do petróleo, em 1860, revolucionou a indústria substituindo os óleos vegetais e animais em praticamente todos os processos produtivos. Farto, barato, com alta concentração energética, fácil de obter, transportar e estocar, o petróleo e seus derivados tornaram-se a base da industrialização moderna. Contudo, a partir das crises do petróleo da década de 70, do aumento dos preços do barril, que subiu 584% apenas entre os anos de 2002 e 2008 (MME, 2010, apud QUIRINO, 2012a) e da instabilidade política dos seus maiores produtores, o mundo começou a ver na capacidade de renovação da natureza a solução para a vulnerabilidade energética de uma matriz dependente praticamente apenas de uma fonte de energia, que ainda tinha a agravante de não ser renovável.

À urgência de diversificar as fontes de energia soma-se a preocupação com a sustentabilidade do planeta, que tem dominado os debates sobre o como e o quanto produzir. Projeções sobre os aumentos da temperatura média global e do nível do mar num futuro próximo, ainda que contestadas por um número expressivo de cientistas, prevalecem nas discussões científicas com seus argumentos sobre as consequências sem precedentes que a pressão antrópica sobre o meio-ambiente terão sobre o planeta (ÁVILA, 2007).

Polêmica ou não, a questão do aquecimento global tem direcionado a agenda das nações para a diversificação de suas matrizes energética, com ênfase nas fontes renováveis de energia. Entre as alternativas a essa diversificação está o uso da biomassa.

Estima-se atualmente que a biomassa represente aproximadamente 14% de todo o consumo mundial de energia primária (Figura 1). Em alguns países em

desenvolvimento, esta parcela pode aumentar para 34%, chegando a 60% na África (IPCC, 2011).

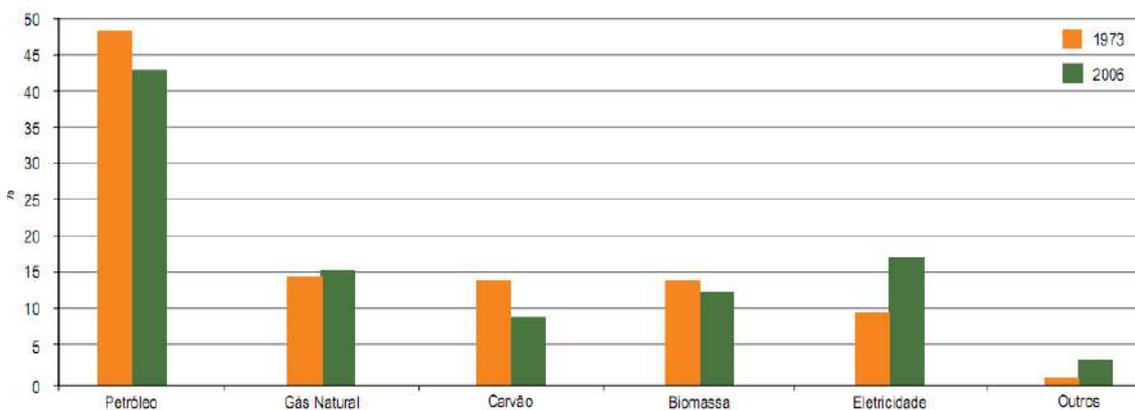


Figura 1: Matriz de consumo final de energia no mundo - 1973 e 2006 (IEA, 2008, apud ANEEL, 2008).

No Brasil, o petróleo e seus derivados ainda predominam na matriz energética. Somados os percentuais de produção de lenha e carvão vegetal e de derivados da cana-de-açúcar, a participação da biomassa na produção de energia primária é de 27%, contra 42% do petróleo. (BEN, 2012).

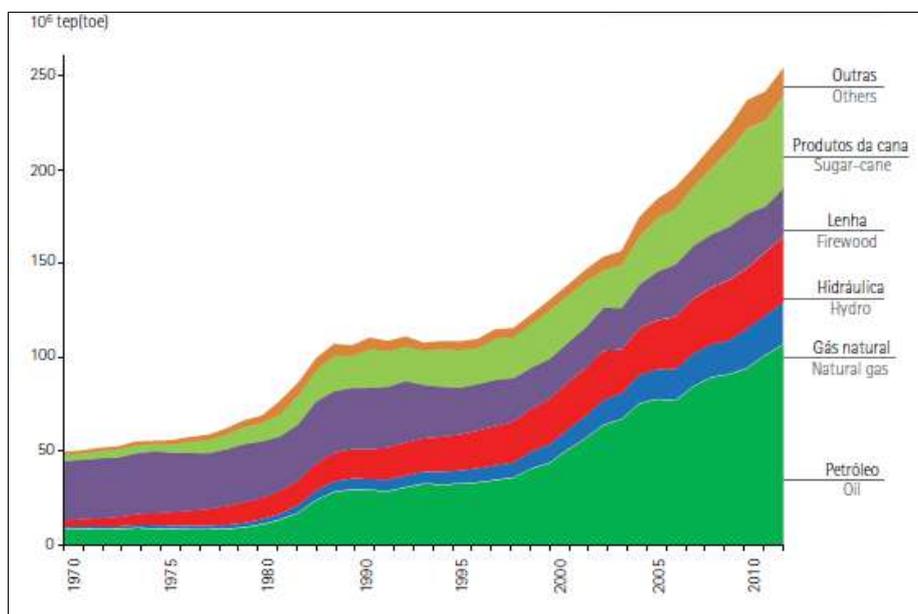


Figura 2: Produção de energia primária (BEN, 2012).

Já no que diz respeito à geração de energia elétrica, a matriz brasileira é praticamente baseada na hidroeletricidade – um recurso renovável abundante no País, tendo a biomassa uma participação de 6,6% (BEN, 2012)

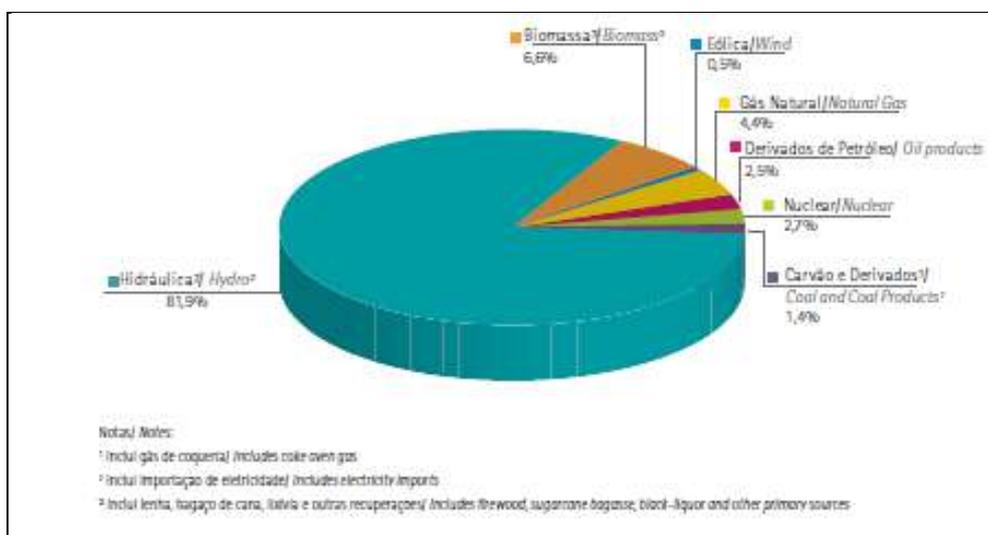


Figura 3: Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil (BEN, 2012).

Por fim, no Rio Grande do Norte, estado localizado na Região Nordeste do País, estima-se que a lenha seja a terceira fonte geral de energia produzida e a primeira renovável, representando 8,7%, contra 3,6% dos derivados da cana-de-açúcar (Figura 4). Em relação às formas de energia consumidas no Rio Grande do Norte, o consumo de lenha (22,2%) só perde para o conjunto dos derivados do petróleo (34,2%), conforme a Figura 5. No setor residencial, o consumo de lenha predomina sobre os demais, representando 53,4% do consumo total do setor, seguido pelo GLP com 22,7% e a eletricidade com 19,5% e os demais 4,4%. No setor industrial, a lenha, o bagaço e o gás natural foram os energéticos mais utilizados com 47,5%, 23,9% e 15,7%, respectivamente. Em seguida vem a eletricidade com 11,2% e os demais energéticos com 1,7% (BE-RN, 2006).

A dependência social e econômica em relação à lenha nativa é maior nas regiões que possuem parques industriais cerâmicos, como o Seridó e o Baixo Açu. Contudo, a exploração florestal com essa finalidade ainda utiliza-se de técnicas extremamente rudimentares que proporciona uma pressão sobre o meio-ambiente, afetando

diretamente as espécies vivas que habitam esses espaços. Convém destacar, que o desmatamento acelerado da caatinga coloca em risco a sua biodiversidade e a sobrevivência de camadas da população que dependem do potencial de seus recursos naturais para sobreviverem.

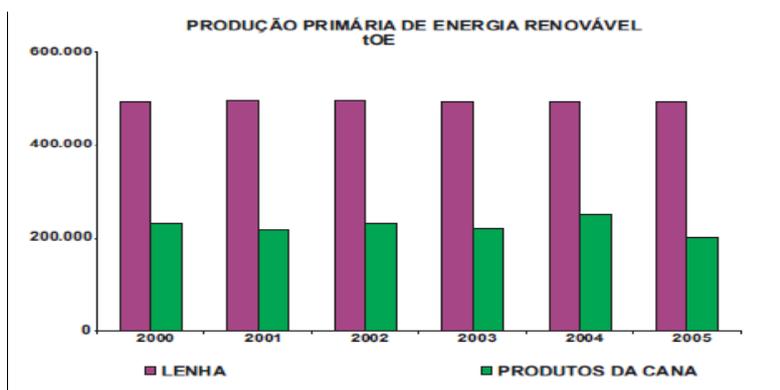


Figura 4: Produção primária de energia renovável no RN (BE-RN, 2006).

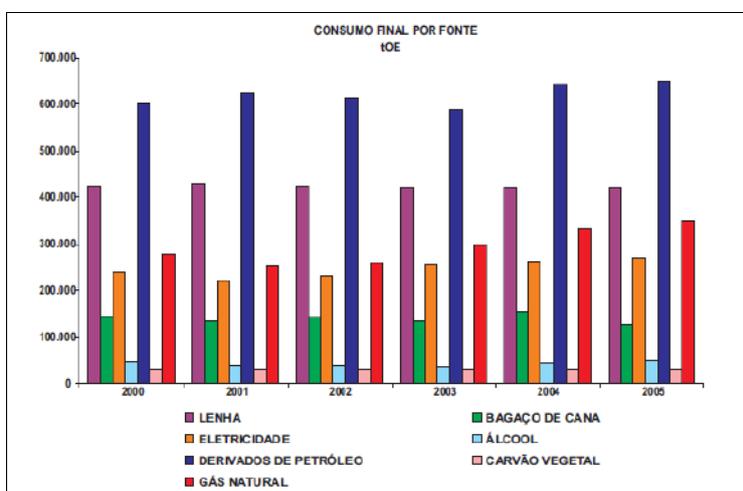


Figura 5: Consumo final de energia por fonte no Rio Grande do Norte (BE-RN, 2006)

Diante este quadro, a implementação e difusão de tecnologias de adensamento ligno-celulósico (briquete) em substituição ao uso da lenha nativa surge como uma alternativa concreta para o fornecimento aos consumidores de regiões localizadas em áreas susceptíveis à desertificação, como é o caso do semiárido nordestino.

Uma iniciativa nesse sentido vem sendo colocada em prática na região do Baixo Açu, com a instalação de uma fábrica de briquetes para atender à demanda hoje suprida pela lenha e pelo carvão vegetal nas empresas locais. O Projeto Caatinga Viva é desenvolvido por cinco instituições públicas e privadas, com o patrocínio do Programa Petrobras Ambiental. O objetivo dele é oferecer um combustível alternativo à lenha, de modo a permitir a recuperação da cobertura vegetal do solo, mitigando a pressão antrópica sobre o bioma caatinga naquela região, através da exploração de biomassa agrícola para fins energéticos e extrativismo florestal sustentável. Os resultados deste trabalho servirão de base para execução do Projeto.

I.1. Biocombustível sólido

O briquete é uma peça sólida de biomassa comprimida com uma carga média de 6 tf a 8 tf, tensão de 90 a 140 kg/cm², gerando uma temperatura de 170 a 270⁰C em uma câmara de briquetagem visando à decomposição parcial da lignina, teor de umidade base úmida de 5 a 15%, sendo o ótimo 8%, com ou sem aglutinante, com uma densidade entre 1,0 a 1,5 t/m³, apresentando peças cilíndricas ou hexagonais entre 70 a 100 mm e comprimento e 10 a 40 cm.

Trata-se de um produto técnico e economicamente viável pelas seguintes razões: o aumento da demanda por energia e dos preços do petróleo, por ser um combustível fóssil e, portanto, finito; a crescente consciência ecológica, o que dificultará cada vez mais a oferta da lenha nativa; a redução do seu preço através da produção em escala (GENTIL, 2008). Esses fatores indicam que o mercado para esse tipo de biocombustível é promissor para os próximos anos.

I.2. O processo industrial da produção de briquetes

Conceitualmente, a briquetagem é uma técnica que envolve homogeneização, aglomeração e densificação de partículas de material sólido, obtendo-se um combustível com homogeneidade granulométrica, com resistência à geração de finos e maior densidade (1,00 m³ de briquetes contém pelo menos cinco vezes mais energia que 1,00m³ de resíduos). Com isso, há uma melhora significativa no armazenamento e

transporte do material. Além disso, em razão do próprio processo de briquetagem, o material adquire umidade muito baixa, deixando-o menos susceptível ao apodrecimento ou à fermentação, em relação aos resíduos em sua condição natural. Trata-se, portanto, de uma tecnologia muito eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa (QUIRINO &BRITO,1998).

Conforme mostrado na figura 6, o processo industrial do briquete de madeira consiste na cominuição dos descartes madeireiros, peneiramento, exaustão para resfriamento da matéria prima, secagem da serragem, briquetagem e resfriamento do briquete (GENTIL, 2008).

No caso da biofábrica do projeto, algumas etapas serão excluídas devido a características das biomassas utilizadas. Por exemplo, não será necessária a etapa de secagem já que a palha de carnaúba já vem do campo com cerca de 9% de umidade, devido à intensa exposição ao sol, que conseqüentemente eleva a evaporação da umidade existente na biomassa.

Os briquetes podem ser produzidos em diferentes tamanhos, dependendo do objetivo a que se destinam, do processo produtivo e da matéria-prima com que são feitos. Por terem as dimensões padronizadas, o seu acondicionamento em caminhões e contêineres é mais fácil, viabilizando o seu transporte até os centros consumidores (Figura 7).



(A) Serragem na serraria



(F) Peineiramento da serragem



(B) Transporte da serragem



(G) Secagem da serragem



(C) Serragem na usina.



(H) Resfriamento da serragem por ciclonação



(D) Descartes na usina



(I) Armazenagem da serragem seca e limpa



(E) Cominuição dos descartes transformados em serragem



(J) Briquetagem

Figura 6: Imagens do fluxo industrial e comercial do briquete (fonte: GENTIL, 2008)



(K) Briquete pronto



(P) Carregamento



(L) Embalagem em saco-granel



(Q) Transporte ao consumidor



(M) Embalagem em sacos arrumados



(R) Forno industrial



(N) Produto tipo exportação



(S) Forno doméstico



(O) Armazenamento



(T) Exportação

Figura 7: Imagens do fluxo industrial e comercial do briquete (cont). (fonte: GENTIL, 2008)

I.3. Propriedades dos briquetes

Os briquetes devem possuir determinadas características que os tornem aptos para a geração de energia térmica. Dessas características, destacam-se o poder calorífico

e algumas propriedades físicas e químicas (composição química elementar e imediata); teor de umidade; poder calorífico superior, inferior e líquido; granulometria; teor de cinzas, etc., têm influência direta sobre a viabilidade do uso do material como combustível.

Devido à baixa densidade apresentada pela grande maioria das biomassas lignocelulósicas indicadas para o processo de densificação (briquetagem), torna-se imperiosa que a sua produção ou oferta esteja o mais próximo possível da fábrica de produção de briquetes e dos consumidores finais.

II. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo avaliar as características físicas, químicas e térmicas de diversas biomassas para avaliar seu potencial na confecção de briquetes, observando a possibilidade de serem feitos “*blends*” entre elas.

Tendo em mente que um estudo de viabilidade completo de uma biofábrica deve abordar várias vertentes, considerando todas as etapas do ciclo de aproveitamento da biomassa, nesta análise o enfoque estará nas potenciais matérias primas para aproveitamento energético, bem como os estudos iniciais com briquetes para avaliar suas condições de operação como produto final.

Foram analisadas as características energéticas de biomassas agrícolas plantadas, como capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*); biomassas advindas de explorações florestais, como a carnaúba (*Copernicia prunifera*) e a palmeira real (*Archontophoenix Alexandrae*), além da macrófita conhecida como aguapé (*Eichhornia crassipes*). Essas espécies podem ser plantadas e/ou exploradas na região de estudo (Vale do Açu, RN).

a) Palha de carnaúba

Na região em estudo, a palha de carnaúba (figura 8), resíduo da exploração florestal da cera de carnaúba, é encontrada em grande quantidade e fica sem utilidade, servindo no máximo como cobertura morta para lavouras. Por este motivo, esse resíduo foi escolhido como o principal deste estudo.



Figura 8: Carnaúba da região do Baixo-Açu

b) Capim elefante

O capim elefante (figura 9) é, sem dúvida, uma das gramíneas mais importantes e mais difundidas em todas as regiões tropicais e sub-tropicais do mundo. Após seu reconhecimento como forrageira de alto valor nutritivo para alimentação dos rebanhos, principalmente bovinos, o capim elefante foi introduzido e cultivado em praticamente todas as regiões brasileiras.

Na região do Baixo-Açu, o capim elefante é uma das culturas agrícolas mais plantadas sob regime de irrigação. Portanto, é uma cultura muito conhecida e manejada pelos agricultores da região. Esta gramínea está entre as espécies de alta eficiência fotossintética, ou seja, entre aquelas com maior eficiência no aproveitamento da luz solar, o que resulta numa grande capacidade de acúmulo de matéria seca (biomassa vegetal), podendo atingir 80 ton/ha/ano. Por este motivo, esta cultura foi escolhida para os estudos neste trabalho, visando à utilização de seu potencial para uso no processo de briquetagem.



Figura 9: capim-elefante (fonte: <http://www.revistaagropecuaria.com.br/2012/03/23/capim-elefante-mais-produtivo-para-alimentacao-bovina/capim-elefante/>)

c) Macrófitas

As macrófitas (figura 10), também conhecidas como aguapés, são vegetais terrestres que ao longo de seu processo evolutivo adaptaram-se ao ambiente aquático. Por isso, essas plantas apresentam algumas características de vegetais terrestres e uma grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de ambientes, o que torna sua ocorrência muito ampla. Elas são bioindicadores de poluição, pois se desenvolvem melhor em ambientes eutrofizados, com alta concentração de matéria orgânica. As macrófitas foram selecionadas para análise neste estudo porque há grande incidência das mesmas em alguns açudes da região do Baixo Açu, onde o Projeto Caatinga Viva está sendo implantado.



Figura 10: Macrófita (fonte: <http://erciliaribeiro.blogspot.com.br/2011/02/macrophytas-aquaticas-do-distrito.html>)

d) Capim vetiver

O capim vetiver (Figura 11) é uma espécie de capim originário do subcontinente indiano, mas se adaptou muito bem no semi árido. Dentre outras propriedades, da sua raiz pode ser extraído um óleo essencial utilizado na perfumaria fina como fixador e componente aromático, dando a nota de amadeirado aos perfumes. Com excelente produtividade e como este tipo de capim só cresce onde for plantado, não se espalha por outras áreas e não se torna uma praga, ele é tem grande potencial para que sua biomassa seja usada na briquetagem.



Figura 11: Capim vetiver (fonte: <http://arcadenoe.eco.br/profiles/blogs/como-controlar-a-erosao-pode>)

e) Palmeira real

Bastante difundida no Brasil, a palmeira real (Figura 12) é uma espécie australiana, perene e muito valorizada, principalmente, por suas qualidades ornamentais. Por apresentar um crescimento acelerado e por se adaptar muito bem ao clima da caatinga, esta palmeira foi também selecionada para o estudo de suas características físicas, químicas e térmicas.



Figura 12: Palmeira Real (fonte: <http://www.horusverde.com.br/494/index.html>)

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas no experimento as partes aéreas dos capins e macrófita (folhas e caules), o tronco da palmeira real e os resíduos de folhas de carnaúba após a extração da cera. As análises foram realizadas nos laboratórios das Embrapas: Solos (RJ), Tecnologia de Alimentos (RJ), Agrobiologia (RJ) e Floresta (PR) e nos laboratórios da REDUC/PETROBRAS (RJ).

As propriedades físicas, químicas e térmicas dos materiais lignocelulósicos utilizados foram analisadas visando obter um aproveitamento mais eficiente de suas propriedades para a produção de briquetes. As propriedades analisadas foram: composição química elementar (carbono; hidrogênio e nitrogênio); composição química imediata (umidade; materiais voláteis; carbono fixo e cinzas); fibra em detergente ácido (FDA); lignina; celulose; sílica; fibra em detergente neutro (FDN); densidade e poder calorífico superior (PCS).

Todos os resultados desse estudo servirão de base para a fábrica de briquetes que está sendo montada na região já mencionada (Baixo-Açu, RN), onde haverá uma briquetadeira industrial da marca Lippel®, modelo BL 95 (figura 13). Para os ensaios de laboratório foi utilizada uma briquetadeira modelo LB 32 (figura 14), do mesmo fabricante, que simula com segurança a operação industrial. A pressão empregada nos experimentos foi de 95 Bar (9902 kgf) e temperatura de 120 °C.

Desta forma, os resultados aferidos das análises realizadas nas amostras das biomassas foram organizados em planilhas eletrônicas e, em seguida, calculados os resíduos utilizando o software SAS e executados os testes de homogeneidade de variância, segundo os métodos de Cochran/Bartlett e normalidade pelo teste de Lilliefors, por meio do software SAEG 9.1. Em sequência, foi realizada a análise de variância nos dados utilizando o software SISVAR versão 5.1 e aplicado o teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade).

Os ensaios iniciais foram feitos nas matérias primas sem terem sofrido o processo de briquetagem.



Figura 13: Briquetadeira Lippel®, modelo BL 95. (fonte: www.lippel.com.br)



Figura 14: Briquetadeira Lippel®, modelo LB 32

III.1. Análise imediata

As quantificações de teor de umidade, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo foram realizadas no equipamento TGA-2000 e confirmada pelo método tradicional em mufla e estufa, de acordo com a NBR 8112 OUT/1986. A análise consiste em pesar 0,5 g de cada amostra, colocá-la no cadinho apropriado do próprio equipamento e ajustar a programação desejada. Na metodologia tradicional, usando a estufa, teor de umidade das matérias primas foi calculado segundo a equação:

$$TU = \frac{100.(MU - MS)}{MU}$$

Onde:

TU = teor de umidade %;

MU = massa úmida, g;

MS = massa seca, g.

Para a Palmeira Real, por ter uma umidade muito elevada, usou-se a metodologia descrita por Silva (1990). Esse procedimento visa a uma pré-secagem de matérias primas com teor de umidade elevado, tem duração de três dias e foi feito em temperatura de 60 °C para evitar perda por volatilização ou alteração de outros nutrientes, principalmente compostos nitrogenados. A pré-secagem é computada no cálculo da umidade total, portanto, o material antes de ser colocado na estufa deve ser pesado. Foram usados recipientes de alumínio com as seguintes dimensões: 12cm X 9,5cm X 2,5cm e perfurados para facilitar a passagem de ar quente. Ao final dos três dias, o material foi deixado sobre a mesa do laboratório para que a umidade e a temperatura da amostra entrassem em equilíbrio com as do ambiente, fazendo-se a seguir a pesagem.

Tabela 1: Percentagem de material pré-seco da palmeira real

Amostra	material verde (g)	material pré-seco (g)	material pré-seco (%)
Palmeira Real 1	80,56	22,73	29,318
Palmeira Real 2	84,79	24,08	29,452
Palmeira Real 3	80,42	21,52	27,804

Quando se efetua o aquecimento, parte do carbono sai junto com os gases, como elemento formador das moléculas de CO, CO₂ e dos hidrocarbonetos. Essa fração é denominada de material volátil. Outra quantidade de carbono permanece relativamente intacta e como não sai junto com a matéria volátil, recebe a denominação de carbono fixo. Na prática determina-se o teor de material volátil e carbono fixo aquecendo-se o material em temperatura em torno de 900°C (MEIRA, 2002). Equação para a quantificação de material volátil:

$$MV(\%) = \frac{(\text{amostra seca(g)} - \text{amostra incinerada(g)}) * 100}{\text{amostra seca(g)}}$$

O teor de cinzas está relacionado com a presença de quantidade e de qualidades diferentes de minerais presentes na biomassa. Assim, minerais como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio entre outros fazem aumentar o teor de cinzas (VALE, *et al.*, 2007).

Equação para a quantificação de cinzas

$$CZ(\%) = \frac{((\text{cadinho} + \text{resíduo (g)}) - \text{cadinho(g)}) * 100}{\text{amostra s/ umidade (g)}}$$

Equação para a quantificação de carbono fixo:

$$CF(\%) = 100 - (CZ + MV)$$

III.2. Quantificação de C H N

A quantificação de C H N elementar foi realizada no Analisador de CHN da Perkin Elmer[®], modelo 2400, no Laboratório de pH/CHN da Embrapa Solos.

III.3. Determinação de Fibra em Detergente Ácido (FDA)

As quantificações de FDA, lignina, celulose, cinzas e sílica foram feitas no Laboratório de Leguminosas da Embrapa Agrobiologia de acordo com a metodologia descrita por Silva, 1990.

$$\%FDA = \frac{(\text{peso FDA} - \text{peso cadinho vazio}) * 100}{\text{peso da amostra}}$$

$$\%Lignina = \frac{(\text{peso FDA} - \text{peso cadinho} + \text{celulose} + \text{cinzas}) * 100}{\text{peso da amostra}}$$

$$\%Celulose = \frac{[(\text{peso cadinho} + \text{celulose} + \text{cinzas}) - (\text{peso cadinho} + \text{cinzas})] * 100}{\text{peso da amostra}}$$

$$\% \text{Cinzas} = \frac{(\text{peso cinzas}) * 100}{\text{peso da amostra}}$$

III.4. Determinação de Fibra em Detergente Neutro (FDN)

A quantificação de FDN foi feita Laboratório de Leguminosas da Embrapa Agrobiologia de acordo com a metodologia descrita por Silva, 1990.

$$\% \text{FDN} = \frac{[100 - (\text{peso amostra} - \text{peso resíduo})] * 100}{\text{peso da amostra}}$$

III.5. Preparação das amostras

As amostras para briquetagem foram preparadas da seguinte forma: o volume da mistura das forrageiras, antes de serem briquetadas, ficou em torno de 500ml. Essas misturas foram submetidas a briquetagem nas seguintes condições:

Tabela 2: Condições usadas na briquetagem

Temperatura	120 °C
Pressão	95 bar
tempo de briquetagem	5 min
tempo de resfriamento	3 min

Além das cinco matérias primas analisadas, foram feitos *blends* das duas principais biomassas, que apresentaram os melhores resultados. Esses *blends* consistiram em 55 parcelas experimentais (11 composições X 5 repetições).

Tabela 3: Composição dos briquetes blendados

Palha de Carnaúba		Capim Elefante	
%	g	%	g
0	0	100	32,71
10	4,77	90	29,44
20	9,54	80	26,17
30	14,32	70	22,9
40	19,09	60	19,63
50	23,86	50	16,36
60	28,63	40	13,08
70	33,4	30	9,81
80	38,18	20	6,54
90	42,95	10	3,27
100	47,72	0	0

Depois de sofrer o processo de briquetagem foi analisada uma das mais importantes características do produto, a sua densidade relativa aparente por meio do método estequiométrico que consiste em obter o volume a partir de medições, utilizando-se um paquímetro e a massa em uma balança com precisão de 5mg.

III.6. Densidade dos briquetes

A densidade dos briquetes foi calculada a partir das medidas do volume e da massa dos briquetes.



Figura 15. Briquete de macrófita



Figura 16. Briquete de palmeira real



Figura 17. Briquete de capim vetiver

III.7. Poder Calorífico Superior

As análises do Poder Calorífico de cada briquete foram realizadas no Calorímetro C-5003 da IKA, localizado na Embrapa Florestas, de acordo com a NBR 8333/84 e as normas complementares NBR 5734 e NBR 6923:

EQUIPAMENTOS

- Moinho tipo Willye
- Peneiras de 45 e 60 mesh
- Cadinhos com capacidade para, no mínimo, 4g de amostra
- Estufa
- Calorímetro e seus acessórios:



Figura 18: Calorímetro C-5003 da IKA



Figura 19: Acessórios do calorímetro

PROCEDIMENTO

1. Moer as amostras e peneirá-las com peneiras de 45 e 60 mesh.



Figura 20: Agitador de peneiras

2. Secá-las em estufa a 60°C durante 6 horas.
3. Pesar 0,5g de cada amostra já no cadinho da bomba calorimétrica.



Figura 21: Cadinho de alumínio e parte interna da bomba calorimétrica

4. Posicionar o cadinho e o fio de algodão (ignição) corretamente na bomba e iniciar a queima na máquina.

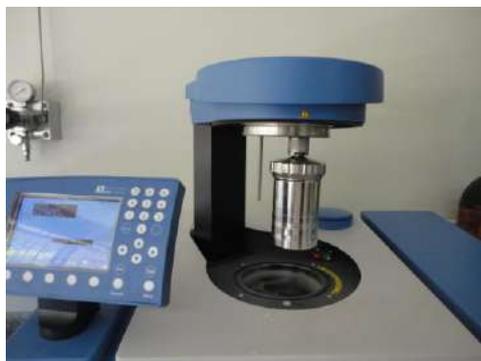


Figura 22: Bomba calorimétrica sendo inserida no equipamento

5. Anotar o valor mostrado no visor.

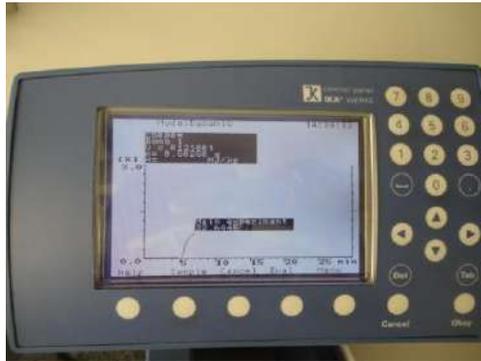


Figura 23: Visor de resultados e ajustes do calorímetro

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1. Análise imediata

A composição química imediata se refere ao conteúdo percentual do carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e eventualmente umidade, baseado na massa do combustível. O conteúdo de voláteis expressa a facilidade de se queimar um material e o carbono fixo o tempo de queima. Logo, pelo conhecimento desses dois índices percentuais, pode-se estimar o grau de combustão de uma biomassa e o tempo de queima da mesma, maximizando assim o desenho do projeto de obtenção de energia a partir de biomassas vegetais.

A umidade de um material está relacionada com o seu teor de água. No caso do briquete, o valor de 8 a 12% de umidade é considerado baixo em relação à lenha convencional, que é de 30 a 40%. Ou seja, boa parte do peso da lenha é água que deverá ser evaporada. Há gasto de energia para a eliminação dessa água e, portanto, é interessante que o material a ser queimado tenha um mínimo possível de umidade.

A biomassa com maior teor de voláteis e menor teor de cinzas apresenta, normalmente, maior poder calorífico. Este fato foi evidenciado com os resultados apresentados na tabela do apêndice B para a biomassa de Palmeira Real (maior PCS), bem como para a macrófita (menor PCS), devido à relação inversa: menor teor de voláteis e maior teor de cinzas.

De uma maneira geral, todos os resultados encontrados para o carbono fixo em todos os tratamentos, apresentaram valores menores do que os confrontados em outros trabalhos. Este fato pode ter ocorrido pelo não uso de mesmos protocolos analíticos entre os diferentes autores que trabalham com essas biomassas no Brasil e pelo fato de não existirem normas e protocolos para a análise de biomassa. Isto leva a uma necessidade urgente de se uniformizar procedimentos de análises de biomassas para fins energéticos (produção de briquetes e pellets), pois os protocolos disponíveis e citados na literatura são referentes, na sua grande maioria, para análises de carvões vegetal e mineral.

Tabela 4: Resultados da análise imediata

Tratamento	umidade (%)	voláteis (%)	cinzas (%)	CF=100-(CZ+V) (%)
P.C.-1	9,986	89,420	9,745	0,833
P.C.-2	9,975	89,290	9,824	0,889
P.C.-3	9,983	89,530	9,559	0,914
C.E.-1	9,681	89,660	9,691	0,649
C.E.-2	9,838	89,900	9,402	0,699
C.E.-3	9,734	89,950	9,168	0,885
C.V.-1	8,893	90,660	8,626	0,714
C.V.-2	8,850	90,430	8,859	0,715
C.V.-3	8,893	90,590	8,763	0,646
M-1	9,483	66,840	30,174	2,991
M-2	9,070	67,650	29,668	2,686
M-3	9,560	69,740	27,478	2,785
P.R.-1	11,119	93,340	6,313	0,207
P.R.-2	11,130	93,770	6,029	0,202
P.R.-3	11,116	93,850	5,948	0,205

PC(palha de carnauba); CE(capim elefante); CV(capim vetiver); M(macrófita); PR(palmeira real).

IV.2. Quantificação de CHN e análise elementar

A composição química elementar (C; H; N; S; O e cinzas) corresponde ao conteúdo percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa, geralmente referente à matéria seca, ou seja, sem considerar a presença da água. Considerando-se as substâncias que constituem a parede celular das plantas, é importante ressaltar que a lignina é rica em carbono e hidrogênio, que são os elementos que produzem calor e, portanto, têm mais poder calorífico que a celulose. Por este motivo, é muito importante conhecer os teores de lignina e celulose das biomassas que em muitos casos são facilmente modificados pelo manejo cultural ou pela mistura com materiais mais ricos em componentes orgânicos que aumentem o poder calorífico superior das misturas e o tempo de queima do biocombustível sólido proposto.

A biomassa da macrófita apresentou o maior teor de lignina e o menor de celulose entre todos os tratamentos. Apesar de a teoria mostrar que a lignina tem maior poder calorífico do que a celulose (5.995 kcal/kg contra 3.797 kcal/kg, BRAND, 2010), outros fatores devem ser levados em consideração. Neste caso específico em relação aos elevados teores de lignina na macrófita, a mesma apresenta menos voláteis, carbono, hidrogênio, celulose, FDN, e PCS do que os demais tratamentos e mais cinzas, FDA, e sílica que a coloca na classificação de pior biomassa para ser utilizada com fins energéticos neste trabalho.

O elevado teor de lignina na palha de carnaúba, aliada com outros bons parâmetros de composição química elementar nesta biomassa, a coloca como a melhor biomassa, em termos gerais, dos tratamentos estudados. Um possível conteúdo de resíduos de cera de carnaúba (pó cerífero) remanescente das operações de retirada dos mesmos no campo pode ser o responsável por este maior valor de lignina encontrado neste tratamento. É importante ressaltar que a lignina é um polímero termoplástico sendo então o principal composto que atua como aglomerante das partículas de biomassa na fabricação de briquetes. Segundo Paulrud (2004), o processo de fabricação de briquetes utilizando elevadas pressões no processo, leva à plastificação da lignina entre 80 e 200⁰C, dependendo do tipo de material ligno-celulósico. Esse polímero depois de resfriado promove a colagem das partículas adensadas. A lignina solidificada na superfície faz com que o briquete resista à umidade, justificando a não utilização de produtos aglomerantes como cola, resina, cera ou amido.

Já a macrófita apresentou os teores de sílica mais elevados (Tabela 6). Essa característica torna essa biomassa inapropriada para briquetagem, uma vez que gerando um maior atrito na briquetadeira acaba promovendo um maior desgaste das peças e reduzindo a vida útil da máquina (PEREIRA, 2006).

Também foram feitos experimentos para a quantificação de C, H, N, lignina, celulose, FDA, FDN, cinzas e sílica dos briquetes blendados, porém, por dificuldades em conseguir um local para realizar a análise completa, teve-se que fazê-la em etapas e em lugares diferentes, o que fez com que os resultados não fossem satisfatórios e exigissem ser repetidos. Contudo, como essas análises demandam muito tempo, não puderam ser feitas e publicadas até o momento.

Tabela 5: Resultados da composição química elementar (C H N)

Tratamento	C (%)	H (%)	N (%)
P.C.-1	40,400	5,610	1,810
P.C.-2	40,640	5,610	1,720
P.C.-3	39,420	5,150	1,560
C.E.-1	39,200	5,480	0,870
C.E.-2	39,340	5,510	0,820
C.E.-3	39,360	5,450	0,870
C.V.-1	39,530	5,600	0,460
C.V.-2	39,610	5,320	0,450
C.V.-3	39,550	5,540	0,470
M-1	30,880	4,690	1,250
M-2	31,840	4,820	1,280
M-3	31,080	4,550	1,280
P.R.-1	39,340	5,700	0,310
P.R.-2	39,400	5,960	0,310
P.R.-3	39,230	5,880	0,310

Tabela 6: Resultados de determinação da fibra em detergente ácido (FDA) e detergente neutro (FDN)

Tratamento	FDA (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Cinza (%)	Silica (%)	FDN (%)
P.C.-1	42,989	20,952	9,064	12,972	12,118	58,291
P.C.-2	46,205	20,330	11,320	14,554	14,422	60,256
P.C.-3	45,904	19,602	10,381	15,920	15,257	60,229
C.E.-1	44,422	13,852	15,822	13,720	12,887	71,303
C.E.-2	43,817	14,192	15,987	13,638	13,540	71,250
C.E.-3	44,335	13,523	15,717	15,095	14,768	71,355
C.V.-1	44,676	10,185	20,569	13,922	13,294	71,769
C.V.-2	45,839	11,592	21,136	13,111	12,483	72,955
C.V.-3	46,326	13,937	20,852	14,498	13,476	74,327
M-1	53,375	28,334	3,499	23,246	20,186	53,064
M-2	54,775	26,260	3,680	24,834	23,375	56,435
M-3	55,010	26,875	3,318	24,818	23,756	54,528
P.R.-1	43,200	17,576	14,717	10,907	11,005	60,858
P.R.-2	44,656	17,100	15,784	11,772	11,871	61,424
P.R.-3	44,848	19,188	15,059	10,601	10,700	62,702

IV.3. Densidade dos briquetes

Assim como mencionado anteriormente, um dos objetivos da briquetagem é a compactação e, conseqüentemente, o aumento da densidade dos materiais visando a concentração do poder energético de queima em cada vez menos volume. Estudando vários tipos de biomassa, Bezzon (1994) encontrou para briquetes de serragem densidade aparente de 1120 kg/m³ a 1080 kg/m³. Com relativamente o mesmo volume de cada matéria prima, foi analisado o poder de empacotamento de cada um. Os resultados do cálculo da densidade dos briquetes estão expostos na tabela 7:

Tabela 7: Resultados da densidade dos briquetes

Tratamento	Densidade (g/mm ³)
P.C.-1	2,504
P.C.-2	2,567
P.C.-3	2,599
C.E.-1	1,347
C.E.-2	1,358
C.E.-3	1,373
C.V.-1	2,401
C.V.-2	2,038
C.V.-3	2,220
M-1	2,501
M-2	2,495
M-3	2,522
P.R.-1	3,902
P.R.-2	3,958
P.R.-3	3,372

Na tabela 8 e no gráfico (figura 24) estão os resultados da densidade dos briquetes blendados de Palha de Carnaúba e Capim Elefante, mostrando que a densidade decresce linearmente com a concentração de Palha no briquete.

Tabela 8: Resultados da densidade e PCS dos briquetes com *blends* de PC e CE

Composição da amostra	Densidade (g/mm ³)	P.C.S. (kcal/kg)
100% Palha de Carnaúba	2,504	4395,437
100% Palha de Carnaúba	2,567	4381,345
100% Palha de Carnaúba	2,599	4391,854
100% Palha de Carnaúba	2,456	4347,428
100% Palha de Carnaúba	2,59	4361,998
90% P.C; 10% Capim E.	2,425	4310,526
90% P.C; 10% Capim E.	2,425	4355,071
90% P.C; 10% Capim E.	2,485	4369,761
90% P.C; 10% Capim E.	2,49	4373,582
90% P.C; 10% Capim E.	2,328	4369,88
80% P.C; 20% Capim E.	2,42	4323,663
80% P.C; 20% Capim E.	2,243	4330,47
80% P.C; 20% Capim E.	2,286	4315,064
80% P.C; 20% Capim E.	2,282	4323,782
80% P.C; 20% Capim E.	2,223	4298,822

Composição da amostra	Densidade (g/mm ³)	P.C.S. (kcal/kg)
70% P.C; 30% Capim E.	2,228	4324,976
70% P.C; 30% Capim E.	2,275	4313,034
70% P.C; 30% Capim E.	2,238	4283,536
70% P.C; 30% Capim E.	2,194	4319,841
70% P.C; 30% Capim E.	2,112	4335,247
60% P.C; 40% Capim E.	2,058	4238,154
60% P.C; 40% Capim E.	2,068	4377,046
60% P.C; 40% Capim E.	2,02	4373,344
60% P.C; 40% Capim E.	2,064	4370,119
60% P.C; 40% Capim E.	2,031	4312,795
50% P.C; 50% Capim E.	1,84	4335,366
50% P.C; 50% Capim E.	1,755	4315,064
50% P.C; 50% Capim E.	1,833	4320,08
50% P.C; 50% Capim E.	1,858	4395,437
50% P.C; 50% Capim E.	1,902	4374,299

Tabela 8 (cont.): Resultados da densidade e PCS dos briquetes com *blends* de PC e CE

Composição da amostra	Densidade (g/mm ³)	P.C.S. (kcal/kg)
40% P.C; 60% Capim E.	1,871	4350,294
40% P.C; 60% Capim E.	1,899	4348,503
40% P.C; 60% Capim E.	1,848	4322,468
40% P.C; 60% Capim E.	1,828	4322,349
40% P.C; 60% Capim E.	1,851	4317,691
30% P.C; 70% Capim E.	1,666	4190,026
30% P.C; 70% Capim E.	1,639	4238,035
30% P.C; 70% Capim E.	1,655	4256,665
30% P.C; 70% Capim E.	1,629	4226,451
30% P.C; 70% Capim E.	1,649	4198,147
20% P.C; 80% Capim E.	1,582	4162,558
20% P.C; 80% Capim E.	1,52	4233,139
20% P.C; 80% Capim E.	1,524	4142,734
20% P.C; 80% Capim E.	1,544	4135,927
20% P.C; 80% Capim E.	1,564	4202,207

Composição da amostra	Densidade (g/mm ³)	P.C.S. (kcal/kg)
10% P.C; 90% Capim E.	1,468	4110,131
10% P.C; 90% Capim E.	1,411	4091,262
10% P.C; 90% Capim E.	1,469	4144,645
10% P.C; 90% Capim E.	1,48	4223,585
10% P.C; 90% Capim E.	1,486	4147,391
100% Capim E.	1,347	4153,482
100% Capim E.	1,358	4117,177
100% Capim E.	1,373	4217,374
100% Capim E.	1,3	4207,223
100% Capim E.	1,322	4182,98

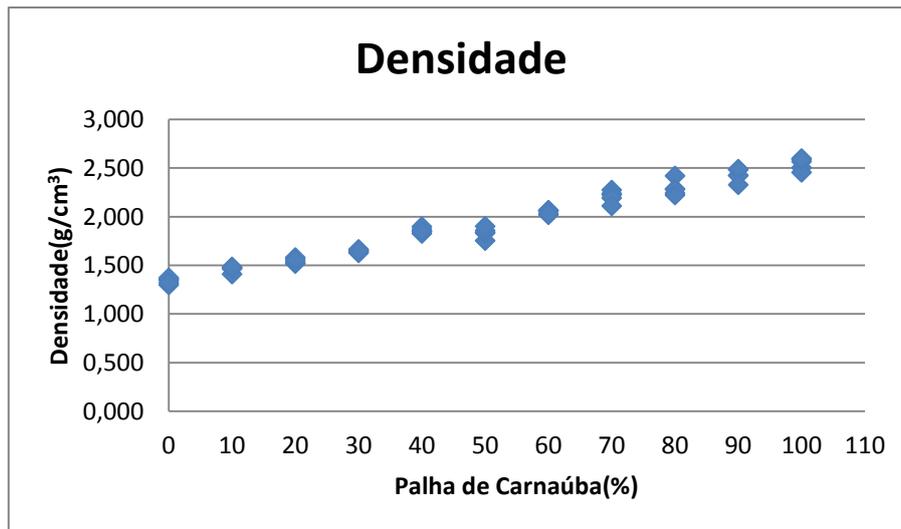


Figura 24: Gráfico da densidade dos briquetes blendados

IV.4. Poder Calorífico Superior

As biomassas vegetais necessitam ter determinadas características que as tornem aptas para a geração de energia. Sem dúvida, o poder calorífico superior, dentre essas características, é a propriedade mais importante para avaliar a viabilidade de uso de uma biomassa na geração principalmente de energia térmica.

Apenas para servir de comparação com os resultados obtidos neste trabalho, fez-se uma revisão bibliográfica dos dados já conhecidos de capacidade energética de alguns resíduos madeireiros. A quantidade de calor de um quilograma de material madeireiro pode variar em média de 3.500 a 5.000 kcal/kg ou 4,07 kWh/kg a 5,8 kWh/kg, ou 3439,3 kcal/kg a 4991,8 kcal/kg (QUIRINO, 2002; VALE *et al.*, 2007; GOLDEMBERG, 1998). Quirino *et al.* (2004) encontraram para 258 espécies de madeiras brasileiras um Poder Calorífico Superior médio de 4710 kcal/kg ou 19,72 MJ/kg.

A palha de carnaúba apresentou o maior PCS, seguido do capim-elefante. O capim vetiver e a palmeira real não se diferenciaram entre si e a biomassa da macrófita foi o tratamento que apresentou o menor PCS. O poder calorífico superior está diretamente relacionado com o teor de carbono fixo e este, por sua vez, com os teores de materiais voláteis e cinzas (VALE, *et al.*, 2007). Levando em consideração estas relações nota-se que, embora a biomassa da macrófita tenha apresentado o maior teor de

carbono fixo, ao mesmo tempo, não manteve a relação esperada e apresentou os menores teores de voláteis e maiores teores de cinzas, colocando essa biomassa no menor índice de PCS.

Outros fatores também influenciam o poder calorífico das biomassas. Entre eles, pode-se citar: a composição química; o tipo de biomassa e o teor de umidade. De acordo com a tabela do apêndice B, as composições químicas da palha de carnaúba e do capim elefante (no que se refere aos componentes de maiores contribuições ao PCS que são celulose e lignina), são muito próximas, o que permite uma composição de *blend* perfeita para o uso dessas biomassas para a produção de energia.

Ferreira, *et al.*, 2012, encontraram o valor médio de 4.869 kcal/kg para a palha de carnaúba com o teor de umidade na base úmida de 5,2% e o teor de cinzas também de 5,2%. Como já comentado, o PCS é altamente influenciado pelos teores de umidade (uma vez que a quantidade de água livre na biomassa determina a quantidade de energia efetivamente disponível) e cinzas (que são compostas por todo o material que não queima, tornando-se resíduo no processo de combustão). Considerando essas diferenças apresentadas entre este trabalho e desses autores, pode-se concluir que os resultados são aproximados.

Em relação ao PCS do capim-elefante, Brand (2010), apresenta valores de PCS na faixa de 3.600 a 4.300 kcal/kg e Olivares (2002), apresentou o valor de 3.611 kcal/kg para o PCI (Poder Calorífico Inferior). Estes valores corroboram com os encontrados neste trabalho, já que em média, o PCI é em torno de 10 a 20% inferior ao PCS, colocando no mesmo nível, o resultado deste trabalho com o resultado encontrado por Olivares (2002).

Também foi analisado o PCS dos briquetes blendados de palha de carnaúba com capim-elefante. Pela tabela 8, mostrada anteriormente, e pelo gráfico (figura 25) pode-se observar que os valores tiveram uma variação linear e diminuem à medida que a concentração de palha de carnaúba no briquete decresce.

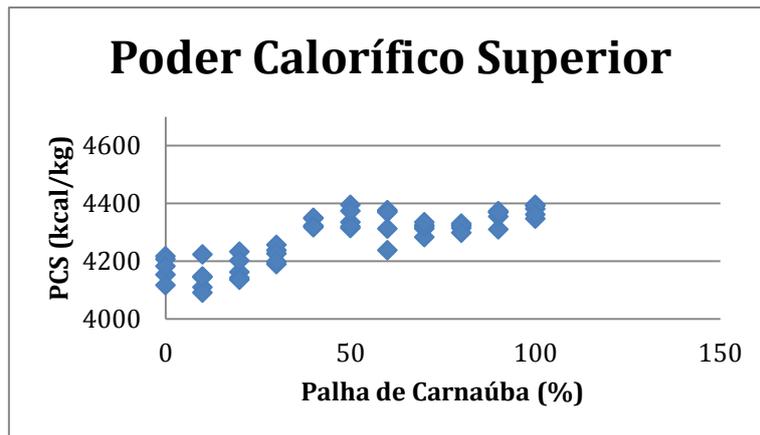


Figura 25: Gráfico do poder calorífico superior dos briquetes blendados

Tabela 9: Resultados poder calorífico superior dos briquetes

Tratamento	P.C.S. (kcal/kg)
P.C.-1	4.256,546
P.C.-2	4.252,963
P.C.-3	4.255,352
C.E.-1	4.093,889
C.E.-2	4.061,167
C.E.-3	4.048,746
C.V.-1	3.737,501
C.V.-2	3.769,005
C.V.-3	3.765,996
M-1	2.665,996
M-2	2.883,397
M-3	2.707,126
P.R.-1	3.736,498
P.R.-2	3.583,992
P.R.-3	3.678,003

V. CONCLUSÃO

Os briquetes oriundos das biomassas vegetais como palha de carnaúba, capim elefante e capim vertiver apresentaram grande potencial para o uso na geração de energia.

Os briquetes que se mostraram melhores para geração de energia térmica atendendo às necessidades locais do Rio Grande do Norte foram os compostos de palha de carnaúba e capim elefante. Os resíduos podem ser usados tanto individualmente como em *blends* de diferentes composições, a fim de se ter uma produção ininterrupta de briquetes ao longo do ano, com regularidade nas características físico-térmicas dos mesmos, independentemente de entressafras das matérias primas.

Todas as biomassas estudadas apresentaram elevados teores de cinzas, o que indica que as mesmas não devem ser utilizadas em caldeiras para geração de energia elétrica pois, como indicam estudos anteriores, podem causar danos, devido à formação de incrustações de oxalato de cálcio na superfície das caldeiras. Diferentemente desta restrição, como a base de consumo de briquetes na região do Baixo Açu, no Rio Grande do Norte, são indústrias de cerâmicas vermelhas estruturais que utilizam fornos rudimentares, esses briquetes de palha de carnaúba e capim-elefante são muito propícios ao uso por apresentarem elevados PCS entre 4.061 e 4.255 kcal/kg.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica** - 3ª ed., Brasília: 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1687

ÁVILA, A. F. D. *et all.*. **Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa**: metodologia de referência. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, 2008.

BEZZON, G. **Síntese de novos combustíveis sólidos a partir de resíduos agroflorestais e possíveis contribuições no cenário energético brasileiro**. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Campinas-SP. 1994.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa vegetal**. Interciência, Rio de Janeiro, 2010.

Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2012** – Ano base 2011: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

GENTIL, L.V.B. (2008). **Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Publicação EFL TD - 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. DF, 195 p.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Ed. Edusp. 234 p. São Paulo. 1998.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Balço Energético 2006**. Secretaria Extraordinária de Energia e Secretaria de Desenvolvimento Econômico - Sedec. Natal, Rio Grande do Norte, 2006. 103 p.

GUARDABASSI, P.M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento**. São Paulo: USP, 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011.

MEIRA, A. M. **Diagnóstico Sócio-Ambiental e Tecnológico da Produção de Carvão Vegetal no Município de Pedra Bela, Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002. 105 f.

PAULRUD, S. **Upgraded Biofuels-Effects of Quality on Processing, Handling Characteristics, Combustion and Ash Melting**. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden, 2004.

PEREIRA, M. **Prevenção e manutenção de máquinas na Eco Industrial**. Trabalho de graduação. Faculdade do Instituto Brasil. Anápolis, GO. 2006.

QUIRINO, W. F *et al.* **Poder calorífico da madeira e de descartes ligno-celulósicos**. Biomassa e Energia. v1, n 2, p 173-182. 2004.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Editora IBAMA. Brasília. 2002.

QUIRINO, W. F. **A Biomassa pode ser fonte de energia para a Indústria?**. Revista Biomassa & Bionergia, nº 1, p 28-32. São Paulo: Gessuli Agrobussiness, abril de 2012a.

QUIRINO, W. F.; BRITO J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília, 1991

SILVA, D. J. **Análise de Alimentos**. 1990

VALE, *et al.*, **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (Coffea arabica, L) e de madeira (Cedrelinga catenaeformis)**, Duke. Universidade Federal de Lavras. Brasil. 2007.

Apêndice A: Análise de variância para as propriedades das biomassas PC, CE, CV, M e PR

Fonte de variação	Umidade (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	CF=100-(CZ+MV) (%)	C (%)	H (%)	N (%)	FDA (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Sílica (%)	FDN (%)	Dens. (g/mm ³)	P.C.S. (kcal/kg)
Biomassas	2,1096*	319,8821*	261,0419*	3,0746*	41,8717*	0,5438*	0,9854*	56,5619*	107,3720*	129,1807*	57,1357*	184,85*	2,1959*	1009631,907*
Resíduo	0,0153	0,4733	0,4382	0,0086	0,1382	0,0258	0,0034	1,1149	1,2987	0,3426	1,6094	1,3321	0,0280	4021,351

*diferença significativa pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** PC(palha de carnauba); CE(capim elefante); CV(capim vetiver); M(macrófita); PR(palmeira real).

Apêndice B: Propriedades das biomassas para geração de energia

Fonte de variação	Umidade (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	CF*=100-(CZ+MV) (%)	C* (%)	H* (%)	N* (%)	FDA (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Sílica (%)	FDN (%)	Densidade (g/mm ³)	P.C.S.* (kcal/kg)
PC	9,983 b	89,42 b	9,745 b	0,889 b	40,4 a	5,61 a	1,72 a	45,90 b	20,33 b	10,38 c	14,42 b	60,23 b	2,567 b	4255,3516 a
CE	9,734 b	89,9 b	9,402 b	0,699 b	39,34 a	5,48 a	0,87 c	44,33 b	13,85 c	15,82 b	13,54 b	71,30 a	1,358 c	4061,1666 b
CV	8,893 d	90,590 b	8,763 b	0,714 b	39,550 a	5,540 a	0,460 d	45,84 b	11,59 c	20,85 a	13,29 b	72,95 a	2,220 b	3765,996 c
M	9,483 c	67,650 c	29,668 a	2,785 a	31,080 b	4,690 b	1,280 b	54,77 a	26,87 a	3,50 d	23,37 a	54,53 c	2,501 b	2707,126 d
PR	11,119 a	93,770 a	6,029 c	0,205 c	39,340 a	5,880 a	0,310 d	44,66 b	17,58 b	15,06 b	11,01 b	61,42 b	3,902 a	3678,003 c

OBS: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

F (carbono fixo); C(carbono); H(hidrogênio); N(nitrogênio); P.C.S(poder calorífico superior)