

POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*)

VALE, Ailton Teixeira do^{**}; DANTAS, Vandui Francisco de Siqueira^{***}; ZAMBRZYCKI, Geraldo Cesar^{*****}

Resumo

Em razão de o Brasil ser um grande produtor de grãos, os resíduos agrícolas destacam-se como biomassa para a produção de energia. O presente trabalho teve como objetivo analisar o potencial energético dos resíduos da cultura do milho. Do cultivo realizado, foram coletados o sabugo, a palha, as folhas e o caule produzidos em Brasília, DF na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília. Foram determinadas a densidade básica, a densidade energética, o poder calorífico, os teores de material volátil, cinzas e carbono fixo, a massa seca por hectare e o estoque de carbono. Os resultados mostraram que os quatro tipos de resíduos da cultura do milho podem ser utilizados na geração de energia. Mas, entre 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. Ao se analisar 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. Dessa forma, mesmo tendo um teor de cinzas maior que o caule e o sabugo, a palha da espiga produz mais energia por unidade volumétrica.

Palavras-chave: Energia de biomassa. Resíduos. Caracterização.

^{*} Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa; Professor da Universidade de Brasília; Campus Universitário Darcy Ribeiro, s/n, Asa Norte, 70910900, Brasília, DF; ailton.vale@gmail.com

^{**} Mestre em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília; vandui@unb.br

^{***} Mestre em Máquinas Agrícolas pela Universidade de São Paulo; alvinegro_2@hotmail.com

The energetic potential of maize culture waste

Abstract

Once Brazil is a great crop producer, agricultural waste plays a major role among the available kinds of biomass. Considering this, the aim of this study was to analyze the energetic potential of maize culture waste. For this purpose, corncob, husk, leaves, and stalk samples were collected from plants grown in Brasília, DF (Brazil) at the University of Brasilia Experimental Farm (Fazenda Água Limpa (FAL)). Analyses were carried out to determine amounts of basic density, energetic density, heating power, volatile matter percentage, ashes and fixed carbon; the amount of dry mass per hectare and carbon stock. 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.

Keywords: Biomass energy. Waste. Characterization.

1 INTRODUÇÃO

A planta do milho é considerada uma das mais eficientes na conversão de energia radiante e, conseqüentemente, na produção de biomassa. Uma semente de massa 260 mg produz, em um período próximo a 140 dias, de 0,8 a 1,2 kg de biomassa (ANDRADE, 1995). Para o autor, apesar de elevados potenciais produtivos, os resíduos não são utilizados em grande escala para a geração de energia, mas é muito importante 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). Na colheita do milho maduro, as folhas e os colmos, que, via de regra, são deixados no solo para a ciclagem de nutrientes, são conhecidos como palhada. Um estudo realizado por Koopmans e Koppejan (1997) indica que a geração de resíduo na cultura do milho é da ordem de 2,3 t t⁻¹ de grãos colhidos, com 15% de teor de umidade.

Uma alternativa para a utilização dos resíduos, em geral e em particular, a palhada do milho, é a geração de energia, e a quantidade de energia produzida por estes resíduos é diretamente influenciada por suas qualidades; dessa forma, a caracterização energética é um passo importante na sua utilização.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo analisar o potencial e determinar a produção de biomassa seca proveniente dos resíduos da cultura do milho: sabugo, folha, palha e caule.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos do milho (*Zea mays* L.) foram coletados na Fazenda Água Limpa (FAL), em uma área de 19 hectares plantados com o híbrido AG 1051 no final de novembro de 2011. Este híbrido foi desenvolvido com a finalidade de produzir grãos e biomassa para a silagem. Utilizou-se a modalidade de semeadura direta nesta área, no trato cultural com a aplicação de herbicida glifosato, e a adubação foi realizada com 350 kg ha⁻¹ da formulação (4-30-16). Na semeadura, a semeadora foi regulada para depositar sete grãos por metro linear.

Cada amostra, composta por 20 indivíduos, foi coletada em 15 posições diferentes (repetições), escolhidas ao acaso, a partir de um deslocamento em zigue-zague e cortado com um facão a 4 cm do solo, formando 15 feixes. Cada feixe foi identificado, amarrado, colocado em sacos de *nylon* e transportado para o laboratório, onde foi feita a separação da palhada do milho, em caule, sabugo, folha e palha, os quais foram pesados separadamente, obtendo a massa da biomassa úmida no momento da colheita, foram colocados em área aberta para a secagem e, em seguida, armazenados novamente em sacos de *nylon*.

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 da marca TRAPP-TRF 80, para reduzir a granulometria e facilitar a moagem posterior. Em seguida, todos os resíduos foram colocados em estufa a uma temperatura de 103±2°C para o sabugo e o caule, e 83±2° C para palha e folha durante três dias para reduzir o teor de umidade e, assim, melhorar as condições dos materiais para a moagem em moinho de facas tipo Willey. Após a moagem, os resíduos passaram por um classificador de peneiras, utilizando malhas de 40 a 60 mesh. O pó classificado entre 40 e 60 mesh foi utilizado para a realização de análise imediata e o pó classificado abaixo de 60 mesh foi utilizado para a determinação do poder calorífico.

Uma amostra de 50 g de cada repetição do resíduo do milho (caule, folha, sabugo e palha) foi colocada em sacos plásticos com água, para a saturação completa, o que ocorreu em aproximadamente 10 dias. Em seguida, cada amostra, depois de eliminado o excesso de água com o auxílio de papel toalha, foi colocada em bandeja de alumínio e pesada, obtendo a massa saturada. Posteriormente, as amostras de folha e palha foram colocadas em estufa a 85° C e as de caule e o sabugo de milho foram colocados em estufa a ± 103±2° C até obterem massa constante e serem novamente pesados, obtendo a massa seca a 0% de umidade. Utilizou-se de metodologia à madeira para a determinação da umidade máxima, segundo Vital (1997) e densidade básica pelo método do máximo teor de umidade, segundo Vital (1984).

Para a obtenção do poder calorífico superior, foram utilizadas amostras secas a 0% de umidade e se baseou na norma ABTN-NBR 8633/1984 e no manual de instrução do calorímetro Ika C2000.

As amostras classificadas em peneiras entre 40 e 60 mesh foram secadas em estufa a 103±2° C até chegar à massa constante e ela ser utilizada para a determinação dos teores de material volátil, cinza e carbono fixo segundo a norma NBR 8112/1986.

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.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Tabela 1 – Valores médios para a 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

CARACTERÍSTICAS	RESÍDUO DO MILHO			
	CAULE	FOLHA	SABUGO	PALHA
Ms (kg ha ⁻¹)	4.553	3.300	1.447	1522
Ec (kg ha ⁻¹)	1.949	1.412	619	625
Umáx (%)	631	546	405	279
Db (kg m ⁻³)	150	200	220	312
PCS (kJ kg ⁻¹)	18.174	18.245	18.709	19.090
De (kcal m ⁻³)	652.200	873.000	984.720	1.423.97
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

Fonte: os autores.

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. Dessa 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.

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.

Fonte: os autores.

3.1 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 a 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, nesse caso, com melhores possibilidades de serem utilizados para a geração de energia. Seja em um caso seja em 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 a folha têm destaque na produção de resíduo, com 7,85 toneladas ha^{-1} . 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^{-1} para 5,0 toneladas ha^{-1} , portanto, uma perda de massa de 4,8 t ha^{-1} , em razão da perda de água.

Freitas et al. (2005), em um trabalho com milho forrageiro consorciado com a *Brachiaria brizantha* para a silagem em um sistema de plantio convencional, obteve produção média de matéria verde de 41,58 t ha^{-1} e, com a palhada seca, de 12,61 t ha^{-1} . Borghie e Crusciol (2004 apud FREITAS, et al., 2005) encontraram, para o plantio com espaçamento entre fileiras de 0,50 m, produção de palhada seca coletada em torno de 123 dias de 8,14 t ha^{-1} , e para espaçamento entre fileiras de 0,8m, 9,33 t ha^{-1} , coletada na mesma época.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003) informa que na safra de 2003/2004 a produção de palhada do milho foi, em média, de 10 t ha^{-1} de matéria seca. Cruz e Arns (2004) obtiveram produção de biomassa (palhada) do milho com produtividade média de 13,45 t ha^{-1} . Os autores afirmam ainda que, com espaçamento de 0,40 m entre fileiras com 50.000 plantas ha^{-1} , obtiveram uma produção de 14,046 t ha^{-1} , e com um espaçamento de 0,80 m entre fileiras com 50.000 plantas ha^{-1} obtiveram 13,486 t ha^{-1} de matéria seca.

A biomassa residual proveniente da cultura do milho fica, na sua maior parte, no campo para a ciclagem de nutrientes, mas poderia ser utilizada para a 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 (1995), o teor de carbono da palhada do milho apresenta tendência de aumento em decorrência da época da amostragem, com variação entre a primeira e a sexta amostragem no 103º dia, respectivamente de 39,5% a 45,0%, com média de 42,8%. Considerando esse valor como referência, o estoque de carbono total encontrado no presente trabalho foi da ordem de 4,51 t ha^{-1} ; 3,28 t ha^{-1} de carbono são fixados na forma de caule e folhas, ou seja, mais de 70%.

Conforme pode ser observado pela Tabela 2, houve diferença de 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 toneladas; 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.

Fonte: os autores.

3.2 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, conseqüentemente, menor a quantidade de água que o material pode reter. Nesse sentido, o caule destaca-se com umidade máxima de 631%, em base seca, em razão de uma menor densidade básica da ordem de 150 kg m⁻³. Em contrapartida, a palha do sabugo apresenta uma umidade máxima de 279%, em base seca, e uma densidade básica de 312 kg m⁻³.

Pelos valores de “F” da Tabela 2, observa-se diferença ao nível de 5% de probabilidade entre as médias dos tratamentos para a umidade máxima e a 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 a 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 o uso final, tornando um material com umidade muito elevada, passível do ataque de fungos no processo de armazenamento para a 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.

Fonte: os autores.

Segundo Earl (1975 apud 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, em razão do processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão. Isso pode ser considerado para os resíduos estudados.

O conteúdo de umidade máxima que uma madeira e a biomassa em geral, podem ter, para serem queimadas está em torno de 65 a 70% em base úmida. Dessa forma, material muito úmido, com teor de umidade acima desse limite, necessita calorias de origem externa para secar e entrar em combustão (INCE, 1980 apud CUNHA et al., 1989).

3.3 PODER CALORÍFICO SUPERIOR E DENSIDADE ENERGÉTICA

Os resultados da Tabela 1 mostram valores para poderes caloríficos de 4.348 kcal kg⁻¹ para o caule, 4.300 kcal kg⁻¹ para a folha, 4.476 kcal kg⁻¹ para o sabugo e 4.564 kcal kg⁻¹ para a palha. Estes são próximos daqueles encontrados por Salazar, Silva e Silva (2005), que registraram os seguintes poderes caloríficos superiores para resíduos do milho: caule, 4.211 kcal kg⁻¹; folha, 4.464 kcal kg⁻¹; sabugo, 4.615 kcal kg⁻¹ e palha, 4.443 kcal kg⁻¹.

Trabalhando com palhada de milho, Protásio et al. (2011) encontraram um poder calorífico superior de 4.515 kcal kg⁻¹ e Koopmans e Koppejan (1997) registraram um poder calorífico superior médio entre palha, folha, caule e sabugo, de 4.227 kcal kg⁻¹.

Cortez, Lora e Ayarza (2008) encontraram 4.490 kcal kg⁻¹ para o sabugo de milho, enquanto que Silva, Bentes e Medrado (2011) encontraram 4.390 kcal kg⁻¹ e Raveendran, Ganesh e Khilar (1995) encontraram 3.744 kcal kg⁻¹.

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 m⁻³; para a folha, 873,0 Mcal m⁻³; para o sabugo, 984, 7 Mcal m⁻³ e para a palha, 1.423,9 Mcal m⁻³. Salazar, Silva e Silva (2005), utilizando sabugo de milho com umidade de 17,1%, base úmida, entre outras biomassas, para a secagem de produtos agrícolas via gaseificação, encontraram para essa biomassa uma densidade energética de 568,59 Mcal m⁻³, valor inferior ao deste trabalho, provavelmente em decorrência do maior teor de umidade, pois Protásio et al. (2011), trabalhando com compactação de biomassa vegetal, constataram para o sabugo seco 0% de umidade e, utilizando a densidade a granel, uma densidade energética de 1.000 Mcal m⁻³.

Conforme mostrado na Tabela 2, 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 ⁻³)			Densidade energética (kcal kg ⁻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.

Fonte: os autores.

3.4 ANÁLISE IMEDIATA

Segundo Nogueira e Rendeiro (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. Nesse sentido, quanto ao teor de cinzas, entre 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 à folha a qual apresenta 5,49% de cinzas (Tabela 6) e diferença ao nível de 5% de probabilidade. Sequência semelhante foi encontrada por Ramos de Paula et al. (2011), ou seja, maior valor de teor de cinza para a folha (3,52%) seguido de caule (3,43%), palha (1,58%) e sabugo (1,16%). Valores semelhantes para teores de cinzas da palha foram encontrados por Salazar, Silva e Silva (2005) (1,52%) e valores semelhantes para teor de cinza de sabugo foram encontrados por Peart, Walton e Dolder (1981), que registraram teor de 1,64%. O teor médio de cinza para a palhada de 3,53% foi inferior ao teor de 6,68% encontrado por Ramos de Paula et al. (2011).

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. Esses valores são diferentes da sequência e dos valores encontrados por Ramos de Paula et al. (2011): caule (20,47%), folha (18,43%), palha (17,05%) e sabugo (18,32%). Raveendran, Ganesh e Khilar (1995) registraram 11,8% de carbono fixo para o sabugo, valor próximo ao encontrado neste trabalho, enquanto Jenkins et al. (1998) encontraram 18,54% e Peart, Walton e Dolder (1981) registraram 18,4% de carbono fixo para a palha.

Os teores de material volátil encontrados foram 85,9% para a 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 de Paula et al. (2011): palha, 81,68%; sabugo, 81,31%; folha, 78,30% e caule, 76,82%. Para teores de material volátil no sabugo, Raveendran, Ganesh e Khilar (1995) registraram 85,4%, Jenkins et al. (1998) 81,1%, Peart, Walton e Dolder (1981) 80% e Ramos de Paula et al. (2011) 81,31%.

As eventuais diferenças nos valores encontrados podem estar relacionadas aos diferentes cultivares, que até 2008 eram mais de 240. O Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2003) apontam outros fatores que devem ser considerados, como a idade da sementeira, a modalidade de sementeira e a aptidão do cultivar (forrageiro ou granífero). Isso tudo pode contribuir para possíveis discrepâncias na análise imediata no resíduo do 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 (%)		
Tratamentos	Média		Tratamentos	Média		Tratamentos	Média	
Palha	85,91	A	Folha	5,49	A	Caule	13,93	A
Sabugo	84,68	A	Caule	2,08	B	Sabugo	13,67	A
Caule	83,99	B	Palha	1,91	B	Folha	11,47	BC
Folha	83,09	C	Sabugo	1,65	B	Palha	12,19	C

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

Fonte: os autores.

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 a viabilidade técnica dos resíduos para esse 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 a qualidade de vida das pessoas envolvidas no processo produtivo e diminuindo a dependência de combustíveis poluidores, agregando valor a um resíduo cuja utilização atual é somente ciclagem de nutrientes.

Nesse quadro atual de utilização e de possíveis usos futuros dos resíduos da cultura do milho, tornam-se indispensáveis estudos que mostrem o potencial energético dessa 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 utilizados 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, entre 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 mais que o dobro da densidade energética do caule e da folha. Isso ocorre em razão de uma elevada densidade básica sólida da palha da espiga que chega a ser o dobro da densidade do caule. Dessa forma, mesmo tendo um teor de cinzas maior que o caule e o sabugo, a palha da espiga produz mais energia por unidade volumétrica.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho trouxe resultados que mostram que o resíduo da cultura do milho tem potencial para a utilização na geração de energia. O caule e a folha destacam-se entre os resíduos da cultura do milho quanto à produção de biomassa e estoque de carbono, produzindo juntos, em torno de 70% da biomassa total.

Em relação à palha de milho, mesmo tendo um teor de cinzas maior que o caule e o sabugo, destaca-se no potencial energético produzindo o dobro da densidade energética do caule e da folha.

REFERÊNCIAS

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112 – Análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. NBR 8633 – Poder calorífico. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Análise de produtividade agrícola brasileira**. 2003. Disponível em: <<https://www.agricultura.gov.br/portal/Page?-pageid=33969696-dad=portal&schema=PORTAL>>. Acesso em: 03 jul. 2010.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: _____. **Biomassa para energia**. Campinas: Ed. 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. Maringá, 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/5/292.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1989.

FREITAS, F. C. L. et al. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 49-58, 2005.

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. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

JENKINS, B. M. et al. 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, Malasia: FAO: Kuala Lumpur, 1997. 23 p. Disponível em: <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/RWEDP/acrobat/p_residues.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2013.

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.

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, DF: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PEART, J. B. et al. First citation in article. **IOPscience**, n. 2, p. 1347, 1981.

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

PROTÁSIO, T. P. et al. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustível sólido. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 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.

RAMOS DE PAULA, L. R. et al. 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.

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: Ed. Unicamp, 2005.

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, p.40-45, 2011.

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

_____. Métodos para determinação do teor de umidade da madeira. **Boletim Técnico**, Viçosa, n. 13, 1997.

Recebido em 11 de novembro de 2013
Aceito em 25 de fevereiro de 2014

