

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPATAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA CULTURA DO MILHO
(*Zea mays* L.) E DO EPICARPO DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.)

VANDUI FRANCISCO DE SIQUEIRA DANTAS

ORIENTADOR: AILTON TEXEIRA DO VALE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA MARÇO DE 2013

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM - N°211 /2013

BRASÍLIA/DF: MARÇO- 2013

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.) E DO EPICARPO DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.)

VANDUÍ FRANCISCO DE SIQUEIRA DANTAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADO POR:

Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal, UnB); (Orientador)

**Prof. Dr. Ildeu Soares Martins (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador interno)**

**Prof. Dr. Gilberto Gonçalves Leite (Faculdade de Agronomia e Veterinária, UnB);
(Examinador externo)**

**Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador suplente)**

Brasília, 22 de março de 2013

FICHA CARTOGRÁFICA

DANTAS, VANDUI FRANCISCO DE SIQUEIRA

Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays* L.) e do epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) [Distrito federal] 2013.

36 p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, mestre, dissertação de mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia).

Departamento de engenharia florestal

- | | | |
|---------------|-----------------|--------------------------------|
| 1. Biomassa | 2. Resíduo | 3. Características energéticas |
| 4. Milho | 5. Pinhão manso | |
| I. EFL/FT/UnB | | |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DANTAS, V. F. S. (2013) Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays* L.) e do epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL – n°/ 2013, Departamento de engenharia florestal, Universidade de Brasília, Brasília DF, 40p.

CESSÃO DE DIREITO

AUTOR: Vandui Francisco de Siqueira Dantas.

TÍTULO: Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays* L.) e do epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)

GRAU: Mestre ANO: 2013

È concedido à Universidade de Brasília permissão para produzir cópia desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósito acadêmico e científico. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Vandui Francisco de Siqueira Dantas.

vandui@unb.br

AGRADECIMENTOS

À DEUS, minha família, (esposa e filhos) pelo o apoio e incentivo, dos meus pais (dádiva de Deus na minha vida) que, de longe, me encorajaram.

Ao Dr. Ailton Teixeira do Vale, pelas valiosas contribuições ao trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Ao Dr. Prof. Ildeu Soares Martins pela contribuição na revisão das análises estatística.

Ao Dr. Prof. Gilberto Gonçalves Leite, pelo apoio e contribuição e incentivo ao longo desta jornada.

Aos membros da banca pela contribuição à esta dissertação.

Ao Alessandro Moreira (Mestre e colega) pela ajuda que foi de grande valia.

Aos funcionários da Embrapa que muito contribuíram com a separação e doação do epicarpo do pinhão manso.

À FAL: diretores e funcionários.

Aos meus pais, João Francisco Neto e Josefa de Siqueira Dantas pelos verdadeiros ensinamentos e amor.

DEDICO.

RESUMO

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.) E DO EPICARPO DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.)

Autor: Vandui Francisco de Siqueira Dantas
Orientador: Ailton Teixeira do Vale
Programa de Pós – Graduação em ciências florestais
Brasília, março 2013.

O Brasil por apresentar grandes dimensões cultiváveis, solos e condições climáticas adequadas afigura-se como um dos maiores fornecedores de matérias primas para a produção de bioenergia, ocupando o terceiro lugar. Dentre as biomassas disponíveis para este fim os resíduos agrícolas ocupam lugar de destaque, por ser o Brasil um grande produtor de grãos. Diante do exposto o presente trabalho teve como objetivo analisar o potencial energético dos resíduos da cultura do milho e do epicarpo do pinhão manso. Foram coletados o sabugo, a palha, as folhas e o caule cultivados em Brasília-DF na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília do milho e o epicarpo proveniente de cinco acessos (107, 133, 169, 190 e 259) cultivados em Planaltina-DF na Embrapa Cerrados. Foram determinados a densidade básica, a densidade energética, o poder calorífico, os teores de material volátil, cinzas e carbono fixo e para os resíduos do milho a massa seca por hectare e o carbono fixado. Os resultados mostram que os quatro tipos de resíduos da cultura do milho podem ser utilizados na geração de energia. Mas dentre eles, há uma superioridade do caule e da folha, na produção de biomassa e na fixação de carbono, produzindo juntos em torno de 70% da biomassa total. No entanto quando se analisa o potencial energético por unidade de volume a palha da espiga se destaca com mais que o dobro da densidade energética do caule e da folha. Desta forma mesmo tendo um teor de cinzas maior que o caule e o sabugo a palha da espiga produz mais energia por unidade volumétrica. Comparada a cultura do pinhão manso, os resíduos da cultura do milho podem superar em 10 vezes a produção de epicarpo, no entanto a produção de energia por unidade de volume é muito semelhante aquela apresentada pelos resíduos do milho e estão na casa de 1000.000kcal/m³. O presente estudo mostra uma semelhança entre as características estudadas dos cinco acessos considerados, no entanto, pela análise pode-se observar uma superioridade do acesso 190 com maior produção de energia por unidade volumétrica, maior poder calorífico e um dos menores teores de cinzas.

Palavras chave: Biomassa, Energia, resíduos.

ABSTRACT

THE ENERGETIC POTENTIAL OF MAIZE CULTURE WASTE (*Zea mays* L.) AND BARBADOS NUT EPICARP (*Jatropha curcas* L.)

Author: Francisco de Siqueira Vandui Dantas

Advisor: Ailton Teixeira do Vale

Forestry Science Post -Graduation Program – University of Brasilia – Brazil

Brasília, March 2013

Brazil is a country with great availability of arable areas, as well as adequate soil and weather conditions, standing out as the world's third greatest bioenergy production raw material supplier. Once Brazil is a great crop producer, agricultural waste plays a major role among the available kinds of biomass. Considering the information above, the aim of this study is to analyze the energetic potential of maize culture waste, as well as that of the Barbados nut epicarp (*Jatropha curcas* L.). For this purpose, corncob, husk, leaves, and stalk samples were collected from plants grown in Brasilia – DF (Brazil) at the University of Brasilia Experimental Farm (Fazenda Água Limpa – FAL). Barbados nut epicarp samples were collected from five entries (107, 133, 169, 190, and 259), cultivated in Planaltina – DF, at *Embrapa Cerrados* Farm. Analyses were carried out to determine amounts of basic density, energetic density, heating power, volatile matter percentage, ashes and fixed carbon; and for maize waste, the amount of dry mass per hectare and settled carbon were also analyzed. Results have shown that the four types of maize waste are suitable for energy generation. However, stalk and leaves have presented superior performance regarding biomass production and carbon settling, producing about 70% of the total biomass amount. Nevertheless, when energetic potential per volume unit is analyzed, ear husk stands out displaying more than twice the energetic density amount presented by stalk and leaves. Thus, even presenting an ash content bigger than those of stalk and corncob, maize husk produces more energy per volumetric unit. In comparison with Barbados nut culture, maize culture wastes can exceed in 10 times Barbados nut epicarp productive performance, though its energy production per volume unit is quite similar to that presented by maize wastes and is around 1,000,000 kcal/m³. The results of the study have shown some similarity among the five entries studied; however, it was possible to observe a superiority of entry 190, which showed higher energy production per volumetric unit, higher heating power, and one of the smallest ash contents registered.

Key words: Biomass, waste, energetic features, maize, Barbados nut.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS	5
1.2. HIPÓTESE.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.2. BIOMASSA ENERGÉTICA.....	6
2.2. A CULTURA DO MILHO	8
2.3. CULTURA DO PINHÃO MANSO.....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1. COLETA DOS RESÍDUOS.....	10
3.1.1. Resíduo do Milho	10
3.1.2. Resíduo do Pinhão Manso.....	10
3.2. PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	11
3.3. DENSIDADE BÁSICA E TEOR DE UMIDADE MÁXIMO.....	12
3.4. PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	14
3.5. ANÁLISE IMEDIATA.....	14
3.5.1. Teor de Material Volátil	15
3.5.2. Teor de Cinzas	15
3.5.3. Carbono Fixo	16
3.6. DENSIDADE ENERGÉTICA	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1. RESÍDUOS DE MILHO	17
4.2. BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO	19
4.3. UMIDADE MÁXIMA E DENSIDADE BÁSICA.....	21
4.4. PODER CALORÍFICO SUPERIOR E DENSIDADE ENERGÉTICA.....	23
4.5. ANÁLISE IMEDIATA.....	24
4.6. EPICARPO DE PINHÃO MANSO.....	26

4.7. UMIDADE MÁXIMA E DENSIDADE BÁSICA.....	28
4.8. PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	28
4.9. DENSIDADE ENERGÉTICA	29
4.10. ANÁLISE IMEDIATA.....	30
5. DISCUSSÃO FINAL.....	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1.1 – Valores médios para massa seca (Ms), estoque de carbono (Ec), Umidade máxima (Umáx.), Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (Mv), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) de resíduos de milho. **Pág. 18**

Tabela 4.1.2 – Valores de “F” Massa seca (Ms), estoque de carbono (Ec), Umidade máxima (Umáx.), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF), para os resíduos de milho, considerando os quatros tratamentos: caule, folha, sabugo e palha. **Pág.19**

Tabela 4.2.1 – Teste de média pelo método de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: massa seca e estoque de carbono. **Pág. 21**

Tabela 4.3.1 – Teste de média pelo método de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: umidade máxima e densidade básica. **Pág.22**

Tabela 4.4.1 – Teste de média pelo método de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: poder calorífico superior e densidade energética. **Pág.24**

Tabela 4.5.1 - Teste de média pelo método Tuckey para os resíduos da cultura do milho: Material Volátil Cinza e Carbono fixo. **Pág.26**

Tabela 4.6.1 – Valores médios para Umidade máxima (Umáx.), Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (Mv), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) de epicarpo de pinhão manso. **Pág.27**

Tabela 4.6.2 – Valores de “F” para epicarpo de pinhão manso, considerando os quatros tratamentos acesso 107, acesso 133, acesso 169, acesso 190 e acesso 259. **Pág.27**

Tabela 4.6.3 – Teste de média pelo método de Tuckey para poder calorífico do epicarpo do pinhão manso. **Pág.28**

Tabela 4.10.1 – Teste de média pelo método de Tuckey para o teor de cinzas e de carbono fixo do epicarpo do pinhão manso. **Pág. 30**

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2.1.1 – A. equipamento para desintegrar o fruto de pinhão manso; B. Separação do epicarpo da semente; C. epicarpo do pinhão manso. **Pág.11**

Figura 3.2.1 – Equipamentos utilizados na preparação dos resíduos para ensaio: A – máquina forrageira para trituração; B – Moinho tipo Willey e C – Classificador com peneiras. **Pág.12**

Figura 3.3.1 – Procedimentos para determinação da densidade básica e teor de umidade máximo das amostras: A e B – retirada de excesso de água de epicarpo de pinhão manso e de palha de milho, respectivamente; C – condicionamento de epicarpo em bandejas de alumínio. **Pág.13**

Figura 3.4.1 – Calorímetro para determinação do poder calorífico superior. **Pág.14**

Figura 3.5.1.1 – Pesagem em balança de precisão (A) e procedimentos na determinação do teor de material volátil (A,B e C). **Pág.15**

Figura 3.5.2.1 – A - Cadinhos com amostras colocados dentro da mufla para determinação do teor de umidade; B – Dissecador com cadinho mais amostras para resfriamento. **Pág.16**

Figura 4.2.1 – Massa seca e estoque de carbono de resíduos de milho. **Pág.21**

Figura 4.3.1 - Umidade máxima e densidade básica do resíduo de milho. **Pág.23**

Figura 4.5.1 - Dados da análise imediata do resíduo de milho. **Pág.26**

Figura 4.7.1 - Umidade máxima e densidade básica do epicarpo de pinhão manso. **Pág.28**

Figura 4.10.1 - Valores médios de material volátil, cinzas e carbono fixo de epicarpo de pinhão manso. **Pág.30**

1. INTRODUÇÃO

A bioenergia tem sido uma importante opção para mitigação das emissões de gases do efeito estufa e substituição de combustíveis fósseis, sendo considerada por muitos pesquisadores como uma estratégia chave para atendimento dos objetivos ambientais. Dentro desta perspectiva, a cultura agrícola no Brasil tem papel importante neste cenário, pois o país possui grande produção agrícola e geração de resíduos.

Dentre as culturas e cultivares o milho (*Zea mays*) tem se destacado pela capacidade de produção, de biomassa, principalmente o forrageiro (SCOPEL *et. al.*, 2005). A planta do milho é considerada uma das mais eficientes na conversão de energia radiante e consequentemente, na produção de biomassa. Uma semente que pesa 260 mg produz, em um período próximo a 140 dias, de 0,8 a 1,2kg de biomassa (ANDRADE *et al.*, 1995). Para Andrade (1995), apesar de elevados potenciais produtivos os resíduos não são utilizados em grande escala para geração de energia, mas são muito importantes pelo interesse econômico e pela alta produtividade, principalmente o cultivo destinado à produção de biomassa (forrageiro).

A geração de resíduo do milho (*Zea mays*) pode ser dividida em sabugo, folha, colmo (caule) e palha (cobertura da espiga). As folhas mais os colmos, que, via de regra, são deixados no campo para ciclagem de nutrientes, são conhecidos como palhada. Estudo realizado por Koopmans e Koppejan (1997) indica que a geração de resíduo na cultura do milho é da ordem de 2,3t/t de grãos colhido, com 15% de teor de umidade.

Outra cultura que apesar de não ser tradicional, vem ganhando espaço na produção de biodiesel, é o pinhão manso (*Jatropha curcas*). Não há dúvida de que a cultura racional do pinhão manso, desenvolvida com o emprego de melhores técnicas, deverá constituir-se entre as mais promissoras fontes de grãos oleaginosos para fins carburantes (SANTOS, 2006).

O cultivo do pinhão manso no Brasil é considerado uma opção agrícola para o semiárido nordestino, por ser uma espécie nativa daquela região, exigente em insolação e com forte resistência a seca (BONAMIGO, 1995) e por ser uma planta que produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare, o pinhão atinge a idade produtiva entre três e quatro anos, que pode se estender por 40 anos (CARNIELLI, 2003). Para Purcino e Drumond (1986)

citados por Arruda et al. (2004), além de perene é de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida, podendo se tornar grande produtora de matéria-prima como fonte opcional de combustível.

A cultura de pinhão manso é perene e pode ser cultivada em solos pouco férteis e de clima desfavorável, sendo, segundo Purcino e Drummond (1986), uma cultura importante nas pequenas propriedades, que fazem uso da mão de obra familiar disponível. Peixoto (1973), afirma que o fruto do pinhão manso contém de 53 a 62% de sementes e de 38 a 47% de epicarpo e casca.

Com o avanço das tecnologias de produção de sementes e com o grande potencial socioeconômico em função das expectativas de sua produtividade, estima-se que a produção de sementes de pinhão manso aumentará, contribuindo, também, para o aumento dos resíduos produzidos (VALE et al., 2011).

Uma alternativa que se apresenta para a utilização dos resíduos, em geral e em particular, a palhada do milho e o epicarpo do pinhão manso, é a geração de energia e a quantidade de energia produzida por esses resíduos é diretamente influenciada por suas qualidades. Nesse sentido, a caracterização energética é um passo importante na sua utilização.

O conhecimento de características da biomassa como teor de umidade, densidade energética, composição imediata (carbono fixo, material volátil, cinza) e poder calorífico são importantes para a utilização da biomassa como fonte de energia.

2. - OBJETIVOS

1. Analisar o potencial energético do sabugo, folha, palha e caule do milho e do epicarpo do pinhão manso.
2. Determinar as características energéticas do sabugo, folha, palha e caule;
3. Determinar as características energéticas do epicarpo do pinhão manso;
4. Calcular a produção de biomassa seca proveniente dos resíduos da cultura do milho: sabugo, folha, palha e caule;

1.2 - HIPÓTESE

Os resíduos do milho na forma de palha, folha, caule e sabugo têm potencial para uso como insumo energético, sendo, portanto uma opção ao uso como cobertura morta.

O epicarpo do pinhão manso tem potencial para uso como insumo energético melhorando a viabilidade com produção de biodiesel.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Historicamente o processo de obtenção de energia pelo homem, tem sido uma atividade puramente extrativista, tendo a natureza como fonte principal. No início da civilização humana o homem não tinha preocupações econômicas, sociais ou ecológicas, na obtenção da energia, uma vez que as fontes utilizadas eram abundantes, desta forma, o consumo foi indiscriminado por muitos anos. Esse modelo permaneceu vigente até a primeira metade do século XX, sendo que, na segunda metade, a comunidade mundial voltou-se para questões dos impactos causados pelo consumo predatório das fontes energéticas (ANEEL, 2009).

O aquecimento global, as emissões de gases na atmosfera, o desmatamento florestal, entre outros fatores, passaram a ser debatidos e preconizados em larga escala, entrando na pauta de discussão de autoridades científicas, políticas, econômicas e culturais. Neste sentido foi dado início a um processo de busca por novas fontes energéticas, com quesitos de sustentabilidade, renovabilidade, eficiência e disponibilidade de longa duração (ANEEL, 2009).

2.2 - BIOMASSA ENERGÉTICA

A biomassa pode ser definida como todo material orgânico de origem vegetal ou animal produzido e acumulado em um ecossistema a partir da reação entre gás carbônico (CO₂ do ar), água (H₂O) e luz solar, processo denominado fotossíntese, (SOUZA et al., 2002).

Basicamente a biomassa é um hidrocarboneto, que possui átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse átomo faz com que a biomassa necessite menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, mas conseqüentemente, sua quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminuindo assim o seu poder calorífico (Nogueira; Rendeiro, 2008). A biomassa vegetal é considerada também como resíduo ligno-celulósico, com teores variados de celulose, hemicelulose e lignina (MARTINI, 2009).

Estima-se que atualmente entre 10% e 14% da biomassa produzida no mundo, para fins energéticos, sejam utilizadas e que a estimativa para 2020 é de um consumo de 11% (BERTRAND, 1991). O consumo de biomassa energética nos países em desenvolvimento é da ordem de 36% em média, sendo que na África chega a 60%, em Camarões a 64% e no Sudão a 87%, e no caso do Sudão, cerca de 45% é na forma de lenha e 30%, na forma de carvão (SCOPEL et al., 2005).

Por outro lado, os países industrializados apesar de terem um consumo baixo (3%) de biomassa energética, consideram de suma importância este tipo de energia, em função dos danos ocasionados pelo uso dos combustíveis fósseis, a limitação das fontes e a dependência deste combustível dentro da matriz energética de alguns países. Portugal quase não tem reserva de energias fósseis de boa qualidade, e, por isto, dependente da importação de energia o que leva os portugueses a ter um grande interesse em fonte de energia alternativa (ANDRADE et al., 1995).

Nos Estados Unidos 2,82% de energia utilizada é oriunda de biomassa o que corresponde a um total de 187 milhões de toneladas por ano, sendo que deste total, 166 milhões de toneladas são de recursos florestais. No sortimento desse material utilizado pelos Estados Unidos tem os que são oriundos de lenha, 44 milhões de toneladas de resíduo, oriundo de resíduo urbano de madeira, 35 milhões de toneladas e oriundo de licor negro, 52 milhões de toneladas. Ainda nos Estados Unidos a previsão é que o consumo de bioenergia chegue a 5% até 2030. Segundo Chillán et al. (2003) a energia, desde que proveniente do processo sustentável, deve ser considerada uma necessidade básica humana, como água limpa a moradia.

2.2 - A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays*), uma das culturas mais tradicionais e importante produtora de biomassa do mundo, comparativamente a outras espécies cultivadas, têm experimentado avanços tecnológicos significativos, e é considerada uma das mais eficientes na conversão de energia radiante e, conseqüentemente, na produção de biomassa.

Na safra de 2010/11 a produção foi da ordem de 800 milhões de toneladas de grãos, plantadas em aproximadamente 160 milhões de hectares, com a maior área plantada no continente asiático com 30 milhões de hectares somente na China. No entanto com altíssima produtividade média os EUA, com a metade da produção mundial, destaca-se como o principal exportador mundial (VERDE, 2010).

O milho é uma gramínea que pode ser cultivada em qualquer clima, solo ou altitude do mundo e sua produtividade varia de acordo com os fatores climáticos e fertilidade do solo e sua média no Brasil é de 2,87t/ha (BERTRAND, 1991).

O plantio do milho começa, normalmente, com a chegada da estação das chuvas, que varia de acordo com a região do país. Os melhores períodos para o plantio do milho são: No sul: de setembro a novembro No norte: da segunda quinzena de agosto até o fim de outubro Naturalmente, esses períodos podem variar, de acordo com o início das chuvas, que podem atrasar ou mesmo, chegar mais cedo (FRANCELLI et al., 2002).

No ano de 2008, o cultivo do milho ocupou 14,4 milhões de hectares, representado a segunda cultura mais plantada no país (a soja sendo a mais plantada). Com uma produção de 58,7 milhões de toneladas, a safra foi considerada recorde (IBGE, 2009). Mesmo com grandes produções, não há registro de utilização do resíduo gerado para produção de energia em grande escala, sendo que no processo de colheita do milho, o beneficiamento do grão é feito no campo pela colheitadeira, retirando o caule, folha, palha e sabugo que são totalmente descartados na lavoura e dispersos em toda a área plantada.

No entanto, o milho pode vir a ser importante porque os volumes expressivos de produção têm levado, no exterior, ao desenvolvimento de sistema de colheita prevendo a recuperação da palhada do milho, entretanto Purcino & Drumond (1986) alerta para a necessidade de avaliação econômica do processo para uso no Brasil.

A colheita do milho verde em espiga para indústria de conserva é pequena se comparada ao montante colhido para grão (CORTEZ et al., 2008). No entanto, tem a vantagem de que neste caso a colheita do milho em espiga libera para o campo apenas o caule e as folhas, sendo a palha e o sabugo, resíduos do processo industrial. Portanto a utilização desse resíduo pode ser viável do ponto de vista econômico, pois ficam concentrados na indústria. A viabilização econômica do seu uso em um sistema de co-geração ou para geração de energia é atrativo em casos específicos como este da indústria de milho verde enlatado (PRETO et al., 2010).

2.3 - CULTURA DO PINHÃO MANSO

O pinhão manso é uma planta perene, rústica e de fácil adaptação em condições edafoclimáticas (SATURNINO et al, 2005). Por ser uma cultura existente de forma espontânea em áreas de solos pouco férteis e de clima desfavorável à maioria das culturas alimentares tradicionais, o pinhão manso pode ser considerada uma das mais promissoras oleaginosas do Nordeste do Brasil, para substituir o diesel. Não há dúvida de que a cultura racional do pinhão manso, desenvolvida com o emprego de melhores técnicas, deverá constituir-se entre as mais promissoras fontes de grãos oleaginosos para fins carburantes (SANTOS, 2006).

O pinhão pode ser reproduzido via sexuada ou assexuada por estaquia e, em ambos os casos, a seleção das matrizes deve ser rigorosa. De modo geral, as plantas oriundas de sementes, são mais resistentes e de maior longevidade, atingindo idade regular produtiva após quatro anos, enquanto as provenientes de estacas são de vida mais curta e sistema radicular menos vigoroso, mas começam a produzir no segundo ano (AVELAR et al., 2006).

É de grande importância o aproveitamento dos resíduos no local de colheita, pois além de enriquecer o solo com matéria orgânica, incorpora significativa quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio, contribuindo para manter um nível de produtividade mais regular da cultura e diminuindo o consumo de fertilizantes químicos (BIODIESELBR, 2006).

Uma das grandes vantagens do pinhão-manso é o seu longo ciclo produtivo, que pode chegar a 40 anos e manter a média de produtividade de 2t/ha, além de ser uma cultura que pode se desenvolver nas pequenas propriedades com a mão de obra familiar disponível Purcino & Drummond, (1986) citado por Arruda et al. (2004). Para a extração do óleo são

gerados como resíduo o epicarpo, a casca (película que envolve a semente) a torta, que podem ser utilizados como fonte de energia, gerando, segundo Ramos et al. (2011), um poder calorífico superior médio para o epicarpo de 3.982kcal/kg.

3. - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COLETA DOS RESÍDUOS

3.1.1- Resíduo do Milho

Os resíduos do milho (*Zea mays* L.) foram coletados na FAL (Fazenda Água Limpa), em uma área de 19 hectares plantado com o híbrido AG 1051, plantado no final de novembro de 2011. Este híbrido foi desenvolvida com a finalidade de produção de grãos e biomassa para silagem.

Foi utilizada a modalidade de plantio direto nesta área, no trato cultural foi aplicado o herbicida, marca glifozato e a adubação foi realizada com 350kg/ha do 4-30-16. No plantio a plantadeira foi regulada para semear sete grãos por metro linear.

Cada amostra foi composta por 20 indivíduos, coletados em 15 posições diferentes (repetições), escolhidas ao acaso, a partir de um caminamento em zigue zague. Todo material foi cortado a facão, altura rente ao chão e formando 15 feixes, ao mesmo tempo em que o material era cortado, retirava-se amostras da folha, palha, caule e sabugo que eram armazenados em sacos plásticos para determinação do teor de umidade da biomassa no momento da colheita.

Cada feixe foi identificado, amarrado, colocados em sacos de nylon e transportado para o laboratório, onde foi feita a separação da palhada do milho, que constituiu em quatro tratamentos caule, sabugo, folha e palha, que foram pesadas separadamente, obtendo a massa da biomassa úmida no momento da colheita, e colocadas em área aberta para secagens durante três dias e em seguida, armazenadas novamente em sacos de nylon.

3.1.2 - Resíduo do Pinhão Manso

Os frutos do pinhão manso proveniente de cinco acessos (tratamentos), 107, 133, 169, 190 e 259, com cinco repetições, exceto para o acesso 259 que possuía apenas 3

repetições; foram coletados no banco de germoplasma da EMBRAPA (Empresa brasileira de pesquisa Agropecuária) localizada em Planaltina, foi colhido com quatro anos e oito meses de idade. As adubações no transplântio foram feitas nas covas, e a de cobertura aos 60 e 120 dias após o plantio, com 146,2kg/ha de N, 28,5/ha kg de P e 130,6kg/ha de K.

Utilizando um equipamento alemão marca Kiya Seisakusyo Type Ts (Figura 1A) adaptado, foi realizada a desintegração do fruto do pinhão manso. Em seguida foi feita a separação manual (Figuras 1B) entre o epicarpo e a semente, identificando cada acesso e cada repetição. O epicarpo foi transportado para o Laboratório de Energia de Biomassa do Departamento de Engenharia Florestal localizada na FAL (Fazenda Água Limpa), onde foram retiradas duas amostras para determinação do teor de umidade e da densidade básica.



Figura 1 – (A) Equipamento para desintegrar o fruto de pinhão manso; (B) Separação do epicarpo da semente; (C) epicarpo do pinhão manso.

3. 2 - PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS

Após a retirada de amostras para a determinação de umidade e de densidade básica as amostras de resíduos de milho foram trituradas em uma máquina forrageira marca TRAPP-TRF 80 (Figura 2A), para reduzir a granulometria e facilitar a moagem posterior. Em seguida todos os resíduos foram colocados em estufa a uma temperatura de $103\pm 2^{\circ}$ C para sabugo e caule e $83\pm 2^{\circ}$ C palha e folha, durante três dias em média, até massa constante, para reduzir o teor de umidade e assim melhorar as condições dos materiais para a moagem em moinho de facas tipo Willey (Figura 2B). Após a moagem os resíduos passaram por um classificador de peneiras marca Betel (Figura 2C) utilizando peneiras de 40 e 60 mesh.

O pó classificado entre 40 e 60 mesh foi utilizado para realização de análise imediata e o pó classificado abaixo de 60 mesh foi utilizado para a determinação do poder calorífico.

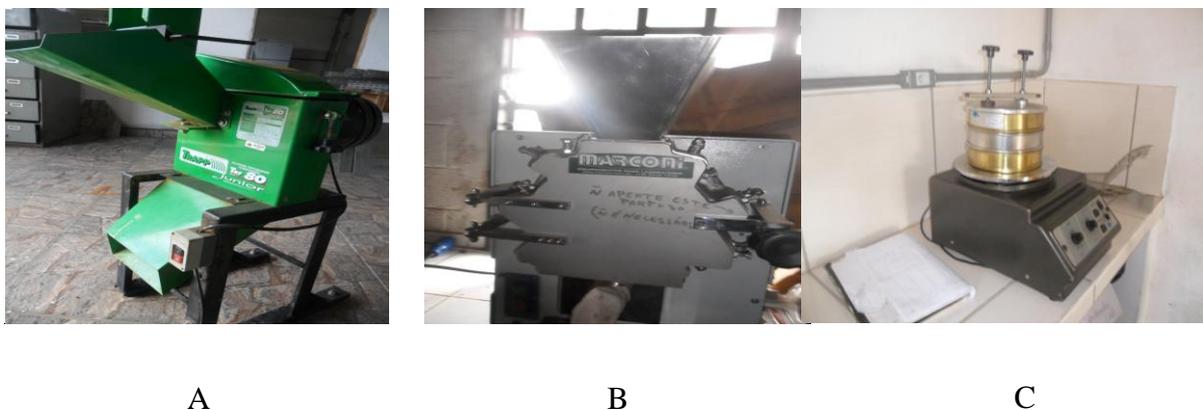


Figura 2 - Equipamentos utilizados na preparação dos resíduos para ensaio: (A) máquina forrageira para trituração; (B) Moinho tipo Willey e (C) Classificador com peneiras.

3.3 - DENSIDADE BÁSICA E TEOR DE UMIDADE MÁXIMO

Uma amostra de 50 g de cada repetição, do resíduo do milho (caule, folha, sabugo e palha) e os acessos de pinhão manso (107 I e II, 133 I e II, 169 I e II, 190 I e II, 259 I e II) foram colocados em sacos plásticos juntamente com água, para a saturação completa, o que ocorreu em aproximadamente 10 dias. Em seguida cada amostra, após eliminado o excesso de água com auxílio de papel toalha (Figuras 3A e 3B), foi colocada em bandejas de alumínio (Figura 3C) e pesada obtendo a massa saturada.

Posteriormente as amostras de epicarpo do pinhão manso e de folhas e palhas do milho foram colocadas em estufa a 85°C e as amostras de caule e o sabugo de milho foram colocados em estufa a $\pm 103 \pm 2^\circ\text{C}$; até massa constante e novamente pesadas, obtendo a massa seca a 0% de umidade. Com os dados de massa saturada e massa seca a 0% de umidade foi determinada a umidade máxima adaptando, baseado em Vital (1997) e densidade básica da madeira segundo a NBR 8112/1986 e Vital (1984), adaptados para este trabalho.



A

B

C

Figura 3 - Procedimentos para determinação da densidade básica e teor de umidade máximo das amostras: (A e B) retirada de excesso de água de epicarpo de pinhão manso e de palha de milho, respectivamente; (C) condicionamento de epicarpo em bandejas de alumínio.

Para o cálculo da densidade básica utilizou-se a expressão:

(Eq1)

$$Db = 1 / \{[(M_{sat} - M_{0\%})/M_{0\%}] - 0,346\}$$

Onde:

Db - densidade básica (g/cm³)

M_{sat} - massa saturada (g)

M_{0%} - massa seca a 0% de umidade (g)

Para o cálculo do teor de umidade utilizou-se a expressão:

(Eq2)

$$TU = [(M1 - M0)/M0] \times 100$$

Onde

TU - teor de Umidade (%)

M1 - massa inicial da amostra (g)

M0 - massa final da amostra (g)

3.4 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR

Para a obtenção do poder calorífico superior usou-se o manual de instrução do calorímetro Ika C 2000 (Figura 4) e a norma ABTN-NBR 8633/1984, conforme os passos seguintes:

- a. Amostras de cada resíduo foram secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante e resfriada em dissecador;
- b. Com auxílio de balança de precisão com sensibilidade de 10^{-4}g , cada amostra foi pesada dentro de cadinho metálico;
- c. O cadinho contendo a amostra foi colocado dentro da bomba calorimétrica e um pavio de algodão foi fixado nos pólos positivo e negativo do sistema passado pela amostra;
- d. Após fechamento, oxigênio puro foi colocado dentro da bomba a uma pressão atmosférica de 30 atm;
- e. Com o sistema montado e todas as informações a respeito da amostra inseridas, iniciou-se o ensaio e ao final obteve-se o poder calorífico superior.

O valor médio entre duas duplicatas foi considerado o poder calorífico da amostra e, ocorrendo diferença superior a 29 calorias, o ensaio era repetido.



Figura 4 – Calorímetro para determinação do poder calorífico superior.

3.5 - ANÁLISE IMEDIATA

As amostras classificadas em peneiras entre 40 e 60 mesh foram colocados em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 2 horas, tempo suficiente para alcançar a massa constante, e em seguida colocada em dissecador para resfriamento e determinação dos teores de voláteis, cinzas e carbono fixo, segundo a norma NBR 8112/1986.

3.5.1 - Teor de Material Volátil

Pesou-se 1g de resíduo seco a 0% de umidade em balança de precisão com sensibilidade de 10^{-4} g (Figura 5A), em duplicata. Com a mufla pré-aquecida a $900\pm 10^{\circ}\text{C}$, colocou-se o cadinho com a mostra sobre a porta da mufla durante 3 minutos, (Figura 5B) e em seguida colocou-se o cadinho mais a amostra e tampa no interior da mufla (Figura 5C) fechando a porta e deixando por 7 minutos, quando a amostra era retirada e colocada em dissecador para resfriamento e posterior pesagem.



A



B



C

Figura 5 - Pesagem em balança de precisão (A) e procedimentos na determinação do teor de material volátil (B e C).

Para o cálculo do teor de material volátil utilizou-se a expressão:

(Eq3)

$$MV = [(M1-M2)/M] \times 100$$

Onde:

MV - teor de material volátil (%)

M1 - massa inicial do cadinho + amostra (g)

M2 - massa final do cadinho + amostra (g)

M - massa da amostra (g)

3.5.2 - Teor de Cinzas

Pesou-se em 1g de resíduo seco a 0% de umidade em balança de precisão com sensibilidade de 10^{-4} g, em duplicata. Com a mufla pré-aquecida a $700\pm 10^{\circ}\text{C}$, colocou-se o

cadinho com a amostra no interior da mufla (Figura 6A) fechando a porta deixando por 48 horas, quando foi retirada e colocada em dissecador (Figura 6B) para resfriamento e posterior pesagem.



A



B

Figura 6 (A) - Cadinhos com amostras colocados dentro da múfla para determinação do teor de cinza; (B) Dissecador com cadinho mais amostras para resfriamento.

Para o cálculo do teor de cinzas utilizou-se a expressão:

(Eq4)

$$CZ = [(M1 - M0) / M] \times 100$$

Onde ;

CZ - teor de cinza em (%)

M1 - massa do cadinho + resíduo (g)

M0 - massa do cadinho (g)

M - massa amostra (g)

3.5.3 - Carbono Fixo

O teor de carbono fixo foi obtido por diferença, conforme a equação 5.

(Eq5)

$$CF = 100 - (Cz + MV)$$

CF - teor de carbono fixo (%)

CZ - teor de cinza (%)

MV - teor de material volátil (%)

3.6. DENSIDADE ENERGÉTICA

Para cálculo da densidade energética (kg/m^3), foi utilizado o produto entre o valor do poder calorífico superior (kcal/kg) e a densidade básica (kg/m^3), conforme equação 6.

(Eq. 6)

$$De = PCS * Db$$

Onde:

De - densidade energética (kg/m^3)

PCS - poder calorífico superior (kcal/kg)

Db - densidade básica (kg/m^3)

Na análise estatística dos resíduos da cultura do milho utilizou-se da Análise de Variância (ANOVA), considerando quatro tratamentos (folha, caule, sabugo e palha) com 15 repetições cada. A mesma análise foi feita pra o epicarpo do pinhão manso, considerando cada acesso (107, 133, 169, 190 e 259) como tratamento, sendo os acessos 107, 133, 169 e 190 com cinco repetições e o acesso 259 com três repetições.

4. - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. - Resíduos de Milho

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias das características analisadas para resíduos de milho, com seus respectivos coeficientes de variação.

Tabela 1 – Valores médios para massa seca (Ms), estoque de carbono (Ec), Umidade máxim(Umáx.), Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (Mv), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) de resíduos de milho

CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DO MILHO			
	CAULE	FOLHA	SABUGO	PALHA
Ms (kg/ha)	4.553	3.300	1.447	1522
Ec (kg/ha)	1.949	1.412	619	625
Umáx %	631	546	405	279
Db(kg/m ³)	150	200	220	312
PCS (kcal/kg)	4.348	4.365	4.476	4.564
De (kcal/m ³)	652.200	873.000	984.720	1.423.968
Mv (%)	83,99	83,09	84,68	85,90
Cz (%)	2,08	5,49	1,65	1,91
Cf	13,93	11,47	13,67	12,19

Na Tabela 2 estão os valores de “F” da análise de variância, ao nível de 5% de probabilidade, para os resíduos de milho (caule, folha, sabugo e palha). Observa-se que há diferença ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos para todas as variáveis estudadas. Desta forma foi realizado o teste de média pelo método de Tuckey.

Tabela 2 - Valores de “F” Massa seca (Ms), estoque de carbono (Ec), Umidade máxima (Umáx.), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF), para os resíduos de milho, considerando os quatros tratamentos: caule, folha, sabugo e palha.

FV	GL	Valores de “F”				
		Ms	Ec	Umáx.	Db	PCS
Tratamento	3	50,577*	50,577*	58,524*	39,766*	6,902*
Resíduo	56					
Total	59					

*significativo; ns – não significativo. Ambos ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 2 (continuação)

FV	GL	Valores de “F”			
		De	MV	Cz	CF
Tratamento	3	26,313*	11,552*	96,101*	9,392*
Resíduo	56				
Total	59				

*significativo; ns – não significativo. Ambos ao nível de 5% de probabilidade.

4.2 - BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO

Na colheita do milho quatro tipos de resíduos são gerados o caule, a folha, o sabugo e a palha da espiga, que, comumente, são deixados no campo, para ciclagem de nutrientes. O sabugo e a palha da espiga são resíduos que podem ser gerados no processamento industrial quando a finalidade é a produção de milho verde em conserva e neste caso com melhores possibilidades de serem utilizados para a geração de energia. Seja em um caso ou outro, a caracterização energética destes resíduos é indispensável para a análise do potencial na geração de energia.

Os resultados, (Tabela 1) mostram que, dentre os resíduos de milho, o caule soma mais de 40% do total, seguido de 30% de folha e em torno de 13% de sabugo e palha, portanto na cultura do milho o caule e folha têm destaque na produção de resíduo, com 7,85 toneladas/ha. Holtz (1995) trabalhando com palhada de milho, que permaneceu no campo, encontrou uma variação de massa seca, para um intervalo de quatro meses, de 9,8 toneladas/ha para 5,0 toneladas/ha, portanto uma perda de massa de 4,8 toneladas/há, em função da perda de água.

Segundo Ferreira (1995), em um trabalho com milho forrageiro consorciado com a *Brachiaria brizantha* para silagem em um sistema de plantio convencional obteve produção média de matéria verde de 50,13 toneladas/ha e com a palhada seca a média foi de 15,344 toneladas/ha. Borghie et al. (2004) citados por Ferreira et al. (2005), encontraram, para plantio com espaçamento entre linhas de 0,50 m, produção de palhada seca coletadas em torno de 123 dias de 8,14 toneladas/ha e para espaçamento entre linhas de 0,8m, 9,33 toneladas/ha, coletado na mesma época.

O Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA, 2003) informa que na safra de 2003/4 a produção de palhada do milho foi, em média, de 10 toneladas/ha de matéria seca. Cruz et al. (2004) obtiveram produção de biomassa (Palhada) do milho com produtividade média de 13,45 t/ha. Os mesmos autores informam ainda que com espaçamento de 0,40cm entre linha com 50.000 plantas por hectare obtiveram uma produção de 14,046 t/ha e com um espaçamento de 0,80 cm entre linhas com 50.000 plantas por hectare obtiveram 13,486 t/ha de matéria seca.

A biomassa residual proveniente da cultura do milho fica na sua maior parte no campo para ciclagem de nutrientes, mas poderia ser utilizada para produção de energia nos próprios processos de secagem do milho ou em outras atividades.

Como bom produtor de biomassa o milho também é um bom fixador de carbono e, segundo Holtz (1955), o teor de carbono da palhada de milho apresenta tendência de aumento em função da época da amostragem com variação entre a primeira amostragem e a sexta amostragem no 103º dia, respectivamente de 39,5% a 45,0%, com média de 42,8%. Considerando este valor como referência, o estoque de carbono total encontrado no presente trabalho foi da ordem de 4,51 toneladas/ha, sendo que 3,28 toneladas/ha de carbono são fixados na forma de caule e folhas, ou seja, mais de 70% (Figura 7).

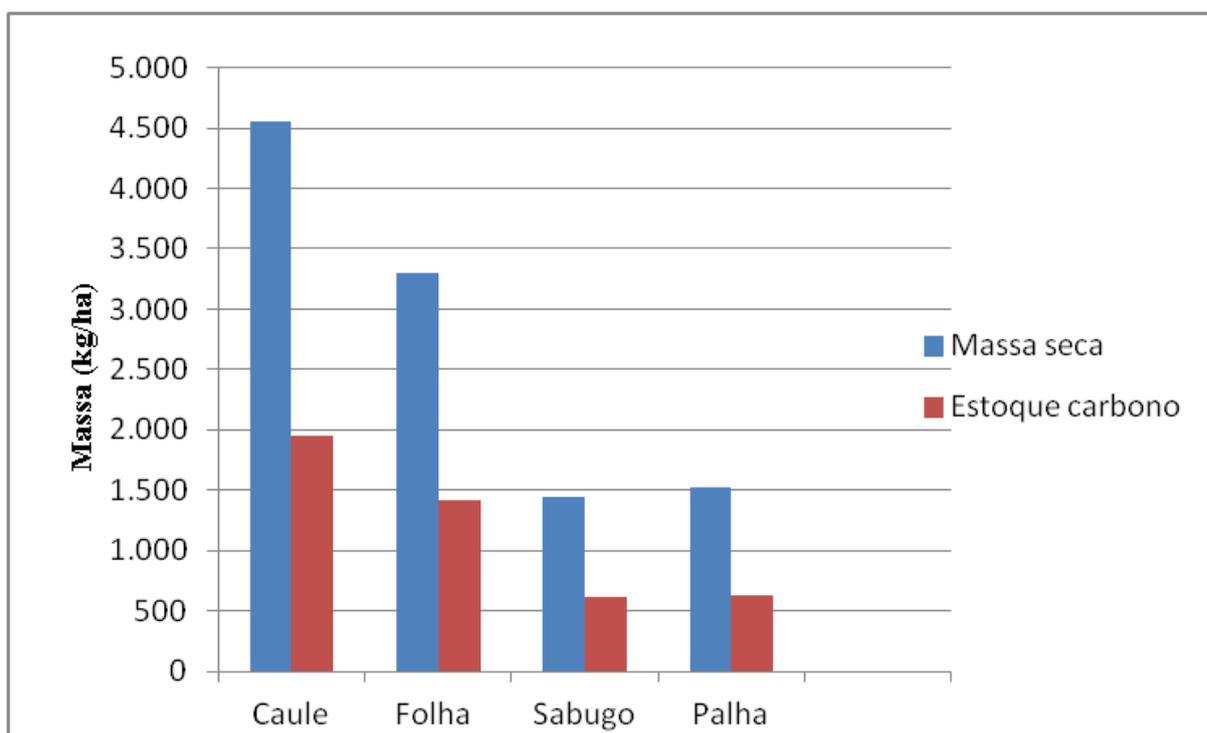


Figura 7 – Massa seca (MS) e estoque de carbono (Ec) de resíduos de milho.

Conforme pode ser observado pela Tabela 2, houve diferença a 5% de probabilidade para a massa seca e para o estoque de carbono entre os resíduos do milho, com destaque para o caule com 4,5 toneladas de matéria seca por hectare seguido das folhas com 3,3; palha com 1,5 e sabugo com 1,4. Pelo teste de média (Tabela 3), observa-se que o caule está isolado na produção de biomassa seca e na capacidade de estocar carbono em sua estrutura, produzindo 42% do total de matéria seca de resíduo da cultura do milho e cerca de três vezes mais que a produção de sabugo de milho.

Tabela 3 – Teste de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: massa seca e estoque de carbono.

Massa seca (kg)			Estoque de carbono (kg)		
Tratamentos	Média		Tratamentos	Média	
Caule	4.553	A	Caule	1.949	A
Folha	3.300	B	Folha	1.412	B
Palha	1.522	C	Palha	625	C
Sabugo	1.474	C	Sabugo	619	C

*médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

4.3 - UMIDADE MÁXIMA E DENSIDADE BÁSICA

Estimou-se a correlação entre a densidade básica dos resíduos de milho e a umidade máxima, com um coeficiente de correlação médio de -0,99. Isso se explica pelo fato de que quanto maior a densidade do material menor será a quantidade de espaço vazio e consequentemente menor a quantidade de água que o material pode reter. Neste sentido o caule destaca-se com umidade máxima de 631%, em base seca, em função de uma menor densidade básica da ordem de 150 kg/m³. Em contrapartida a palha do sabugo apresenta uma umidade máxima de 279%, em base seca, e uma densidade básica de 312kg/m³ (Figura 8).

Pelos valores de “F” da Tabela 2 observa-se diferença ao nível de 5% de probabilidade entre as médias dos tratamentos para umidade máxima e densidade básica. Na Tabela 4 está o teste de média que mostra o caule como o resíduo com maior teor de umidade máxima, diferente dos demais e cerca de duas vezes maior que a palha. Por outro lado o sabugo apresenta uma densidade básica igual ao da palha e diferente da folha e do caule. A

importância da umidade do resíduo, além da influência inquestionável sobre a produção de calor está na questão da secagem para uso final, tornando um material com umidade muito elevada, passível do ataque de fungos no processo de armazenamento para secagem.

Tabela 4 – Teste de média pelo método de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: umidade máxima e densidade básica.

Umidade máxima (%)		Densidade básica (g/cm ³)	
Tratamentos	Média	Tratamentos	Média
Caule	631 A	Sabugo	220 A
Folha	546 B	Palha	312 A
Sabugo	405 C	Folha	200 B
Palha	279 D	Caule	150 B

*médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

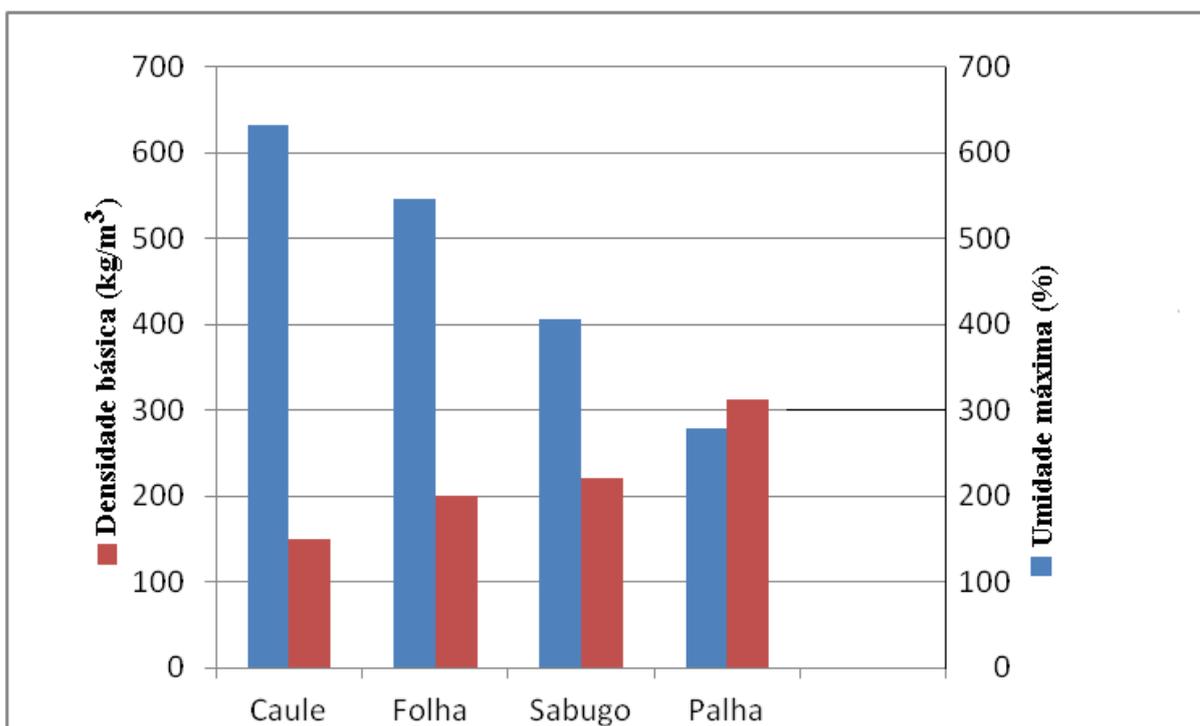


Figura 8 - Umidade máxima e densidade básica do resíduo de milho.

Segundo Earl (1975), citado por Cunha et al. (1989), é importante que o teor de umidade da biomassa a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível, pois, segundo Cunha et al. (1989), quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão,

devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão. Isto pode ser considerado para os resíduos estudados.

O conteúdo de umidade máximo que uma madeira, e a biomassa em geral, podem ter, para ser queimada está em torno de 65% a 70% em base úmida. Desta forma, material muito úmido, com teor de umidade acima deste limite, necessita calor de origem externa para secar e entrar em combustão, segundo Ince (1980), citado por Cunha et al., (1989).

4.4 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR E DENSIDADE ENERGÉTICA

Os resultados da Tabela 1 mostram valores para poderes caloríficos de 4.348 kcal/kg para o caule, 4.365 kcal/kg para a folha, 4.476 kcal/kg para o sabugo e 4.564 kcal/kg para a palha. Estes são próximos aqueles encontrados por Salazar et al. (2005) que registrou os seguintes poderes caloríficos superiores para resíduos do milho; caule, 4.211 kcal/kg; folha, 4.464 kcal/kg; e sabugo, 4.615 kcal/kg e palha, 4.443 kcal/kg.

Trabalhando com palhada de milho, (Protásio et al., 2011) encontraram um poder calorífico superior de 4.515 kcal/kg e Koopman & Koppejan (1997) registrou um poder calorífico superior médio entre palha, folha, caule e sabugo, de 4.227 kcal/kg.

Cortez (et al, 2009) encontrou 4.490 kcal/kg para o sabugo de milho, enquanto Silva et al. (2004) encontraram 4.390 kcal/kg e Reveedran et al. (1995) encontraram 3.744 kcal/kg. Quirino (2005) encontrou, para palha do milho, 3.570 kcal/kg.

Para o cálculo da densidade energética no presente trabalho utilizou-se da densidade básica de cada resíduo, tendo sido encontrado para o caule, 652,2 Mcal/m³; para a folha, 873 Mcal/m³; para o sabugo, 984, 72 Mcal/m³ e para a palha, 1.423, 968 Mcal/m³. Ferreira et al. (2004) utilizando sabugo de milho com umidade de 17,1%, base úmida, entre outras biomassas, para a secagem de produtos agrícolas via gaseificação, encontrou para esta biomassa uma densidade energética de 568,59 Mcal/m³, valor inferior ao encontrado neste trabalho, provavelmente devido ao maior teor de umidade, pois Protásio et al. (2011) trabalhando com compactação de biomassa vegetal encontrou para o sabugo seco a 0% de umidade e utilizando a densidade a granel, uma densidade energética de 1.000 Mcal/m³.

Conforme mostrado na Tabela 2 foi, observa-se que foi encontrada diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade tanto para o poder calorífico quanto para a

densidade energética. Pelo teste de média da Tabela 5 observa-se que os tratamentos são divididos em dois grupos, um composto pelo sabugo e a palha produzindo cerca de 40% mais energia que o segundo grupo composto pela folha e o caule.

Tabela 5 – Teste de média pelo método de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: poder calorífico Superior e densidade energética.

Poder calorífico Superior (kcal/kg)		Densidade energética (kca/m ³)	
Tratamentos	Média	Tratamentos	Média
Sabugo	4.476 A	Sabugo	984.720 A
Palha	4.364 A	Palha	1.423.968 A
Folha	4.365 B	Folha	873.000 B
Caule	4.348 B	Caule	652.200 B

*médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

4.5 - ANÁLISE IMEDIATA

Segundo Nogueira (2008) os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos de um combustível são caracterizados como cinzas. McKendry (2002) afirma que o teor de cinza diminui o poder calorífico superior e prejudica o processo de geração de energia, portanto quanto menor o teor de cinza melhor o rendimento energético. Neste sentido, quanto ao teor de cinzas, dentre os componentes dos resíduos da cultura do milho, o caule (2,08%), o sabugo (1,65%) e a palha (1,91%) destacam-se na produção de combustível em relação a folha que apresenta 5,49% de cinzas (Tabela 6 e Figura 9) e diferença ao nível de 5% de probabilidade.

Sequencia semelhante foi encontrada por Ramos et. al. (2011), ou seja, maior valor de teor de cinza para folha seguido de caule, palha e sabugo, conforme segue: 3,52% para a folha, 3,43% de cinzas para o caule, 1,58% para a palha o 1,16% para o sabugo. Valores semelhantes para teores de cinzas da palha foram encontrados por Salazar et al. (2009) (1,52%) e por Tognot et al. (2004) (1,21%) e valores semelhantes para teor de cinza de

sabugo foi encontrado por Peart et al. (1961), que registrou teor de 1,64%. O teor médio de cinza para a palhada de 3,53%, foi inferior ao encontrado por Ramos et al. (2011), 6,38%.

Os maiores teores de carbono fixo encontrados foram 13,93% para o caule, 13,67% para o sabugo, que não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade; seguidos de 12,19% para a palha e 11,47% para a folha. Estes valores são diferentes da sequência e dos valores encontrados por Ramos et al. (2011), que foi, caule (20,47%), folha (18,43%), palha (17,05%) e para o sabugo (18,32%). Reveendran et al. (1995) registram 11,80% de carbono fixo para sabugo, valor próximo ao encontrado neste trabalho, enquanto Jenkins (1990), encontrou 18,54%. Peart et al. (1981) registra 18,40% de carbono fixo para a palha e Tognotti(2007) achou 18,8%.

Os teores de material volátil encontrados foram 85,90% para palha, 84,68% para o sabugo, 83,95% para o caule e 83,09% para a folha (Tabela 1), semelhantes aos valores encontrados por Ramos et al. (2011) que encontraram para palha 81,68%, sabugo 81,31%, folha 78,30%, caule 76,82%. Para teores de material volátil no sabugo Reveendram (2010) registrou 85,40%, Jenkim (1990) 81,10%, Peart et al. (1981) 80,00%, Paula et al. (2011) 81,31% e Demirbas (2004) 87,32%. Tognot et al (2008) encontraram 73,00% material volátil para a palha.

As eventuais diferenças nos valores encontrados, pode estar relacionados aos diferentes cultivares, que até 2008 eram mais de 240. (MAPA, 2003) aponta outros fatores devem ser considerados, tais como, a idade do plantio, a modalidade de plantio (plantio convencional ou direto) e a aptidão do cultivar (forrageiro ou granífero). Tudo isso pode contribuir para possíveis discrepâncias na análise imediata, no resíduo do milho.

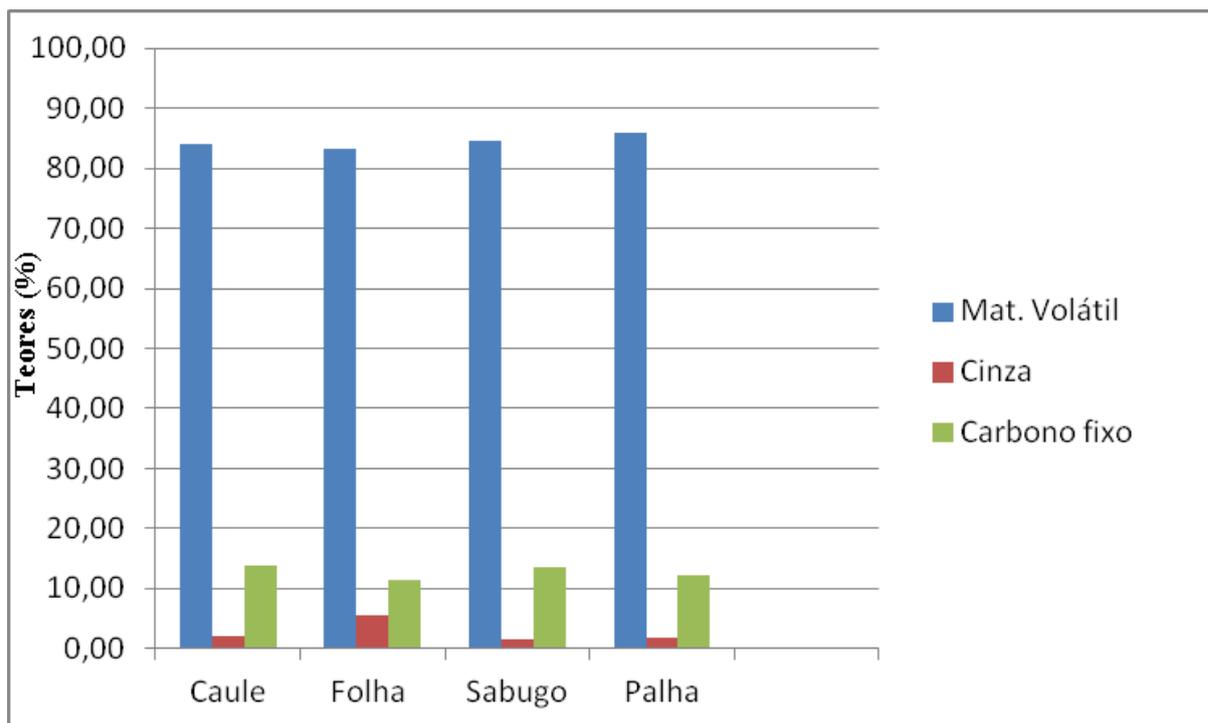


Figura 9 – Análise imediata do resíduo de milho.

Tabela 6 – Teste de média pelo método de Tuckey para os resíduos da cultura do milho: material volátil, cinzas e carbono fixo.

	Material volátil (%)		Cinzas (%)		Carbono fixo (%)		
	Média		Tratamento	Média	Tratamento	Média	
Palha	85,91	A	Folha	5,49	Caule	13,93	A
Sabugo	84,68	A	Caule	2,08	Sabugo	13,67	A
Caule	83,99	B	Palha	1,91	Folha	11,47	BC
Folha	83,09	C	Sabugo	1,65	Palha	12,19	C

*médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

4.6 - EPICARPO DE PINHÃO MANSO

Na Tabela 7 estão apresentadas as médias das características analisadas para resíduos de milho com seus respectivos coeficientes de variação.

Tabela 7 – Valores médios obtidos para o epicarpo do pinhão manso. Umidade máxima (Umáx.), Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), densidade energética (De), material volátil (Mv), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) de epicarpo de pinhão manso.

Características	Epicarpo (Acessos)				
	107	133	169	190	259
Umáx (%)	351	363	349	348	338
Db (%)	240	233	241	241	274
PCS (kcal/kg)	4.322	4.239	4.482	4.489	4.238
De (%)	1.036.480	996.360	1.077.4000	1.085.430	1.058.370
Mv (%)	76,94	77,30	79,80	77,60	80,90
Cz (%)	6,03	7,44	7,49	6,46	5,81
Cf	17,02	15,20	12,60	15,90	13,20

Nas Tabela 8 e 9 estão os valores “F” para o epicarpo do pinhão manso, considerando os acessos 107, 133, 169, 190 e 259 e as variáveis estudadas.

Tabela 8 – Valores de “F” para epicarpo de pinhão manso, considerando os quatro tratamentos: acesso 107, acesso 133, acesso 169, acesso 190 e acesso 259 e as variáveis: umidade máxima (Umáx.), densidade básica (Db), material volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF).

FV	GL	Valores de “F”				
		Umáx.	Db	MV	Cz	CF
Tratamento	4	0,621 ^{ns}	0,554 ^{ns}	2,209 ^{ns}	7,30*	2,931*
Resíduos	18					
Total	22					

*significativo; ns – não significativo. Ambos ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 9 - Valores de “F” para epicarpo de pinhão manso, considerando os quatro tratamentos: acesso 107, acesso 133, acesso 169, acesso 190 e acesso 259 e as variáveis:

FV	GL	Valores de “F”	
		PCS	De
Tratamento	4	3,014*	1,439 ^{ns}
Resíduos	16		
Total	20		

poder calorífico superior (PCS) e densidade energética (De).

*significativo; ns – não significativo. Ambos ao nível de 5% de probabilidade.

4.7 - UMIDADE MÁXIMA E DENSIDADE BÁSICA

Observa-se pela Tabela 7 e Figura 10, como era de se esperar, uma relação inversa entre a densidade básica do epicarpo de pinhão manso e a umidade máxima, com um coeficiente de correlação médio de -0,98. Assim como para o milho quanto maior a densidade do epicarpo menor a quantidade de espaço vazio e conseqüentemente menor a quantidade de água que o material pode reter. Para produção de energia é desejável uma maior densidade e, neste sentido, destaca-se como melhor biomassa o acesso 259 com 238 kg/m³, ficando o acesso 133 com a pior posição, apresentando densidade de 233 kg/m³.

4.8 - PODER CALORÍFICO SUPERIOR

Para todos os acessos estudados o poder calorífico superior variou de 2.238kcal/kg a 4.489kcal/kg, valor acima daquele encontrado por Vale et al. (2011) para material oriundo de plantio industrial do estado de Minas Gerais, que foi de 3.461kcal/kg. Esta diferença pode estar associada à idade ou à adubação.

Pela análise de variância, Tabela 4.6.3, observa que há diferença ao nível de 5% de probabilidade para poder calorífico superior entre os acessos estudados, no entanto o teste de média não foi sensível o suficiente para detectar esta diferença. Os resultados mostram uma ligeira superioridade do acesso 190 sobre os demais.

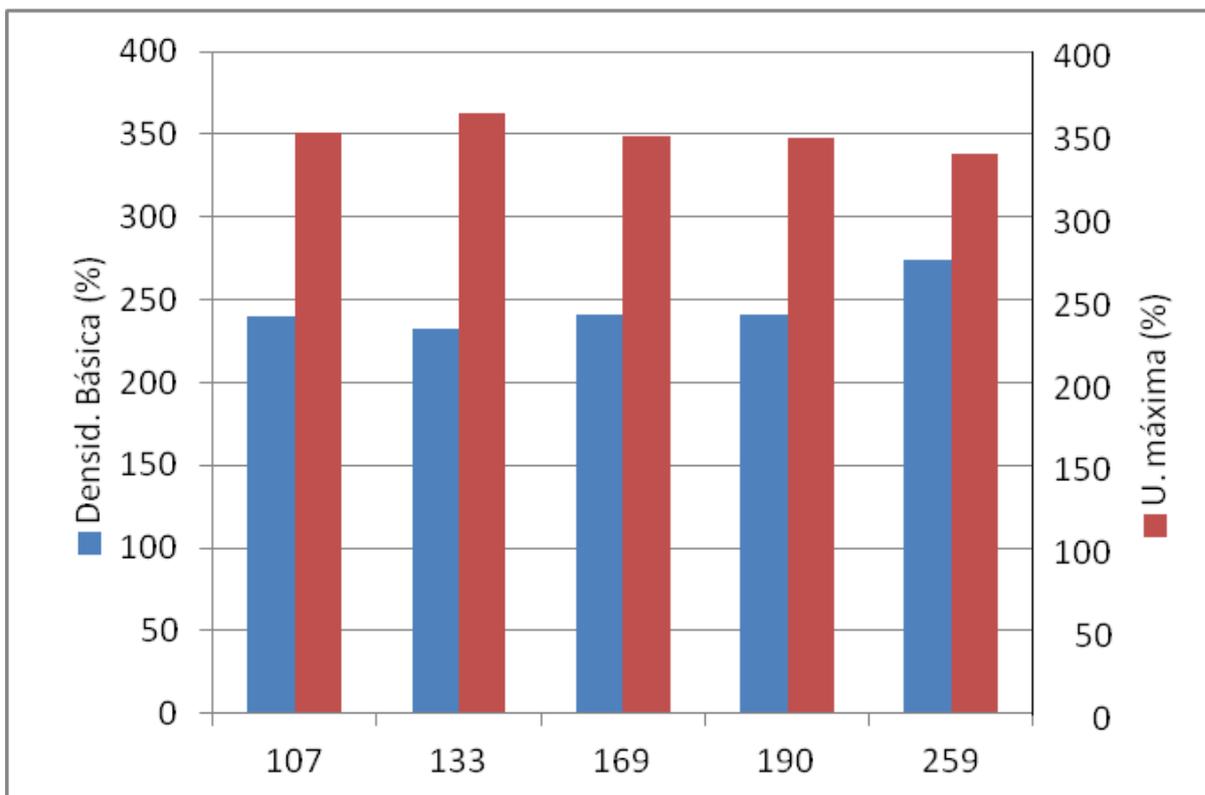


Figura 10 - Umidade máxima e densidade básica do epicarpo de pinhão manso.

4.9 - DENSIDADE ENERGÉTICA

A densidade energética variou de 996.360kcal/m^3 (acesso 133) a $1.085.430\text{kcal/m}^3$ (acesso 190), não tendo sido encontrado diferença significativa entre os acessos ao nível de 5% de probabilidade. Isso indica que, do ponto de vista estatístico, os acessos produzem epicarpo com iguais características quando se considera o uso para produção de energia. Como a densidade energética é obtida pelo produto entre a densidade básica e o poder calorífico superior, estes acessos estão produzindo epicarpo com densidades básicas e poderes caloríficos semelhantes, apesar da diferença detectada pelo teste de “F”, mas que não foi detectado pelo teste de Tuckey.

A densidade energética é uma variável importantíssima que associa a quantidade de calor produzida em relação à unidade volumétrica. Mas é bom atentar para o tipo de densidade do material e de volume que está sendo considerado. No presente trabalho a

densidade utilizada é a básica (massa seca a 0% de umidade dividida pelo volume saturado) e o volume é sólido. Desta forma o acesso 190 produz 1.085.430kcal por m³ sólido saturado.

4.10 - ANÁLISE IMEDIATA

Na Tabela 7 e a Figura 11 estão os valores de material volátil, cinzas e carbono fixo do epicarpo de pinhão manso.

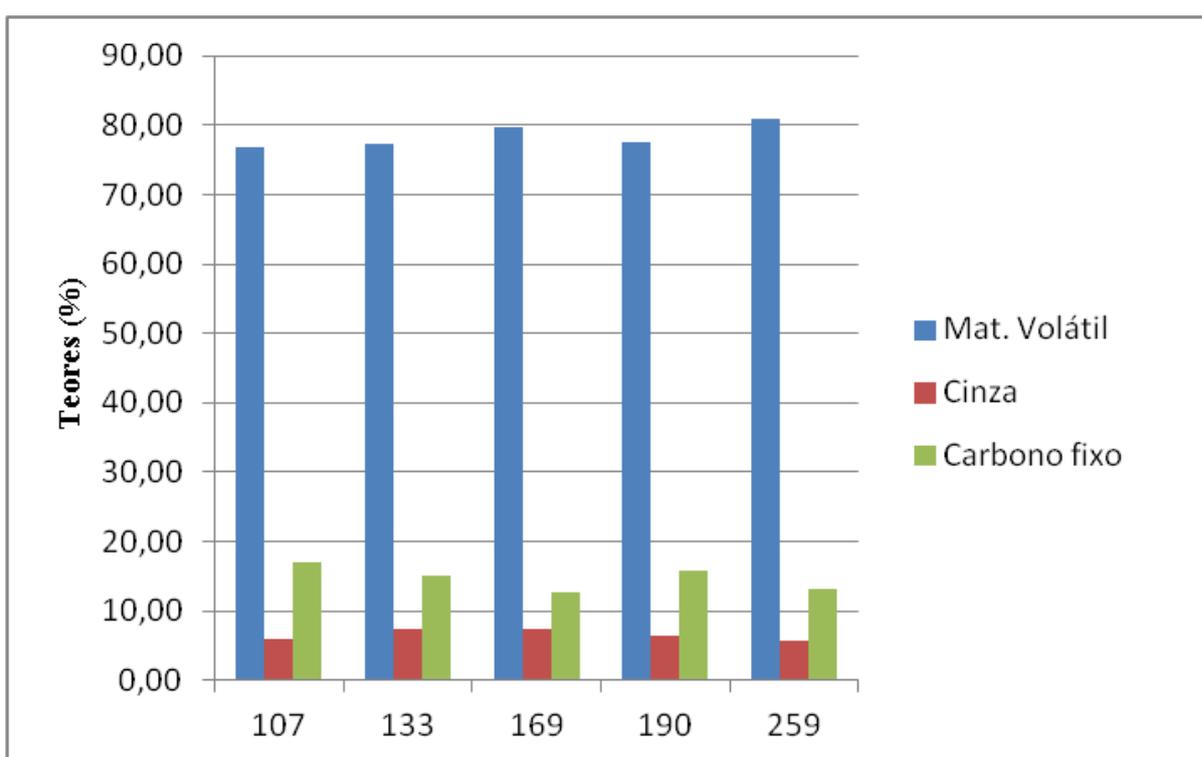


Figura 11 - Valores médios de material volátil, cinzas e carbono fixo de epicarpo de pinhão manso.

A análise de variância (Tabela 8) mostra que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as médias de cinza e de carbono fixo. Neste caso foi feito o teste de média pelo método de Tuckey, conforme a Tabela 10. O acesso 107 destaca-se tanto pelo baixo teor de cinzas quanto pelo maior valor de carbono fixo, diferindo dos acessos 259 e 169 e apresentando igualdade quanto aos acessos 190 e 133.

Tabela 10 – Teste de média pelo método de Tuckey para o teor de cinzas e de carbono fixo do epicarpo do pinhão manso.

Cinzas (%)		Carbono fixo (g/cm ³)	
Tratamentos	Média	Tratamentos	Média
169	7,49 A	107	17,07 A
133	7,44 A	190	15,89 A
190	6,46 AB	133	15,21 A
107	6,03 B	259	13,66 AB
B259	5,81 B	169	12,63 B

Combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando maior tempo de resistência nos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo (BRITO & BARRICHELLO, 1982).

Trabalhando com epicarpo de pinhão manso Vyans e Singh (2007) encontraram teores de 71,04% de material volátil, 3,97% de cinza e 24,99% de carbono fixo, por outro lado Vale et al. (2010) encontraram teor de material volátil igual a 72,6%, 14,4% de cinzas e 13% de carbono fixo.

Silva et al. (2011) encontraram valores de teores de cinza para: sementes, albúmen e casca do pinhão manso iguais a 7,36, 6,73 e 8,60%, respectivamente. Os mesmos autores encontraram teores de material volátil iguais a 78,98%, 88,00%, 62,20%, para semente, albúmen e casca, respectivamente e para teores de carbono fixo de semente, 23,66%; albúmen, 5,27% e casca, 30,20%.

Trabalhando com resíduos de pinhão manso, Chagas et al. (2009) registrou teores de cinza igual a 8,74% para a torta, 3,70% para semente e 3,61% para albúmen. Amorim et al. (2011) trabalhando com torta de pinhão manso encontraram teor de material volátil de 77,84, teor de cinza de 7,95 e de carbono fixo de 14,21%.

5. - DISCUSSÃO FINAL.

Atualmente todo o resíduo proveniente da cultura do milho, com exceção daquele resultante da indústria do milho verde em conserva, é deixado no campo para a ciclagem de nutrientes e as colheitadeiras são projetadas para a colheita apenas do grão; indicando com isto a viabilidade técnica dos resíduos para este fim. No entanto não se pode deixar de considerar o fato da necessidade cada vez maior de utilização de combustíveis de origem sustentada em substituição ao fóssil; diminuindo assim a emissão de gases do efeito estufa, melhorando por sua vez, a qualidade de vida das pessoas envolvidas no processo produtivo e também diminuindo a dependência de combustíveis poluidores, agregando valor a um resíduo cuja utilização atual é somente ciclagem de nutrientes.

Neste quadro atual de utilização e de possíveis usos futuros dos resíduos da cultura do milho tornam-se indispensáveis estudos que mostrem o potencial energético desta biomassa. Ainda mais considerando a indústria do milho verde em conserva, que apesar de ocorrer em menor escala, produz resíduos na forma de sabugo e palha de espiga que não são utilizadas na ciclagem de nutrientes.

Os resultados mostram que os quatro tipos de resíduos da cultura do milho podem ser utilizados na geração de energia. Mas dentre eles, há uma superioridade do caule e da folha, na produção de biomassa e na fixação de carbono, produzindo juntos em torno de 70% da biomassa total. No entanto quando se analisa o potencial energético por unidade de volume a palha da espiga se destaca com mais que o dobro da densidade energética do caule e da folha. Isto ocorre em função de uma elevada densidade básica sólida da palha da espiga que chega ser o dobro da densidade do caule. Desta forma mesmo tendo um teor de cinzas maior que o caule e o sabugo a palha da espiga produz mais energia por unidade volumétrica.

Comparada a cultura do pinhão manso, os resíduos da cultura do milho podem superar em 10 vezes a produção de epicarpo, no entanto a produção de energia por unidade de volume é muito semelhante aquela apresentada pelos resíduos do milho e estão na casa de 1000.000kcal/m³.

A importância do estudo dos resíduos da cultura do pinhão manso, além da necessidade de substituição dos combustíveis fósseis, como foi discutido anteriormente, está

no fato de que a viabilidade econômica da produção de bio-óleo a partir desta oleaginosa depende da agregação de valor aos resíduos gerados, epicarpo, casca da amêndoa, torta e glicerina.

E esta agregação de valor passa obrigatoriamente pelo estudo das características destes resíduos. O presente estudo focou o epicarpo do pinhão manso e mostra uma semelhança entre as características estudadas dos cinco acessos considerados. Mas pela análise pode-se observar uma superioridade do acesso 190 com maior produção de energia por unidade volumétrica, maior poder calorífico e um dos menores teores de cinzas.

6. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que os resíduos da cultura do milho e o epicarpo do pinhão manso podem ser utilizados na geração de energia. O caule e a folha destacam-se dentre os resíduos da cultura do milho quanto a produção de biomassa e estoque de carbono, juntos produzem em torno de 70% da biomassa total. Por outro lado a palha da espiga, mesmo tendo um teor de cinzas maior que o caule e o sabugo; se destaca no potencial energético produzindo o dobro da densidade energética do caule e da folha. Os cinco acessos estudados mostram-se semelhantes para todas as variáveis analisadas; com ligeira superioridade do acesso 190 com maior produção de energia por unidade volumétrica, maior poder calorífico e um dos menores teores de cinzas.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G. Efeito da forma e do tamanho da semente no desempenho no campo de dois genótipos de milho londrina. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 1, p. 62-65, 1995.

ANEEL. A produção de energia elétrica a partir da biomassa. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2013.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO. N. E. M.; ANDRADE. A. P.; PEREIRA. W. E.; SEVERINO. L. S. et. al. Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semiárido Nordeste. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

AVELAR, R. C. et al. Produção de Mudas de Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) em Tubetes. I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel: artigos técnicocientífico.

Brasília, 31 de agosto e 1 de setembro de 2006. BIODIESELBR, 2006. Disponível em: <<http://www.pinhaomanso.com.br/tudo-sobre-pinhao-mansojatropha-curcas.html>>. Acesso em: 07 ago. 2006.

BERTRAND, C.; YPERSELE, J. V.; BERGER, A. Are Natural Climate Forcings Able to Counteract the Projected Anthropogenic Global Warming? *Climatic Change*, v. 55, n. 4, p.413-427, 2002. Disponível em: <http://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/BertrandEtAlfulltext.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2013.

BONAMIGO, L.A. (1995). Nova Opção de cobertura e rotação em : Plantio Direto Edição especial

BIANCHI, M. L. Polpação de palha de milho utilizando-se diferentes processos. 1995. 93p. Dissertação (Mestrado em química). Instituto de Química, Unicamp, Campinas, 1995.

BIODIESELBR. *Jatropha curcas*: Uma planta de futuro. Disponível em: <<http://www.pinhaomanso.com.br/tudo-sobre-pinhao-mansojatropha-curcas.html>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

BORGHI, M.; CRUSCIOL, C. C. A. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.42, n.2, p.163-171, fev. 2004

BRASIL. IBGE. Sidra. Produção de milho. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 dez. 2012

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO - MAPA: Quinto levantamento da safra de grãos 2003/04. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/ESTATISTICAS/AGRICULTURA_MUNDIAL/10.5.C.XLS>. Acesso em: 09 fev. 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Combustão e gaseificação de biomassa sólida. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 88-105. Disponível em: <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Biomassa.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2013.

BRITO O. J.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. *IPEF*, Piracicaba, v. 14, p. 9-20, jul. 1977. Disponível em:

CARNIELLI, F. O combustível do futuro. Disponível em: www.ufmg.br/boletim/bul1413. 2003.

CHAGAS P. M. A.; SILVA. M. D. P.; MENDONÇA K. K. M.; KIANE S. R.; MARCIEL A. SILVA. F. C. Caracterização físico-química da semente e óleo de pinhão manso (*Jatropha*

curcas) cultivado no Maranhão. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Anais... Brasília, MCT/ABIPTI.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: Biomassa para energia. Congresso. Campinas: UNICAMP, 2008. Disponível em: <<http://issuu.com/editoraunicamp/docs/1254>>. Acesso em: 05 fev. 2012.

CRUZ, J. C. F.; ARNS, S. E. Biodiesel: uma proposta econômica, social e ambientalmente correta. Palestra proferida na UEM, Maringá-Pr. 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/5/292.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

CUNHA, M. P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA N, Z. B.; BARBOSA, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais..., v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DEMIRBAS, A. PHYSICAL Properties of brinquettes from waste paper and wheat strow mistures ENRGY CONVENCION & MANAGEMENT, Oxford GB, v.40 n,4, p.437,1999.

FERREIRA, D.F. SISVAR: sistema de análise de variância. Versão 4.2. Lavras: Ufla/DEX, 1999. 1 CD-ROM Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.2, p.163-171, fev. 2005

FRANCELLI & DOURADO NETO. Produção de silagens de milho (zeas mays) com diferentes adubações. Nucleus, Ituverava, v.7, n.2, p. 155-160, 2010. Disponível em: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=revista+nucleous&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nucleus.feituverava.com.br%2Findex.php%2Fnucleus&ei=rUwWUenxOo2e8gTajoHgBg&usg=AFQjCNEB_RKVZybhQO-p9NZttFvBpnGp-w>. Acesso em: 09 fev. 2013.

HOLTZ, G.P. Dinâmica da decomposição da palhada e da distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí. 1995. 129p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

JENKINS B. M.; BAXTER, L. L.; MILES J. T. R.; MILES, T. R. Combustion Properties of Biomass. Fuel Processing Technology. Elsevier, v. 54, p. 17-46, 1998.

KOOPMANS, A.; KOPPEJAN, J. Agricultural and forest residues: generation, utilization and availability. In: Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy. FAO: Kuala Lumpur - Malasia, 1997. 23p. Disponível em: <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/RWEDP/acrobat/p_residues.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2013.

MARTINI, P. R. R. Conversão Pírolítica de Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos. 2009. Dissertação (Mestrado em química) PPGQ, UFSM, Santa Maria, 2009.

McKENDRY, P. Energy Production from Biomass: Part 2: Conversion Technologies. Bioresource Technology, n. 83, p.47-54, 2002. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/11315090_Energy_production_from_biomass_\(Part_2\)_Conversion_technologies](http://www.researchgate.net/publication/11315090_Energy_production_from_biomass_(Part_2)_Conversion_technologies)>. Acesso em: 08 fev. 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Análise de produtividade agrícola brasileiro. Disponível em: <<https://www.agricultura.gov.br/portal/Page?-pageid=33969696-dad=portal&schema=PORTAL>>. Acesso em: 03 jul. 2010.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização da biomassa vegetal. In: BARRETO, E. J. F. (Coord.). Combustão e gaseificação da biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-53.

Peart, B., Walton, D. S., & Dolder, K. T. 1981, J. Phys. B, 2, p 1347 [First citation in article](#) | [IOPscience](#) | ADS

PEIXO, A. R. Plantas oleaginosas. São Paulo. Nobel 1973 P 284

PRETO, E. V.; MORTOZA, G. L. Geração de energia elétrica utilizando biomassa. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica)- Universidade de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10483/1381>>. Acesso em: 09 fev. 2013.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D. Relação entre o poder calorífico superior e os Componentes elementares da biomassa. Colombo-Pr: Pesq. flor. bras., v 3, n. 66, p. 113-122, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; NOGUEIRA, I. C. A.; TRUGILHO, P. F. OLIVEIRA SILVA, V. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustível sólido. Colombo-Pr: Pesq. flor. bras., vol 31, n. 68, p.273-283, 2011. <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/200/211>>. Acesso em: 09, fev. 2013.

PURCINO, A.A.C.; DRUMMOND, O. A. QUIRINO, W. F. Pinhão manso. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986, 7p. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. Revista da Madeira, São Paulo, n. 89, p. 100-106, 2005. Disponível em: <<http://funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2013.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais.

Brasília: LPF/IBAMA, 2003. 14 p.

RAMOS e PAULA, L. R., TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. Cerne, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011. Disponível em: <<http://www.dcf.ufla.br/cerne/administracao/publicacoes/m560v17n2o12.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M (Ed.). Combustão e gaseificação de biomassa sólida: Soluções energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. cap. 7, p. 88-105.

RAVEENDRAN, K.; GANESH, A.; KHILAR, K. C. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. Fuel, Amsterdam, v. 74, p. 12-22, 1995.

SALAZAR, R. F. S.; SILVA G. L. P.; SILVA M. L. C. P. Estudo da composição da palha de milho para posterior utilização como suporte na preparação de compósitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2005, Campinas. Anais... Campinas: Unicamp, 2005. CD-ROM.

SANTOS, J. W.; GHEYI, H. R. Estatística experimental aplicada. Campina Grande: Editora Gráfica Marcone, 2006. 213 p

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SCOPEL, R. H.; FOLETO, E. L.; HOFFMANN, R.; PORTUGAL, U. L. J. J. Aplicabilidade das cinzas da casca do arroz Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900 Santa Maria - RS Recebido em 19/10/04; aceito em 29/3/05; publicado na web em 10/8/05

SILVA, A. M.; BENTES, M. A.; MEDRADO, S. B. Estudo da utilização da biomassa em substituição parcial ao carvão mineral na fabricação do coque na coqueira da CSN. Revista Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v. 5, n. 1, 2011, p.40-45.

SOUSA, G. S.; SANTOS, E. C. S.; MORAIS, M. R.; SEYE, O et. al. Viabilidade econômica do biodiesel e impacto do seu uso no preço da tarifa de ônibus na cidade de Itabuna, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45, 2006, Fortaleza. Anais p131-133. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/5/811.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

TOGNOTTI, LEONARDO) "> LEONARDO, ANDREA MALOTTI, LUIGI PETARCA & SEVERINO ZANELLI. Medição de temperatura de ignição de partículas de carvão usando uma técnica Termogravimétrica. Artigo p.15-28. Versão do primeiro registro publicado: 21 de maio de 2007

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Cerne, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

VALE, A. MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas*). Cerne, Lavras, v. 17, n.2, p. 267-273, 2011.

VERDE, J.V. Perspectiva de produção mundial de milho e soja. A granja, Porto Alegre, v. 5, p.48 a 52, 2010.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Boletim Técnico,n.2, 1984. 21p.

VITAL, B. R. Métodos para determinação do teor de umidade da madeira. Viçosa, MG: SIF, 1997. 33 p. (Boletim técnico SIF, 13).