

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RODRIGO AMBROSIO

**POTENCIAL BIOENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO MILHO E
EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES CONSIDERANDO ESPAÇAMENTO ENTRE
LINHAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA**

CURITIBA

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

RODRIGO AMBROSIO

**POTENCIAL BIOENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO MILHO E
EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES CONSIDERANDO ESPAÇAMENTO ENTRE
LINHAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientador: Dr. Gabriel Barth

CURITIBA

2013



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA DO SOLO

PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **ROBRIGO AMBROSIO**, intitulada “Potencial bioenergético da biomassa residual do milho e exportação de nutrientes considerando espaçamento entre linhas e adubação nitrogenada”, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela “**APROVAÇÃO**” da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 25 de fevereiro de 2013.

Prof. Dr. Volnei Pauletti, Presidente.

Engº. Agrº. Dr. Gabriel Barth, Iº. Examinador.

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, IIº. Examinador

Aos meus pais, Alceu José Ambrosio e Kelli Cristine Segatto Ambrosio, minha irmã Daniela Ambrosio, e minha namorada Luciane Leopoldino Cordeiro, maiores incentivadores da minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por mais este motivo de felicidade.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Volnei Pauletti e ao meu co-orientador Dr. Gabriel Barth, pela amizade, orientação, ensinamentos, confiança, paciência e fundamental colaboração para o término desta dissertação.

À Fundação ABC pela colaboração para realização deste mestrado.

Ao Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Programa com os quais tive o privilegio de aprender e poder desenvolver todo o andamento deste trabalho que muito contribuíram com o trabalho.

À todos os meus amigos, colegas e estagiários que direta ou indiretamente muito colaboraram para a realização deste trabalho, em especial aos da minha turma de Mestrado ano 2011.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Aldair, Elda e Roberto pela presteza e amizade.

Aos meus amigos e familiares, em especial meus pais, Alceu e Kelli, pelo suporte, força e incentivo.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para sua conclusão, Muito Obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1 Área de estudo e caracterização do experimento	5
2.2 Determinação da produtividade de grãos e de biomassa	6
2.3 Análise do teor de nutrientes e do poder calorífico	6
2.4 Análise estatística	7
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	8
3.1 Produtividade de grãos	8
3.2 Produção de biomassa seca (BS)	9
3.3 Relação entre as diferentes partes da planta	10
3.4 Índice de colheita (IC)	11
3.5 Teor de nutrientes	12
3.6 Conteúdo de nutrientes	16
3.7 Análise elementar carbono (C) e hidrogênio (H)	18
3.8 Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI)	20
3.9 Potencial bioenergético	22
4 CONCLUSÕES.....	25
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
6 LITERATURA CITADA	27
ANEXOS	35

POTENCIAL BIOENERGÉTICO DA BIOMASSA RESIDUAL DO MILHO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES CONSIDERANDO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA¹

Autor: Rodrigo Ambrosio

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-Orientador: Dr. Gabriel Barth

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da alteração da distribuição de plantas e da adubação nitrogenada no potencial de produção de energia e no conteúdo de nutrientes na biomassa do milho. Para isso instalou-se experimento em Itaberá - SP, com cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e dois espaçamentos entre linhas (0,4 e 0,8 m) na cultura do milho. Foram feitas avaliações da produção de grãos e biomassa residual, dos teores de nutrientes e potencial bioenergético das diferentes partes da planta do milho (colmo + folha, palha da espiga e sabugo). A variação do espaçamento entre linhas não altera a produtividade de grãos. Já a produtividade de colmo + folha e palha da espiga é maior no espaçamento 0,8 m entre linhas. A aplicação de N aumentou a produção de grãos e de biomassa do milho, e aumentou a participação dos grãos na biomassa total da planta. A aplicação de N influenciou de forma diferente o teor e o conteúdo para cada nutriente em cada parte da planta, e a ordem de maior conteúdo em cada parte da planta foi a seguinte: grãos > colmo + folha > sabugo > palha da espiga. A geração de bioenergia a partir do colmo + folha e palha da espiga é maior no espaçamento 0,8 m entre linhas. A aplicação de N influencia positivamente a geração de bioenergia, pelo aumento da produção de biomassa e do poder calorífico do colmo + folha e sabugo.

Palavras-chave: Bioenergia, *Zea Mays* (L.), nitrogênio, espaçamento entre linhas, macronutrientes.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (49 p.) Fevereiro, 2013.

BIOENERGY POTENTIAL FROM BIOMASS RESIDUAL CORN AND EXPORTS NUTRIENTS CONSIDERING ROW SPACING AND NITROGEN ²

Author: Rodrigo Ambrosio

Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-Advisor: Dr. Gabriel Barth

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the effect of changing the distribution of plants and nitrogen fertilization on the potential for energy production and nutrient content of corn biomass. For this experiment was installed in Itaberá - SP, with five N rates (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) and two row spacings (0.4 and 0.8 m) in corn. Evaluations were made of grain production and residual biomass, the concentration of nutrients and bioenergy potential of different parts of the maize plant (leaf + stalk, husks and cobs). The variation of line spacing does not change the yield. Already productivity stem + leaf and ear husks is higher in 0.8 m spacing between rows. Nitrogen application increased grain yield and biomass of corn and increased the share of grains in total plant biomass. Nitrogen differently influenced the content and content for each nutrient in each part of the plant, and higher order content in each part of the plant was as follows: grains > leaf + stalk > cob > husks. The generation of bioenergy from leaf + stalk and husks is higher in 0.8 m spacing between rows. Nitrogen positively influences the generation of bioenergy, by increasing production of biomass and calorific value of leaf + stalk and cob.

Key-Words: Bioenergy, *Zea Mays* (L.), nitrogen, interrow spacings, macronutrients.

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (49 p.) February, 2013.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Localização do Município de Itaberá no estado de São Paulo.	5
FIGURA 2 -	Produtividade de grãos de milho em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio.	9
FIGURA 3 -	Biomassa seca (BS) do colmo + folha (A), palha da espiga (B), sabugo (C) e total menos grãos (D) de milho, em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio.	10
FIGURA 4 -	Índice de colheita do milho (razão entre produção de grãos e biomassa aérea) em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio.	12
FIGURA 5 -	Teor de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) das diferentes partes da planta de milho (colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos), em função de doses de nitrogênio.	15
FIGURA 6 -	Análise elementar de carbono (A) e hidrogênio (B) do colmo + folha, palha da espiga e sabugo do milho em função de doses de nitrogênio.	18
FIGURA 7 -	Poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) do colmo + folha (A), palha da espiga (B) e sabugo (C) do milho em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio.	21
FIGURA 8 -	Produção bioenergética total do milho devido ao aumento do PCS e da produtividade de BS em função de doses de nitrogênio.	22
FIGURA 9 -	Potencial de geração de bioenergia a partir do colmo + folha (A), palha da espiga (B), sabugo (C) e total (D) do milho em função de doses de nitrogênio.	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Participação das partes colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos (%) na biomassa seca total das plantas de milho, em função de doses de nitrogênio.	11
TABELA 2 - Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas partes da planta de milho (colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos), em razão de doses de nitrogênio.	17
TABELA 3 - Análise elementar de carbono (C) e hidrogênio (H) das diferentes partes da biomassa residual de colheita do milho (colmo + folha, palha da espiga e sabugo), em razão de doses de nitrogênio.	20

INTRODUÇÃO

A demanda energética é crescente no mundo, estima-se que será necessário aumentar em 53% a produção de energia de 2008 a 2035 (EIA, 2012). A demanda é impulsionada principalmente por três fatores: crescimento populacional que no mesmo período aumentará de 6,7 para 8,6 bilhões de habitantes (WPP, 2012); intenso desenvolvimento industrial; e rápida urbanização (IBGE, 2012). Com o aumento da demanda e a dependência por combustíveis fósseis não renováveis, como os derivados do petróleo, alternativas energéticas como a energia solar, eólica e a proveniente da biomassa podem se tornar mais atrativas do ponto de vista ambiental e econômico (Sachs, 2005).

Segundo apontou o Balanço Energético Nacional (MME, 2012), no ano de 2010, a participação de energia renovável na matriz elétrica nacional foi de 86%. No entanto, apesar do valor ser significativamente maior que no restante do mundo (19,5%), a energia da biomassa no Brasil contribuiu com apenas 4,7% do total. A participação da energia da biomassa é pequena visto que o país é um dos maiores produtores e exportadores de produtos agropecuários do mundo, sendo o terceiro maior exportador agrícola (WTO, 2012). Como consequência, gera como subproduto expressiva biomassa residual da colheita e processamento de produtos agropecuários com potencial para serem utilizados para produção de bioenergia.

A produção de energia a partir de madeira e culturas energéticas é controversa, uma vez que compete por água e terra com a produção de alimentos (Valdez-Vazquez et al., 2010). Uma alternativa é o uso de resíduos lignocelulósicos que podem ser utilizados como matéria prima para geração de calor e eletricidade, em termoeletricas (Quirino, 2003), dependendo do potencial de produção de energia medido pelo poder calorífico. O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa e é dividido em poder calorífico superior (PCS) que é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (Briane & Doat, 1985) e poder calorífico inferior que é a energia efetivamente disponível após deduzir as perdas com a evaporação da água (Jara, 1989). A utilização da energia advinda da biomassa residual agrícola tem alguns aspectos de grande importância, entre eles, a renovabilidade da biomassa em curto espaço de tempo, a manutenção do equilíbrio de CO₂, pois o que é capturado no processo de fotossíntese é liberado no processo de queima (Pfaumann, 2006; Johnson et al., 2007), e a utilização da

área cultivada tanto para a produção de alimentos quanto para geração de energia (Cassman & Liska, 2007).

O milho se destaca entre as espécies agrícolas com potencial de fornecimento de biomassa para produção de energia, pela grande área cultivada no Brasil, cerca de 15 milhões de hectares (CONAB, 2012), e pela alta produção de biomassa residual (Mourad et al., 2004). Considerando a produção nacional de milho na safra 2009/2010 (CONAB, 2012), o Brasil produziu 56.018 mil toneladas de grãos do cereal. A produção gerou aproximadamente 53.821 mil toneladas de biomassa residual que ficou no campo de cultivo, uma vez que o índice de colheita do milho atualmente está próximo de 0,51 (Ferreira, 2009). O índice de colheita (IC) é uma relação entre os grãos produzidos e a biomassa aérea seca total da planta. Além disso, apresenta PCS variando de 15,6 a 18,3 MJ kg⁻¹, valores semelhantes às espécies cultivadas exclusivamente para produção de energia, como o *Eucaliptus sp* (Quirino et al., 2005; Ioannidou et al., 2009). Com a determinação do PC e da quantidade de biomassa produzida, é possível estimar o potencial de geração de bioenergia a partir desta biomassa. Do ponto de vista prático, é interessante determinar a energia produzida e a exportação dos nutrientes das diferentes partes da planta, já que as diferenças podem refletir na escolha do método de colheita e recolhimento e/ou cultivar, por exemplo (Hoskinson et al., 2007).

Pordesimo et al. (2004) relataram que 15% da biomassa seca do milho é sabugo e que o colmo, folha e palha da espiga responderam por 51%, 21% e 13%, respectivamente. Estudos da composição da biomassa residual indicam variação da quantidade de sabugo de 15 a 20% (Sokhansanj et al., 2006; Varvel & Wilhelm, 2008). A quantidade de biomassa residual que pode ser removida sem causar efeitos de erosão do solo varia de 20 a 30 % (Nelson, 2002; McAloon et al., 2000).

Porém, em relação à determinação da energia das diferentes partes da planta de milho, existem poucos trabalhos na literatura. Os valores encontrados de PCS nas diferentes partes são os seguintes: 17,8 e 18,3 MJ kg⁻¹ (Demirbas, 1997; Mullen et al., 2010) para o colmo + folha; 15,6 MJ kg⁻¹ (Quirino et al., 2005) para a palha da espiga; PCS 17,8 e PCI 18,3 MJ kg⁻¹ (Mullen et al., 2010; Ioannidou et al., 2009) para o sabugo.

A adubação e o arranjo de plantas estão entre as práticas e técnicas de manejo empregadas para obtenção de maior produtividade em milho (Santos et al., 2011). Dentre os nutrientes aplicados, o nitrogênio é o que causa maiores efeitos no aumento da produtividade de grãos (Araújo et al., 2004; Gomes et al., 2007; Duete et al., 2008) e de biomassa (Araújo et al., 2004; Duete et al., 2008).

Segundo Coelho (2007), a quantidade média de N utilizada em lavouras comerciais de milho, no Brasil, é de 60 kg ha⁻¹. Porém, em lavouras de alto potencial produtivo, a recomendação é utilizar 60 - 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura, para cultivo em sequeiro, e 120-160 kg ha⁻¹ de N, para cultivo irrigado (Raij et al., 1997, Souza et al., 2003, Amaral Filho et al., 2005, Coelho, 2007). Trabalhos recentes tem demonstrado resposta a doses de N entre 90 kg ha⁻¹ e mais de 200 kg ha⁻¹ (Silva et al., 2005; Amaral Filho et al., 2005; Ohland et al., 2005; Gomes et al. 2007; Duete et al., 2008; Fontoura & Bayer, 2009). Nos trabalhos de Gomes et al. (2007) e Pavinato et al. (2008), para produção de uma tonelada de grãos de milho foram necessários 21,4 e 23,4 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Para a produção de uma tonelada de biomassa, Neumann et al. (2005) e Araújo et al. (2004), relatam que foram necessários 7,6 e 16,6 kg ha⁻¹ de N respectivamente.

O milho é tradicionalmente cultivado no Brasil com espaçamentos entre linhas de 0,80 e 0,90 m, o que possibilita adequado funcionamento dos equipamentos tradicionais para semeadura, tratos culturais e colheita (Mattoso et al., 2006). Segundo Argenta et al. (2001), o melhor arranjo de plantas para o milho é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de luz, água e nutrientes entre as plantas. Uma das formas de alterar a distribuição de plantas cultivadas na área é utilizar espaçamentos reduzidos entre as linhas de semeadura, discutida e experimentada por agricultores brasileiros a mais de 30 anos (Swoboda, 1996).

Segundo Cruz et al. (2007), as vantagens do uso de menores espaçamentos entre fileiras no milho estão relacionadas com maior rendimento de grãos, cobertura mais rápida do solo, favorecendo maior supressão das plantas indesejáveis e consequente redução de reinfestação, maior absorção de luz solar, menor perda de água por evaporação, maior eficiência das plantas na absorção de água e nutrientes, melhor qualidade de semeadura, mediante menor velocidade de rotação dos sistemas de distribuição de sementes e maximização da utilização de semeadoras, uma vez que diferentes espécies poderão ser semeadas com o mesmo espaçamento, permitindo maior praticidade e ganho de tempo.

Os resultados de produtividade dos trabalhos de pesquisa utilizando diferentes espaçamentos entre linhas são diversos. Alguns mostram que a redução no espaçamento proporciona maiores produtividades de grãos (Penariol et al., 2003; Demétrio et al., 2008; Von Pinho et al., 2008; Modolo et al., 2010). Porém, outros mostram que maiores espaçamentos entre linhas resultam em maiores produtividade (Resende et al., 2003; Amaral Filho et al., 2005; Pereira et al., 2008, Kappes et al., 2011). Também existem trabalhos

mostrando que a variação no espaçamento entre linhas não interfere na produtividade (Gross et al., 2006; Strieder et al., 2007; Strieder et al., 2008).

Da mesma forma que a colheita de grãos, a retirada da biomassa residual do milho para geração de energia implica em exportar nutrientes da área de cultivo, que devem ser repostos para evitar o esgotamento dos nutrientes do solo (Hoskinson et al., 2007). E assim como as diferentes partes da planta possuem diferentes potenciais energéticos, as concentrações de nutrientes também variam (Johnson et al., 2007), sendo necessário determinar o teor dos nutrientes das diferentes partes, para reposição e manutenção da fertilidade do solo.

Em função do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da alteração da distribuição de plantas e da adubação nitrogenada no potencial de produção de bioenergia e no conteúdo de nutrientes na biomassa da área cultivada.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido a campo, na safra 2010-2011, na Estação Experimental da Fundação ABC (Altitude 730 m), município de Itaberá - SP (Figura 1) (24° 4' 0" S, 49° 9' 20" O). O clima da região, conforme a classificação de Koppen é do tipo Cfa subtropical úmido com verão quente. O solo do local do experimento é um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO de textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006). Com as seguintes características químicas e texturais na profundidade 0-20 cm: P(resina) = 47 mg dm³; matéria orgânica (MO) = 13 mg dm³, pH (CaCl₂)= 4,5; H + Al (SMP)= 60 mmol_c dm³; Al = 12 mmol_c dm³; K= 2,4 mmol_c dm³; Ca = 38 mmol_c dm³; Mg = 9 mmol_c dm³; soma de bases (SB) = 49 mmol_c dm³; CTC = 109 mmol_c dm³; saturação por bases (V) = 45%; saturação por Al = 20%; argila, silte e areia = 417, 130 e 453 g kg⁻¹, respectivamente.



Figura 1. Localização do Município de Itaberá no estado de São Paulo.

O milho cultivado foi o híbrido simples AG-8088 YG de ciclo precoce, semeado em 14 de setembro de 2010, para uma população final esperada de 75 mil plantas por hectare. A adubação de semeadura foi de 450 kg ha⁻¹ com o adubo formulado 0:20:20, o que corresponde a 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O. Conforme os dados coletados na estação meteorológica instalada na própria Estação Experimental do local do ensaio, a precipitação pluviométrica total durante o ciclo do milho foi de 682,8 mm.

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, com os tratamentos obedecendo a um esquema fatorial, combinando dois espaçamentos entre linhas

(0,4 e 0,8 m) com cinco doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹). O nitrogênio foi aplicado a lanço em cobertura no dia seguinte a semeadura, utilizando como fonte o nitrato de amônio (34% N). As parcelas tinham dimensões de 4,8x6 m para o espaçamento 0,8 m e 2,8x6 m para o de 0,4 m entre linhas.

2.2 – DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E DE BIOMASSA

Na maturação fisiológica, a produtividade de grãos foi obtida pela colheita de quatro metros das duas linhas centrais da parcela, descontando a umidade acima de 13%. Nesse mesmo momento oito plantas de milho foram cortadas logo acima do primeiro nó visível acima do solo, separadas em colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos, pesadas, moídas com auxílio do moinho de martelo e sub-amostradas para serem secas em estufa a 60°C até peso constante para determinação da biomassa seca, poder calorífico e teor de nutrientes. A produtividade de biomassa de cada parte da planta foi obtida considerando a população final de plantas obtida pela contagem de plantas colhidas para determinação da produtividade de grãos. O índice de colheita (IC), determinado pela relação entre biomassa seca dos grãos e a biomassa seca total da planta, foi calculado com as plantas coletadas para determinação da BS das diferentes partes da planta.

2.3 – ANÁLISE DO TEOR DE NUTRIENTES E DO PODER CALORÍFICO

Após a secagem, as amostras foram moídas novamente em um moinho de facas do tipo *Willye*, para posterior análise dos nutrientes e determinação do poder calorífico. A análise mineral foi realizada no laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) da UFPR, submetendo as amostras à digestão via seca, em mufla a 500°C, e solubilizadas posteriormente em HCl 3 mol L⁻¹. Os teores de fósforo (P) foram determinados por colorimetria, com vanadato-molibdato de amônio, com leitura em espectrofotômetro UV/VIS (Silva, 1999). A determinação do potássio (K) foi realizada por fotometria de emissão por chama (Martins & Reissmann, 2007). Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn), por espectroscopia de absorção atômica com chama (Martins & Reissmann, 2007). As análises do C-total, H-total e N-total, foram efetuadas por combustão via seca, com auxílio do aparelho VARIO EL III - Elementar®. A exportação de nutrientes foi obtida pela multiplicação do teor de cada nutriente pela produtividade de biomassa de cada parte da planta.

A determinação do poder calorífico superior (PCS) foi realizada no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal e Bioenergia no departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, com o auxílio de bomba calorimétrica adiabática modelo IKAWERNE, C5000, de acordo com a norma ABNT/NBR 8633/84 (ABNT, 1984). A conversão para quilowatt-hora por hectare (KWh ha⁻¹) foi realizada com a expressão:

$$E = \frac{(PCS)}{C_1} . C_2 . BS$$

Sendo: E - Energia obtida com a queima da biomassa (kWh ha⁻¹); PCS - Poder calorífico superior (Kcal kg⁻¹); C₁ – Coeficiente para transformar a unidade Kcal para kWh (1 kWh = 860 Kcal) (MME, 2012); C₂ – Eficiência média das caldeiras igual a 20% (Nogueira & Lora, 2003); BS – Biomassa seca do milho (kg ha⁻¹).

2.4 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R 2.1.1 (R DEVELOPMENT, 2005). Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett, e quando homogêneos foram submetidas à ANOVA. Para avaliar o efeito da dose de N utilizou-se a análise de regressão. A análise de correlação foi realizada com o auxílio do programa Excel[®] (Microsoft), e os gráficos confeccionados no programa SigmaPlot 12.0.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A produtividade de grãos de milho não foi influenciada pela interação entre doses de N e espaçamentos e pelo espaçamento entre linhas, mas foi alterada pelo aumento da dose de N (Figura 2). A dose de N para obtenção de máxima eficiência técnica (DMET), média entre os dois espaçamentos, foi de 226 kg ha⁻¹ para uma produtividade de grãos de 13,6 t ha⁻¹. Em trabalho realizado por Farinelli & Lemos (2012), em Botucatu – SP, região tropical do Brasil, a DMET foi de 151 kg ha⁻¹ de N, porém para uma produtividade de grãos de 8,9 t ha⁻¹, dado semelhante ao deste trabalho se considerada a quantidade de N necessária para produção de uma tonelada de grãos que foi de 16,6 e 17 kg, respectivamente. Fontoura & Bayer (2009), reunindo resultados de 61 experimentos de adubação nitrogenada em milho em plantio direto na região centro Sul do Paraná e subtropical, obtiveram a DMET de 245 kg ha⁻¹ de N para uma produtividade de 12,8 t ha⁻¹ de grãos, o que significa em torno de 19 kg de N para a produção de uma tonelada de grãos.

A variação de resultados se deve a efeitos locais sobre a resposta do milho à adubação com N. A alta resposta em Itaberá, cuja produtividade de grãos variou aproximadamente de 2 t ha⁻¹ para quase 14 t ha⁻¹ (Figura 2) pode estar relacionada aos baixos teores de matéria orgânica no solo (13 mg dm⁻³), que é a principal fonte de N do solo (Ceretta et al., 2002). A resposta do milho às doses de N também pode ser atribuída às condições climáticas favoráveis durante o ciclo de cultivo, e pela boa resposta dos híbridos mais recentes ao N (Bucher, 2007). Clima, solo e manejo afetam a resposta do milho ao N, e por causa disso a DMET varia entre locais (regiões) e espacialmente de um ano para o outro, na mesma área de cultivo (Mamo et al., 2003; Scharf et al., 2005; Schimidt et al., 2007).

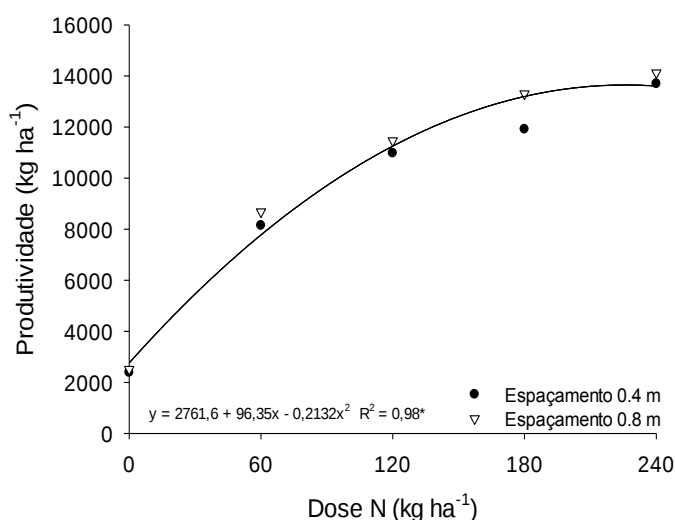


Figura 2. Produtividade de grãos de milho em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio. (*) significativo a 5% de probabilidade.

3.2 – PRODUÇÃO DE BIOMASSA SECA (BS)

As maiores doses de N proporcionaram maior BS das plantas, independente do espaçamento de cultivo (Figura 3). Para a BS do colmo + folha (Figura 3 A), os dados ajustaram-se a uma equação do segundo grau com aumento da produção em função das doses de nitrogênio, sendo a DMET de 213,5 kg ha⁻¹, que gerou 8,4 t ha⁻¹.

Já para a BS da palha da espiga e do sabugo (Figura 3 B e C), o aumento da dose de N aumentou linearmente a BS, havendo diferença significativa entre os espaçamentos apenas para a BS da palha da espiga, com espaçamento entre linhas de 0,8 m superior (765 kg ha⁻¹) ao 0,4 m (672 kg ha⁻¹). As crescentes doses de N propiciaram aumento de 2,4 vezes da BS total da parte aérea de milho (colmo, palha, sabugo e grão). O efeito positivo do N na produção de biomassa de milho também foi observado por Gonçalves Junior et al. (2008) para sabugo e por Campos et al. (2008), que obtiveram aumento de BS total da parte aérea de milho (colmo, palha, sabugo e grão) atingindo aproximadamente 15 t ha⁻¹ com 120 Kg ha⁻¹ de N.

A biomassa seca total, menos a produção de grãos, também aumentou com a aplicação de N, atingido valores próximos a 11 t ha⁻¹ (Figura 3 D). Além da maior dose de N, cujo efeito nas plantas inclui o maior crescimento vegetativo, a aplicação do nutriente no início do ciclo de cultivo pode ter favorecido a acúmulo de fotoassimilados e consequentemente de BS, conforme observado por Kaneko et al. (2010) e Arf et al. (2007).

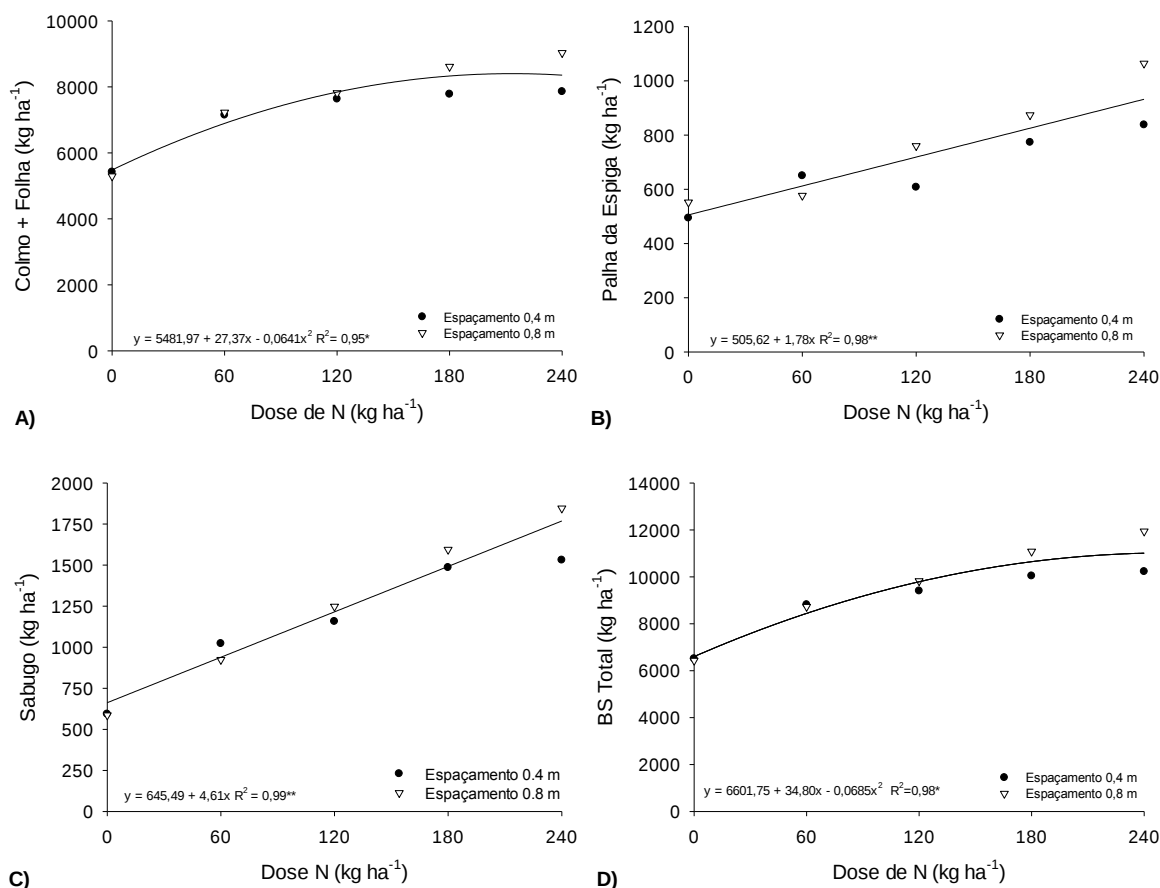


Figura 3. Biomassa seca (BS) do colmo + folha (A), palha da espiga (B), sabugo (C) e total menos grãos (D) de milho, em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio. (*) significativo a 5% de probabilidade e (**) significativo a 1% de probabilidade.

3.3 – RELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES PARTES DA PLANTA

Com o aumento das doses de N as proporções das diferentes partes da planta se alteram diminuindo a participação do colmo + folha e palha da espiga e aumento da proporção de sabugo e grãos (Tabela 1). Sendo o N um nutriente importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, quando bem suprida deste nutriente direciona fotoassimilados para a parte reprodutiva, sabugo e grãos (Duete et al., 2008). Trabalho feito por Pereira et al. (2011), avaliando os componentes estruturais da planta de híbridos de milho encontrou na média dos híbridos AG 5011 e AG 1051, com dose total de 150 kg ha⁻¹ de N, obtiveram produtividade de grãos próxima ao desse trabalho, com as seguintes proporções: 35, 9, 8 e 48% de colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos, respectivamente.

Tabela 1 – Participação das partes colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos (%) na biomassa seca total das plantas de milho, em função de doses de nitrogênio.

Doses N kg ha ⁻¹	colmo + folha	palha da espiga ----- % -----	sabugo	grãos
0	52,8	5,2	5,8	36,3
60	44,2	3,8	6,0	46,0
120	40,5	3,6	6,3	49,6
180	36,7	3,7	6,9	52,7
240	35,0	3,9	7,0	54,1
Média	41,8	4,0	6,4	47,7
CV %	16,9	15,9	8,4	14,9

3.4 – ÍNDICE DE COLHEITA (IC)

Não ocorreu diferença significativa do IC pela variação do espaçamento entre linhas, confirmando os dados obtidos por Demétrio et al. (2008), que testou o desempenho de híbridos de milho. O IC médio variou de 0,36 a 0,54 em função das doses de N. As doses de N acima de 117 kg ha⁻¹, quando o IC foi de 0,5 (50% de grãos e 50% de BS), proporcionaram maior produção de grãos que de BS, independente do espaçamento entre linhas adotado. Para doses inferiores a 117 kg ha⁻¹ a produção de BS foi maior que a de grãos (Figura 4). Portanto, além de estimular a produção de grãos e de BS, a aplicação de N interferiu na partição da biomassa na planta, favorecendo a produção de grãos quando em doses elevadas. No entanto, nos trabalhos de Moser et al. (2006), Duete et al. (2008) e Veloso et al. (2009), o IC não foi alterado pela aplicação de N e os valores médios foram 0,49, 0,55 e 0,56, respectivamente. Contudo, o IC obtido no presente trabalho pode ter sido beneficiado com efeito da seleção de novos materiais genéticos. Doorenbos & Kassam (1994) comentam que o IC poderia variar de 0,3 a 0,5, sendo o valor de 0,4 considerado satisfatório para a obtenção de alta produtividade.

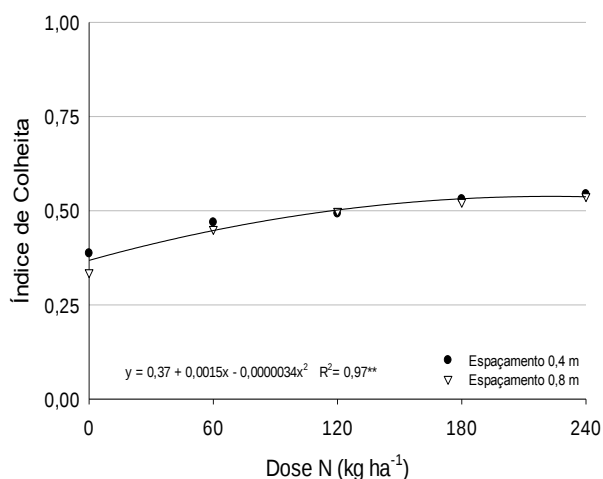


Figura 4. Índice de colheita do milho (razão entre produção de grãos e biomassa aérea) em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio. (**) significativo a 1% de probabilidade.

3.5 – TEOR DE NUTRIENTES

A variação do espaçamento entre linhas não influenciou os teores de nutrientes no milho, assim como não houve interação entre as doses de N e a variação do espaçamento entre linhas.

De maneira geral, os grãos apresentaram os maiores teores de N e P e o colmo + folha de Ca, Mg e K (Figura 5).

O teor de N no colmo + folha e grãos aumentou com o aumento das doses de N, e diminuiu para a palha da espiga e sabugo (Figura 5 A). Como o N é um nutriente móvel na planta, essa variação de teor sugere que estas partes da planta contribuem com o N acumulado nos grãos. O menor teor de N na biomassa residual total foi de 7,3 g kg⁻¹ e o maior de 11,45 g kg⁻¹, próximos aos encontrados por Araújo et al. (2004), em trabalho testando doses de N em milho, em que o teor médio de N na BS total foi de 9,5 g kg⁻¹ e nos grãos de 15,4 g kg⁻¹. O N está relacionado ao crescimento e rendimento da planta, isso se deve principalmente ao fato deste nutriente estar associado ao crescimento e desenvolvimento dos drenos reprodutivos (grãos) e por participar na molécula de clorofila (folhas), indispensável para a manutenção da atividade fotossintética (Martin et al., 2011).

A variação do espaçamento entre linhas influenciou significativamente o teor de P no colmo + folha, com o menor teor na dose de 201,1 kg ha⁻¹ de N (0,29 g kg⁻¹) e 205,3 kg ha⁻¹ de N (0,22 g kg⁻¹) para o espaçamento 0,4 m e 0,8 m, respectivamente. Já o teor de P no colmo + folha, na palha da espiga e no sabugo diminuiu em função das doses de N (Figura 5 B), com variação do maior para o menor teor de P de 71, 57 e 60%, respectivamente.

Nos grãos, o teor de P ajustou-se a uma equação do segundo grau, com aumento de 11,3% do tratamento sem N para maior dose de N (240 kg ha^{-1}), e teor médio entre os espaçamentos de P na maior dose igual a $2,16 \text{ g kg}^{-1}$. A diminuição dos teores de P da biomassa residual e a concentração nos grãos indicam que quanto maior as doses de N, maior produtividade e maior a remobilização do fósforo para os grãos, já que a demanda de P nos grãos de milho é alta, por ser armazenado como fitina (Marschner, 2012). Da mesma forma, o efeito de diluição deve ter contribuído para esta diminuição do teor de P. Esses teores encontrados estão próximos aos encontrados no trabalho de Martin et al. (2011), onde o teor médio de P na BS foi de $0,48 \text{ g kg}^{-1}$ e nos grãos foi de $3,79 \text{ g kg}^{-1}$. Thiraporn et al. (1992) observaram que a partição de P para os grãos aumentou com a aplicação de N, ou seja, a taxa de translocação de P para os grãos depende do nível de fornecimento de N para a planta.

Não ocorreu variação significativa entre os espaçamentos testados para o teor de K (Figura 5 C), com exceção do colmo + folha onde o espaçamento 0,4 m entre linhas teve maior teor. Com o aumento das doses de N ocorreu à diminuição dos teores de K da biomassa residual, e leve aumento dos teores nos grãos. Este nutriente, não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, sendo encontrado como cátion livre ou adsorvido, o que o torna facilmente trocável das células ou dos tecidos, com alta mobilidade intracelular (Torres & Pereira, 2008).

Como os teores de K no solo eram altos, pode ter ocorrido consumo de luxo pelas plantas deste nutriente nas baixas doses de N. As plantas têm a capacidade de absorver quantidade de K superior à sua necessidade, o que comumente é denominado consumo de luxo de K (Meurer, 2006).

Na maior dose de N testada (240 kg ha^{-1}) os maiores teores de K, foram encontrados no colmo + folha ($10,03 \text{ g kg}^{-1}$), seguido do sabugo ($5,27 \text{ g kg}^{-1}$), da palha da espiga ($4,93 \text{ g kg}^{-1}$) e por ultimo dos grãos ($4,42 \text{ g kg}^{-1}$). Como o aumento da produção de grãos está diretamente relacionado com as funções do K de transporte e armazenamento de fotoassimilados nos grãos, o teor deste nutriente tende a aumentar nos grãos e diminuir na BS, pois ele participa do transporte de sacarose e fotoassimilados no sentido da fonte para o dreno (Marschner, 2012).

Os teores de P e K aumentaram nos grãos e diminuíram na BS com a adubação nitrogenada. Resultados que também foram encontrados por Ferreira et al. (2001) e Thiraporn et al. (1992). Devido o aumento do N fornecido, as plantas absorveram mais nutrientes, esses, combinam com esqueletos carbônicos para a produção de aminoácidos, os quais resultam em

proteínas que ficam armazenadas nos tecidos vegetais. Por ocasião da fase de enchimento de grãos estas reservas são quebradas, translocadas e armazenadas nestes órgãos, na forma de proteínas e aminoácidos (Marschner, 2012).

O teor de Ca não foi influenciado pela variação do espaçamento entre linhas em nenhuma das partes da planta. A adubação nitrogenada propiciou aumento do teor de Ca do colmo + folha e palha da espiga, com teor na maior dose de N testada (240 kg ha^{-1}), sendo igual a $1,76$ e $0,47 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. No sabugo, o teor de Ca diminuiu 61% do tratamento sem N para a maior dose testada. Nos grãos, o teor de Ca não foi influenciado pelos tratamentos, ficando com valor médio de $0,26 \text{ g kg}^{-1}$.

Ao contrário do presente trabalho, Ferreira et al. (2001) encontraram aumento dos teores de Ca nos grãos devido o aumento das doses de N. Os autores comentam que mesmo sendo praticamente imóvel no floema e translocando muito pouco para os grãos, o cálcio teve seu teor aumentado com as doses de nitrogênio, estando provavelmente relacionado à maior necessidade de cálcio nos grãos para formação de parede celular, de tal modo que possa suportar a maior quantidade de metabólitos translocados aos grãos com a adubação nitrogenada.

A variação das doses de N e do espaçamento entre linhas, não influenciou o teor de Mg no colmo + folha, que teve teor médio de $2,09 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg. O teor de Mg na palha da espiga não foi influenciado pela variação no espaçamento entre linhas. Mas teve aumento linear significativo com o incremento das doses de N (Figura 5 E), em torno de 22%. O teor de Mg no sabugo foi influenciado pela variação do espaçamento entre linhas e pelas doses de N, com diminuição de 63% e 61% do seu teor em função das doses de N, para o espaçamento 0,4 e 0,8 m, respectivamente.

Kleinpaul (2008), encontrou valores médios de Mg um pouco acima dos encontrados no presente trabalho para colmo + folha ($4,05 \text{ g kg}^{-1}$), e um pouco abaixo para palha da espiga e sabugo iguais a $1,10$ e $0,33 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. O teor de Mg nos grãos não foi influenciado pela variação no espaçamento entre linhas, apenas pelas doses de N, resultando em equação do segundo grau com menor teor médio de $1,07 \text{ g kg}^{-1}$. O intervalo do teor de Mg nos grãos deste trabalho ($1,09$ a $1,56 \text{ g kg}^{-1}$) ficou próximo aos valores encontrados por Heckman et al. (2003) que obtiveram valores entre $0,88$ a $2,18 \text{ g kg}^{-1}$ e por Ferreira et al. (2001), que encontraram valores variando entre $0,92$ e $1,12 \text{ g kg}^{-1}$.

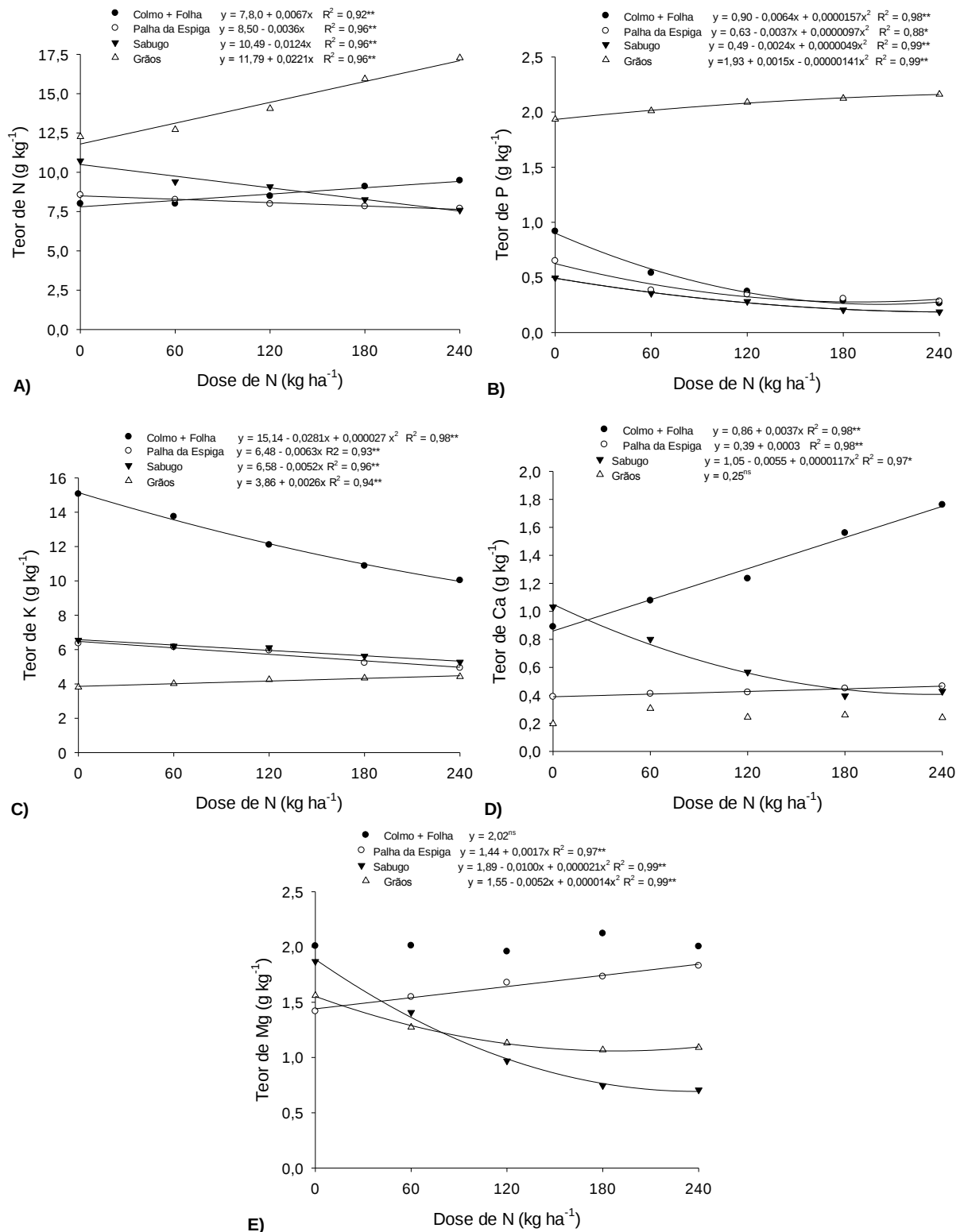


Figura 5 – Teor de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D) e magnésio (E) das diferentes partes da planta de milho (colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos), em função de doses de nitrogênio. ns = não significativo, ** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

3.6 – CONTEÚDO DE NUTRIENTES

Apenas as doses de N influenciaram significativamente o conteúdo de N na planta de milho (Tabela 2). Independente da dose de N, o maior conteúdo foi encontrado nos grãos, seguido de colmo + folha, sabugo e por ultimo na palha da espiga.

Quanto ao P, para colmo + folha houve diferença significativa entre os espaçamentos entre linhas, com maior conteúdo para o 0,4 m (Tabela 2). Para as outras partes da planta não ocorreu diferença significativa entre os espaçamentos. A aplicação de N influenciou o conteúdo de P no colmo + folha e nos grãos, com diminuição do primeiro e aumento do conteúdo do segundo.

A variação do espaçamento entre linhas não influenciou o conteúdo de K (Tabela 2), mas a aplicação de N aumentou o conteúdo deste nutriente na palha da espiga, sabugo e grãos.

O conteúdo de Ca e Mg de todas as partes da planta não foi influenciado significativamente pela variação do espaçamento entre linhas, com exceção apenas para o conteúdo de Ca da palha da espiga, onde o espaçamento 0,8 m foi maior que 0,4 m entre linhas (Tabela 2). Com relação às doses de N, o conteúdo de Ca e Mg foi maior com o aumento das doses de N para colmo + folha, palha da espiga e grãos. Apenas o conteúdo de Ca e Mg do sabugo, não foi influenciado pela variação das doses de N, evidenciando o efeito de diluição observado no teor destes nutrientes (Figura 5 D e E).

De acordo com Von Pinho et al. (2009) o acúmulo total de P para uma produção média de 14 t ha⁻¹ de BS foi de 92 kg ha⁻¹, sendo o terceiro nutriente mais exportado pela cultura do milho. Porém, cabe a ressalva que grande parte do P está contido nos grãos.

Dos nutrientes avaliados, o K foi o nutriente que mais impactou no conteúdo de nutrientes, por ser o nutriente absorvido em maior quantidade, tanto para a produção de grãos quanto para produção de BS para bioenergia. A cultura do milho para produção de grãos extrai em média 83 a 157 kg ha⁻¹ de K em diferentes níveis de produtividade de BS (Coelho, 2006). No entanto, para produção de bioenergia, assim como quando se pretende produzir silagem, se considerar a exportação de potássio pelos grãos e pela retirada total da biomassa, a exportação total de K na DMET de N para grãos foi de 154,3 kg ha⁻¹, sendo ainda mais expressiva. Martin et al. (2011), encontrou valores de até 259 kg ha⁻¹ de K sendo retirado da lavoura pela massa da silagem que também inclui os grãos, o que resulta em um esgotamento mais rápido do solo quanto a esse nutriente caso não seja repostado.

Tabela 2 - Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas partes da planta de milho (colmo + folha, palha da espiga, sabugo e grãos), em razão de doses de nitrogênio.

Dose N	Colmo + Folha					Sabugo				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
--- kg ha ⁻¹ ---	kg ha ⁻¹ -----					kg ha ⁻¹ -----				
0	42,87	4,92	80,55	4,76	10,68	6,22	0,29	3,86	0,61	1,09
60	57,15	3,87	99,04	7,67	16,66	9,08	0,34	6,02	0,78	1,40
120	65,60	2,89	93,39	9,53	15,13	10,82	0,33	7,34	0,69	1,17
180	74,52	2,34	88,95	12,74	17,32	12,55	0,30	8,64	0,63	1,13
240	79,59	2,21	83,97	14,92	16,94	12,77	0,31	8,90	0,73	1,19
Média	63,95	3,25	89,18	9,92	15,35	10,29	0,31	6,95	0,69	1,20
CV %	22,92	34,93	9,13	40,58	18,69	26,74	10,78	29,98	15,48	11,71
Regressão										
Dose N	Q**	Q**	ns	L**	Q**	Q**	ns	Q**	ns	ns
Espaçamento										
X	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dose N										
Dose N	Palha da Espiga					Grãos				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
--- kg ha ⁻¹ ---	kg ha ⁻¹ -----					kg ha ⁻¹ -----				
0	4,43	0,33	3,34	0,21	0,74	46,39	7,21	14,20	0,73	5,64
60	5,09	0,23	3,75	0,25	0,96	95,77	15,07	30,14	2,27	9,51
120	5,37	0,23	4,02	0,29	1,16	134,24	19,83	40,17	2,31	10,68
180	6,46	0,26	4,27	0,37	1,43	187,88	24,95	50,75	2,96	12,59
240	7,29	0,27	4,64	0,44	1,74	225,68	28,16	57,39	3,14	14,25
Média	5,73	0,27	4,01	0,31	1,20	137,99	19,04	38,53	2,28	10,53
CV %	20,68	16,67	13,74	30,32	32,86	51,61	43,48	44,49	44,37	31,10
Regressão										
Dose N	L**	ns	L**	L**	L**	L**	Q**	Q**	Q**	Q**
Espaçamento										
X	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dose N										

L = Regressão Linear; Q = Regressão Quadrática; ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade;

De maneira geral, o sabugo e a palha da espiga juntos tiveram menor conteúdo de nutrientes que o colmo + folha e os grãos, evidenciando assim que o aproveitamento dessas partes da BS residual como matéria-prima para geração sustentável de bioenergia é potencialmente viável por que impacta em pequena quantidade de nutrientes exportadas. Porém, apesar da menor exportação de nutrientes por essas partes, para evitar o esgotamento dos nutrientes do solo essa quantia deve ser reposta assim como é feito para os grãos. Assim

como os dados encontrados no trabalho de Kludze et al. (2010), onde a menor exportação de nutrientes também foi a partir da espiga (sabugo e palha da espiga) em relação ao colmo + folha e grãos.

Considerando a DMET para produção de grãos ($226 \text{ kg de N ha}^{-1}$), a participação da biomassa de sabugo e palha de espiga no total da biomassa aérea, considerando os dados apresentados na Figura 3, é de aproximadamente 23%. Se esta biomassa (sabugo e palha da espiga) for retirada para produção de bioenergia, não haveria efeitos negativos quanto à proteção do solo contra a erosão, uma vez que esta porcentagem de retirada está abaixo dos 30% sugerido por outros autores (Nelson, 2002; McAloon et al., 2000; Andrews, 2006; Wilhelm et al., 2004), além da facilidade de coleta deste material, uma vez que passa pela colhedora no momento da colheita dos grãos. A exportação de nutrientes, N, P, K, Ca e Mg, nessa DMET pela retirada da palha da espiga + sabugo é de apenas 6,2, 1,9, 8,7, 5,9 e 8,3%, respectivamente, de um total acumulado em toda a parte aérea do milho (incluindo grãos), de 317,74, 30,77, 154,37, 18,78 e 33,60 kg ha^{-1} , respectivamente.

3.7 – ANÁLISE ELEMENTAR DE CARBONO (C) E HIDROGÊNIO (H)

A variação do espaçamento entre linhas e a interação dos tratamentos nos teores de C e H (Tabela 3). Já, o aumento das doses de N proporcionou efeito linear positivo do teor de C para todas as partes da planta avaliadas (Figura 6). O aumento do teor de C do tratamento sem N para a maior dose de N foi de 2, 3,1 e 0,4 % para sabugo, colmo + folha e palha da espiga respectivamente.

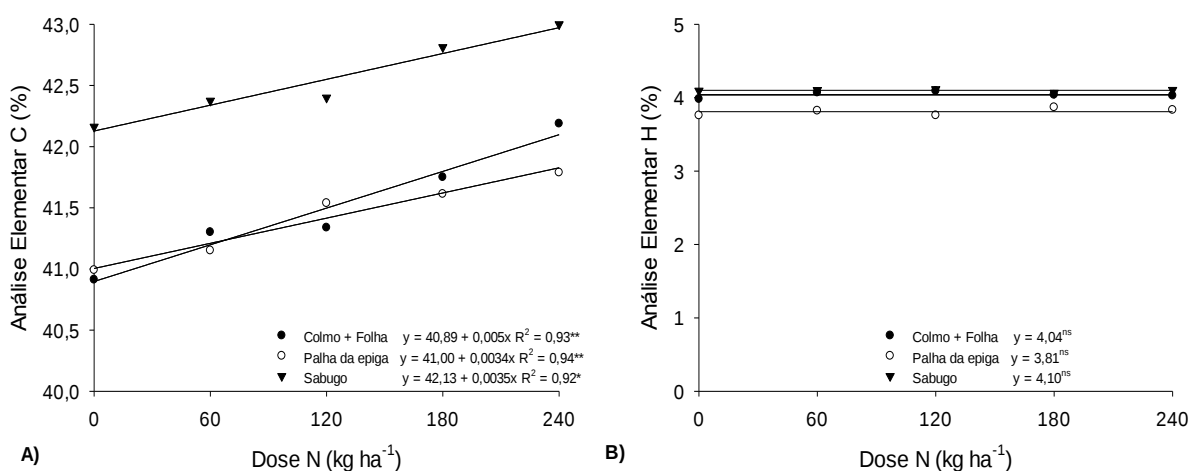


Figura 6. Análise elementar de carbono (A) e hidrogênio (B) do colmo + folha, palha da espiga e sabugo do milho em função de doses de nitrogênio. ns = não significativo, ** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

O poder calorífico superior é um dos parâmetros importantes para diferenciar uma biomassa de outra quanto ao potencial para geração de energia e é dependente da composição química (celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos) da biomassa avaliada (Shafizadeh, 1981). A lignina e os extrativos apresentam baixo grau de oxidação e alto calor de combustão em comparação com a celulose e as hemiceluloses (Kumar et al., 1992). Segundo Moraes et al. (2005), a lignina é uma substância química que confere rigidez a parede celular, e apresentando alta correlação com os teores de C, H e N.

O teor de C aumentou com o incremento nas doses de N testadas, provavelmente pelo fato de ser um dos principais responsáveis pela formação de lignina (Couto, 2009). Simili (2008) constatou que a adubação N em sorgo resultou em aumento do teor de lignina na BS.

Para o H, a variação nas doses de N não teve efeito significativo no teor de nenhuma das partes da planta. Protássio et al. (2012), também encontrou pouca variação para diferentes espécies do teor de hidrogênio.

Os valores de C e H encontrados no presente trabalho estão próximos ao encontrado na literatura, que variam de: 44,2 a 45,2% de C e 5,8 a 6,43% para H na palha de milho, 46,6 a de C e 5,9 H para sabugo de milho, 38,0 a 36,0% de C e 4,7 a 5,12% para casca de arroz, 44,9 a 46,8% de C e 5,9 a 6,34% de H para cana de açúcar e 46,0 a 48,2% de C e 5,8 a 6,36% de H para Eucalipto (Garivait et al., 2006; Parikh et al., 2005; Protássio et al., 2011). Altos teores de C e H são características importantes para a seleção de resíduos lignocelulósicos para a produção de bioenergia, em razão do valor energético desses elementos e da correlação positiva com o poder calorífico (Dermibas & Dermibas, 2004; Obernberger & Thek, 2004; Protássio et al., 2011), portanto, dentre as partes avaliadas na planta de milho, o sabugo apresenta maior potencial de utilização.

Tabela 3 - Análise elementar de carbono (C) e hidrogênio (H) das diferentes partes da biomassa residual de colheita do milho (colmo + folha, palha da espiga e sabugo), em razão de doses de nitrogênio.

Doses N kg ha ⁻¹	Colmo + Folha		Palha da Espiga		Sabugo	
	C (%)	H (%)	C (%)	H (%)	C (%)	H (%)
0	40,91	3,98	41,61	3,76	42,16	4,10
60	41,30	4,07	41,15	3,82	42,38	4,10
120	41,34	4,09	41,54	3,76	42,40	4,11
180	41,75	4,04	41,61	3,87	42,81	4,07
240	42,19	4,03	41,79	3,83	43,00	4,11
Média	41,50	4,04	41,54	3,81	42,55	4,10
CV %	1,20	1,36	0,63	1,38	0,82	0,75
Regressão	Espaçamento	ns	ns	ns	ns	ns
	Dose N	L**	L**	ns	L**	ns
	Ex D	ns	ns	ns	ns	ns

L = Reg. Linear; Q = Reg. Quadrática; ns = não significativo; (**)1% e (*)5% probabilidade.

3.8 – PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E INFERIOR (PCI)

Somente a aplicação de N influenciou o poder calorífico da biomassa do milho, não havendo efeito do arranjo de plantas sobre esta variável. Enquanto o poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) da palha da espiga não foi influenciado pelos tratamentos (médias de 18,11 e 17,24 MJ kg⁻¹, respectivamente) (Figura 7 B), a DMET de N para colmo + folha (Figura 7 A) foi de 246 kg ha⁻¹ e para sabugo (Figura 7 C) de 202 kg ha⁻¹. Com estas doses de N o PCS foi de 18,02 e 18,95 MJ kg⁻¹, respectivamente. O maior PCI do colmo + folha foi obtido com a aplicação de 258 kg ha⁻¹ de N (Figura 7 A), enquanto para sabugo, foi necessária a aplicação de uma dose menor de 203 kg ha⁻¹ de N (Figura 7 C), gerando, respectivamente 17,12 e 18,02 MJ kg⁻¹.

Os valores de PCS encontrados para colmo + folha, são similares aos 17,80 e 18,30 MJ kg⁻¹ observados por Demirbas (1997) e Mullen et al. (2010), respectivamente. Enquanto o PCS da palha da espiga e do sabugo estão acima dos observados por Quirino et al. (2005) e Demirbas (2001), de 15,62 e 17,99 MJ kg⁻¹, respectivamente. Em relação ao PCI encontrado nesse trabalho para sabugo ficou próximo do encontrado por Ioannidou et al. (2009), sendo 18,25 MJ kg⁻¹.

A variação do PCS do colmo + folha e sabugo proporcionada pela aplicação de N pode ser explicada pelo aumento do teor de C (Tabela 3) havendo correlação positiva de 0,62 e 0,60 (Anexo 8) entre PCS e o teor deste nutriente. Librenti et al. (2010) analisando

biomassas encontrou que maiores teores de nitrogênio diminuem o PC, ou seja, biomassa com alta relação C/N é mais adequada para geração de energia térmica. Entre as diferentes partes da planta avaliada, os maiores valores encontrados na DMET de PCS e PCI foram de sabugo, seguido da palha da espiga e por ultimo do colmo + folha.

O PCS da BS total do milho é relatado na literatura como sendo $17,66 \text{ MJ kg}^{-1}$ (Domalski et al., 1986). Pordesimo et al. (2004), observou que independente da parte da planta avaliada e em qualquer momento do seu desenvolvimento, o PCS ficou dentro do intervalo de $16,75$ a $20,93 \text{ MJ kg}^{-1}$. Revisão feita por Parikh et al. (2005), analisando a correlação do PCS calculado e mensurado de diferentes combustíveis sólidos, encontrou PCS de bagaço de cana de açúcar, casca de arroz, casca de eucalipto, madeira de eucalipto igual a $18,2$, $14,94$, $15,19$ e $18,64 \text{ MJ kg}^{-1}$, respectivamente. Assim como outros resíduos lignocelulósicos e fontes de biomassa para energia térmica, verificou-se que a biomassa do milho também possui alto PCS.

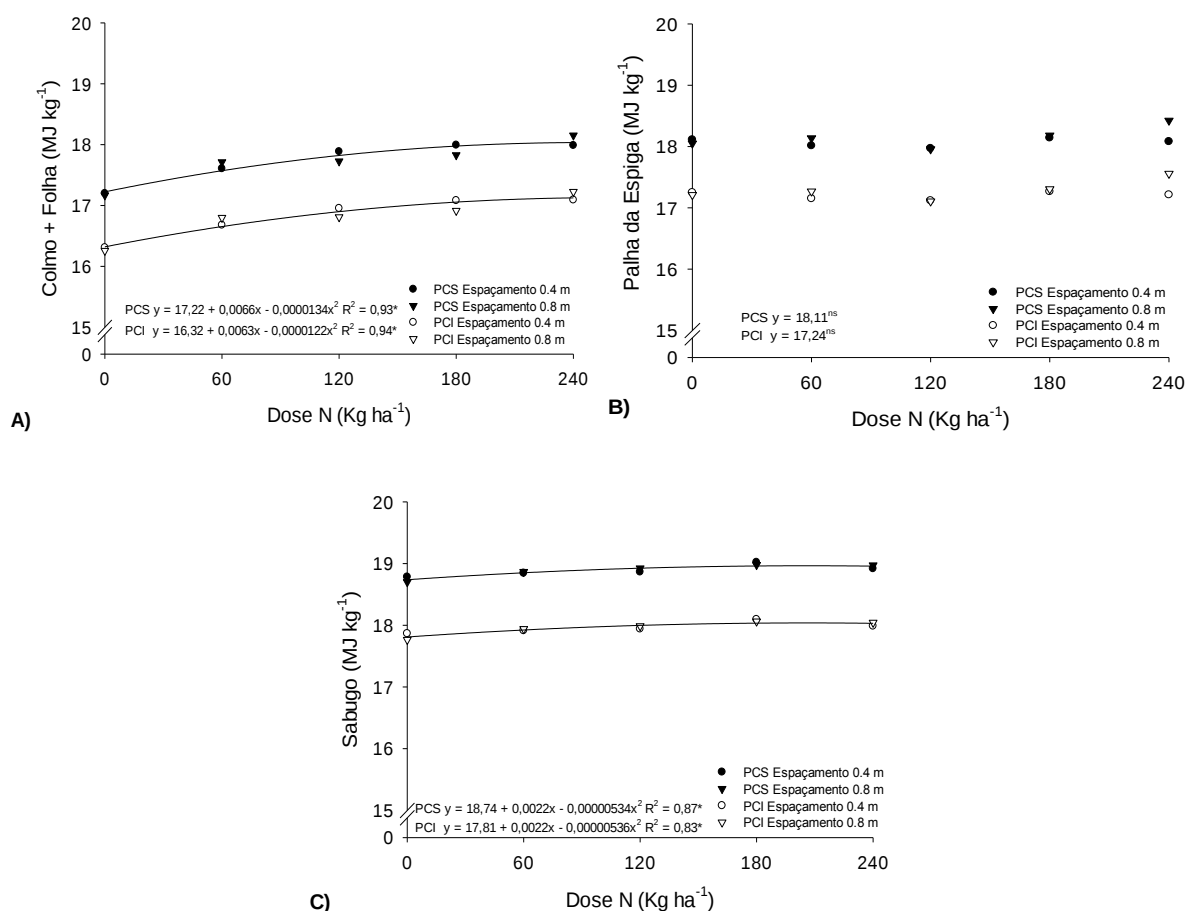


Figura 7. Poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) do colmo + folha (A), palha da espiga (B) e sabugo (C) do milho em dois espaçamentos entre linhas em função de doses de nitrogênio. (*) significativo a 5% de probabilidade.

3.9 – POTENCIAL BIOENERGÉTICO

O potencial bioenergético total aumentou com o aumento das doses de N. Esse aumento ocorreu devido à combinação de dois fatores, o aumento do PCS e principalmente o aumento da produção de BS do milho (Figura 8).

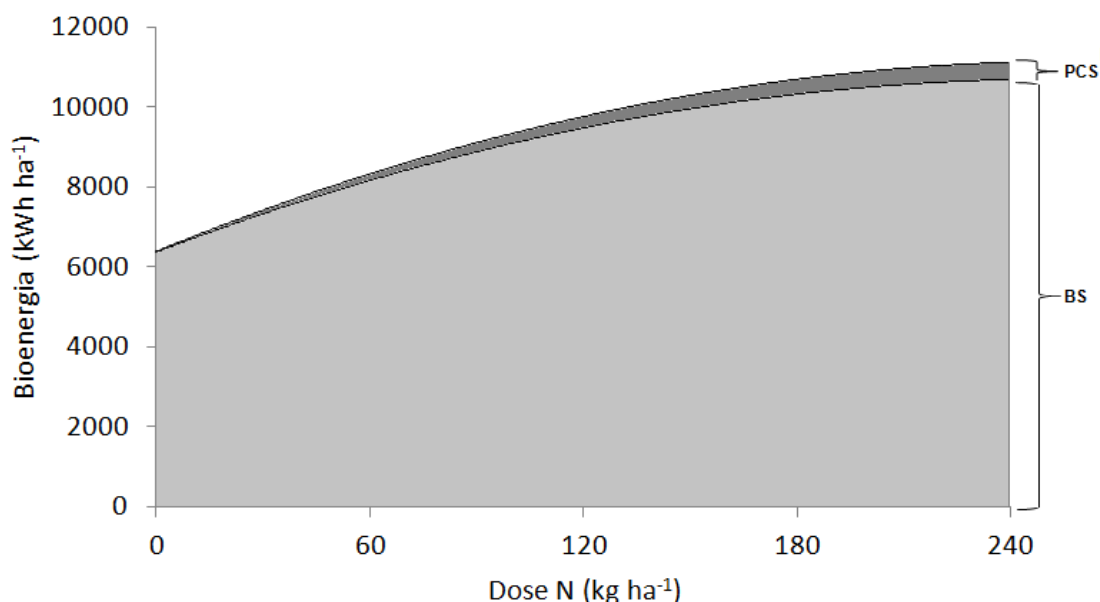


Figura 8. Produção bioenergética total do milho devido ao aumento do PCS e da produtividade de BS em função de doses de nitrogênio.

Na Figura 9 (A, B e C), pode ser observado o potencial de geração de bioenergia de cada parte da planta de milho. Não houve interação entre dose de N e espaçamento para todas as partes da planta avaliadas. Porém o efeito das doses de N foi significativo para todas às partes avaliadas e o espaçamento entre linhas de 0,8 m foi superior ao de 0,4 m no colmo + folha, 7493 e 7069 kWh ha⁻¹, respectivamente e na palha da espiga, 772 e 674 kWh ha⁻¹, respectivamente, sem promover alteração no potencial energético do sabugo.

O potencial bioenergético das diferentes partes da planta seguiu a mesma tendência da produção de BS, isso é explicado na Figura 8, porque grande parte do aumento do potencial é devido ao aumento de produção BS. Para colmo + folha (Figura 9 A), ocorreu aumento com regressão polinomial de 2º grau da produção em função do aumento das doses de N, sendo a DMET de 239 kg ha⁻¹ (8.376 kWh ha⁻¹). Já o potencial bioenergético da palha da espiga e sabugo (Figura 9 B e C) tiveram aumento linear em função das doses de N, com aumento de 184 e 290%, respectivamente, do tratamento sem N para a maior dose, e com produção máxima na maior dose de N de 965 e 1.776 kWh ha⁻¹, respectivamente.

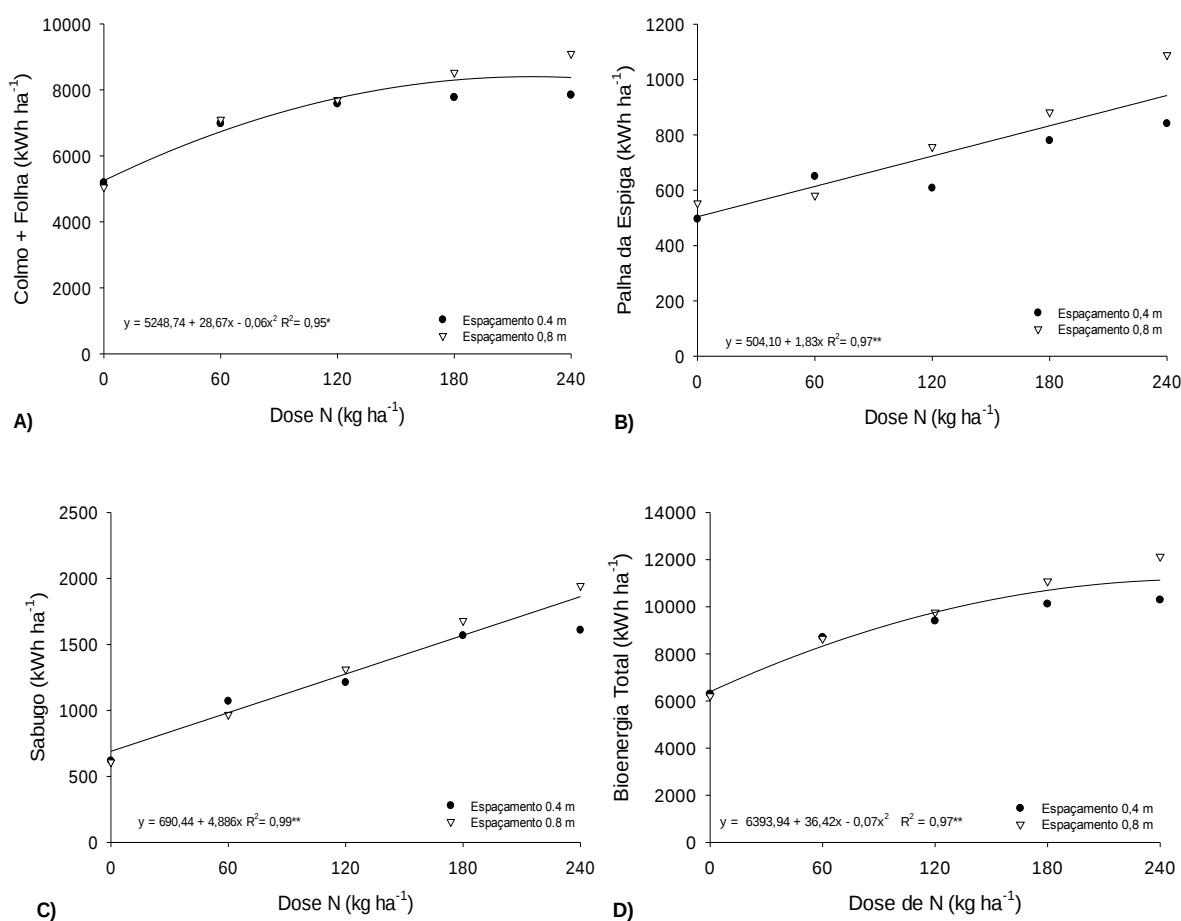


Figura 9. Potencial de geração de bioenergia a partir do colmo + folha (A), palha da espiga (B), sabugo (C) e total (D) do milho em função de doses de nitrogênio. (*) significativo a 5% de probabilidade e (**) significativo a 1% de probabilidade.

A DMET de N para o potencial bioenergético total da BS residual de colheita (Figura 9 D) é de 260 kg ha⁻¹ de N. Nessa dose a produção estimada de bioenergia é de 11.131 kWh ha⁻¹.

Entre as espécies cultivadas para fins energéticos, destacam-se o bagaço de cana de açúcar, casca de arroz, casca e madeira de eucalipto, utilizando a Eq. 1, o PCS das diferentes espécies do trabalho de Parikh et al. (2005), e a produtividade (IBGE, 2012; EMBRAPA, 2002) mostra que é possível gerar com essas espécies 18.200, 1.190, 6.300 e 65.300 kWh ha⁻¹ de bioenergia, respectivamente.

Portanto, a geração de bioenergia a partir da biomassa dos resíduos do milho pode ser interessante fonte de abastecimento de pequenas centrais termelétricas (PCT), por ter bom potencial energético, além de ser aproveitado um resíduo de produção de alimentos, e não destinar áreas onde poderiam ser produzidos alimentos, para geração de bioenergia.

Considerando a DMET de N para o potencial energético do colmo + folha (Figura 8 A) cada quilograma de BS seria capaz de gerar 1,04 kWh de energia. Para a palha da espiga e sabugo (Figura 8 B e C), na maior dose de N testada, para cada kg de BS poderiam gerar 1,01 e 1,05 kWh, respectivamente.

Os dados são mais promissores que os citados por Mourad et al. (2004), que em estudo do potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos, cita que com o uso de um gaseificador de biomassa/grupo gerador pode-se gerar em média 1 kWh de eletricidade para cada 3 kg de resíduo de biomassa.

O incremento da adubação N, aumentou o potencial de geração de energia por área, assim como o trabalho feito por Ning et al. (2012), que testando doses de N em milho, encontrou que o aumento da dose de 150 kg ha⁻¹ para 300 kg ha⁻¹ de N, proporcionou aumentou de 8,4%, 4,5% e 8,5% da BS, da produtividade de grãos e de bioenergia, respectivamente.

Utilizando apenas o sabugo e a palha da espiga para produção de bioenergia, pela facilidade de colheita, menor exportação de nutrientes que colmo + folha, alto PCS, pequeno impacto negativo na proteção física do solo contra erosão, seria possível gerar 916,8 e 1744,9 kWh ha⁻¹, respectivamente de bioenergia. Sendo assim essa bioenergia gerada a partir da palha da espiga e do sabugo (2.662 kWh ha⁻¹), considerando o consumo médio anual de 1920 kWh corresponde ao uso de uma geladeira de uma porta, de cinco lâmpadas de 40 W (quatro horas diárias), de uma televisão de 20 polegadas (ligada durante quatro horas diárias), de uma lavadora de roupas de 500 W (utilizada 12 dias no mês por uma hora) e de um chuveiro elétrico de potência média de 3.600 W, sendo utilizado por uma família de quatro pessoas, com banho de 10 minutos diários (MME, 2012), seria suficiente para sustentar energeticamente aproximadamente, 1,4 casas populares durante o período de um ano.

4 CONCLUSÕES

- A variação do espaçamento entre linhas não alterou a produtividade de grãos, mas o espaçamento 0,8 m proporcionou a maior produtividade de colmo + folha e palha da espiga.
- A aplicação de N aumentou a produção de grãos e de biomassa do milho, e aumento a participação dos grãos na biomassa total da planta.
- De forma geral a variação do espaçamento entre linhas não influencia o teor, conteúdo e distribuição dos nutrientes nas diferentes partes do milho.
- A aplicação de N influenciou de forma diferente o teor e o conteúdo para cada nutriente nas partes da planta, e a ordem de maior conteúdo foi:
 - grãos > colmo + folha > sabugo > palha da espiga.
 - A ordem do maior para menor conteúdo de nutriente nos grãos foi $N > K > P > Mg > Ca$, enquanto na biomassa foi $K > N > Mg > Ca > P$.
- A geração de bioenergia a partir do colmo + folha e palha da espiga é maior no espaçamento 0,8 m entre linhas.
- A aplicação de N influencia positivamente a geração de bioenergia, pelo aumento da produção de biomassa e do poder calorífico do colmo + folha e sabugo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos que quantifiquem além da exportação de nutrientes, a quantidade de resíduos agrícolas que devem ser deixados no campo para evitar problemas como erosão, diminuição da matéria orgânica entre outros impactos, são de extrema importância para cada vez mais comprovar a viabilidade da retirada da biomassa residual para geração de bioenergia.

Além disso, avaliação do potencial bioenergético de outros resíduos agrícolas como trigo, soja e aveia, também são de suma importância, já que no sistema agrícola atual de rotação de culturas são vários os resíduos adicionados ao solo, com variações sazonais de adição de biomassa significativas.

Avaliações do aproveitamento das cinzas como adubo mineral, para retornar ao solo e diminuir o custo com a reposição dos nutrientes também são importantes, pois contribuem para viabilizar economicamente o uso dos resíduos agrícolas na geração de bioenergia.

6 LITERATURA CITADA

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8633 Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. São Paulo, 1984.

AMARAL FILHO, J.P.R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R. & BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 29:467-473, 2005.

ANDREWS, S. S. White paper: Crop residue removal for biomass energy production: Effects on soils and recommendations. Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service. 2006.

ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras., 39:771-777, 2004.

ARF, O.; FERNANDES, R.N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; ANDRADE, J.A.C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. Acta Sci. Agro., 29:211-217, 2007.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A. & BEHEREGARAY, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. Pesq. Agropec. Bras. 36:71-78, 2001.

BRIANE, D. & DOAT, J., Guide Technique de la Carbonisation. Edisud, Aix-en-Provence, France, 1985, 180 p.

BUCHER, C.A. Avaliação através de RT-PCR da expressão dos genes que codificam para enzimas de assimilação de nitrogênio em variedades de arroz. 2007. 50f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

CAMPOS, A. X.; ORIOLI, F. P.; VIANNA, J. S. Aplicação de níveis de nitrogênio para recuperação e produção da cultura do capim-braquiária e disponibilização desse nutriente para a produção da cultura sucessiva do milho. In: IX Simpósio Nacional Cerrado, Brasília, DF, 2008.

CASSMAN, K.G. & LISKA, A.J. "Food and fuel for all: realistic or foolish?". Biofuel Bioprod Bioref. 1:18-23, 2007.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:163-171, 2002.

COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 96).

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo. 2006. (Circular técnica, 78)

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

COUTO, G. M. Utilização da serragem de *Eucalytus* sp. na preparação de carvões ativados. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, 2009.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C. & MAGALHÃES, P. C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. R. Bras. Milho e Sorgo, 6:60-73, 2007.

DEMÉTRIO, C.S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J.O. & CAZETTA, D.A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. Pesq. agropec. bras., 43:1691-1697, 2008.

DEMIRBAS A. Yields of hydrogen-rich gaseous product via pyrolysis from selected biomass samples. Fuel, 80:1885–18891, 2001.

DEMIRBAS, A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel, 76:431-434, 1997.

DERMIBAS, A & DERMIBAS, H. A. Estimating the calorific values of lignocellulosics fuels. Jour. En., Exp. Expl., 20:105-111, 2004.

DOMALSKI, E.S.; JOBE, T.L. & MILNE, T.A. Thermodynamic data for biomass conversion and waste incineration. Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute; 1986. 136 p.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, Estudos FAO Irrigação e Drenagem, n.33, 1994. 306p.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O. & AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. R. Bras. Ci. Solo, 32:161-171, 2008.

EIA. Energy Information Administration - International Energy Outlook, 2011. Disponível em: <<http://www.eia.gov>>. Acesso em: 11 ago. 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.

EMBRAPA. Comunicado técnico 136. Produção e Rentabilidade do Eucaliptos em Empresas Florestais. 2002

FARINELLI, R. & LEMOS, L.B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. Pesqui. Agropec. Trop., 42:63-70, 2012.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G. & CARDOSO, A.A. Características agrônômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. Sci. Agri., 58:131-138, 2001.

FERREIRA, C.F. Diagnose nutricional de diferentes cultivares de milho (*Zea mays* L.) de diferentes níveis tecnológicos. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FONTOURA, S.M. & BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 33:1721-1732, 2009.

GARIVAIT, S.; CHAIYO, U., PATUMSAWAD, S. & DEAKHUNTOD, J. Physical and Chemical Properties of Thai Biomass Fuels from Agricultural Residues. The 2nd Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)”. Bangkok, Thailand p. 1-23, 2006.

GOMES, R.F.; SILVA, A.G.; ASSIS, R.L. & PIRES, F.R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 31:931-938, 2007.

GONÇALVES JUNIOR, A. C.; NACKE, H.; STREY, L.; SCHWANTES, D. & SELZLEIN, C. Produtividade e componentes de produção do milho adubado com Cu e NPK em um argissolo. Sci. Agr., 9:35-40, 2008.

GROSS, M.R.; PINHO, R.G. & BRITO, A.H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema de plantio direto. Ci. e Agro., 30:387-393, 2006.

HECKMAN, J.R.; SIMS, J. T.; BEEGLE, D. B.; COALE, F. J.; HERBERT, S. J.; BRUULSEMA, T. W. & BAMKA, W. J. Nutrient removal by corn grain harvest. Agr. Jou., 95:587-591, 2003.

HOSKINSON, R.L.; KARLEN, D.L.; BIRRELL S.J.; RADTKE, C.W. & WILHELM, W.W. Engineering, nutrient removal, and feedstock conversion evaluations of four corn stover harvest scenarios. Biomass and Bioenergy. 31:126-136, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 28 out. 2012.

IOANNIDOU O.; ZABANIOTOU, A.; ANTONAKOU, E.V.; PAPAZISI, K.M.; LAPPAS, A.A. & ATHANASSIOU, C. Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations. Renew. Sust. Energ. Rev. 13:750-762, 2009.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)

JOHNSON, J.M.F.; COLEMAN, M.D.; GESCH, R.; JARADAT, A.; MITCHELL, R.; REICOSKY, D. & WILHELM, W.W. Biomass – Bioenergy crops in the United States: A changing paradigm. Americas J. Plant. Sci. Biotech., 1:1-28, 2007.

KANEKO, F.H.; ARF, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; CHIODEROLI, C.A. & KAPPES, C. Manejo do solo e do nitrogênio em milho cultivado em espaçamentos reduzido e tradicional. Bragantia, 69:677-686, 2010.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, Â. C.; ARF, M. V. & FERREIRA, J. P. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho, Pesq. Agrop. Trop., 41:348-359, 2011.

KLEINPAUL, I.S. Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agroflorestal. 88 f. dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Área de Concentração em Silvicultura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

KLUDZE, H.; DEEN, B.; WEERSINK, A.; ACKER, R.; JANOVICEK, K. & LAPORTE, A. Assessment of the Availability of Agricultural Biomass for Heat and Energy Production in Ontario. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Guelph, ON, 2010.

KUMAR, M.; GUPTA, R. C. & SHARMA, T. Effect of carbonisation conditions on the yield and chemical composition of Acacia and Eucalyptus wood chars. Biomass and Bioenergy, 3: 411-417, 1992.

LIBRENTI E.; CEOTTO E. & CANDELLO M. Biomass characteristics and energy contents of dedicated lignocellulose crops. Biomass and Waste, 3:7-8, 2010.

MAMO, M.; MALZER, G.L.; MULLA, D.J.; HUGGINS, D.R. & STROCK, J. Spatial and temporal variation in economically optimum nitrogen rate for corn. Agro Jour., 95:958-964, 2003.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 2012. 672p.

MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; SILVA, M.R.; ORTIZ, S. & BERTONCELI. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de produção de forragens conservadas. In: Anais do IV **In**: Anais do Simpósio sobre produção e utilização de forragens conservadas, Maringá. 2011. p.173-219.

MARTINS, A.P.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. Scientia Agraria, 8:1-17, 2007.

MATTOSO, M.J.; GARCIA, L.C.; DUARTE, J.O. & CRUZ, J.C. Aspectos de produção e mercado do milho. Informe Agropecuário, 27:95-104, 2006.

MCALOON, A.; TAYLOR, F.; YEE, W.; IBSEN, K. & WOOLEY, R. Determining the cost of producing ethanol from cornstarch and lignocellulosic feedstocks. Natl. Ren. Energy Lab. NREL/TP-580-28893. 2000.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.

MME – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2011, Brasília, DF. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br.htm> >. Acessado em 28 out. 2012.

MODOLO, A.J.; CARNIELETTO R.; KOLLING E.M.; TROGELLO E.; SGARBOSSA M. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. Rev. Ciênc. Agron., 41:435-441, 2010.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; MELO, D.C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: caracterização estrutural da lignina de madeira moída. Rev. Árvore, 29:1-3, 2005.

MOSER, S.B.; FEIL, B.; JAMPATONG, S. & STAMP, P. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agri. Water Manag.*, 81:41-58, 2006.

MOURAD, A.L.; AMBROGI, V.S. & GUERRA, S.M.G. Potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., Campinas, 2004. Anais 5. Enc. Energ. Meio Rural, 2004.

MULLEN, C.A.; BOATENG, A.A.; GOLDBERG, N.M.; LIMA, I.M.; LAIRD, D.A. & HICKS, K.B. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 34:67-74, 2010.

NELSON, R. G. Resource assessment and removal analysis for corn stover and wheat straw in the eastern and Midwestern United States: Rainfall and wind-induced soil erosion methodology. *Biomass and Bioenergy* 22:349-363, 2002.

NEUMANN, M.; SANDINI, I.E.; LUSTOSA, S. B. C.; ROMANO, M. A.; FALBO, M. K. & PANSERA, R. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays L.*) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. *R. Bras. Milho e Sorgo*, 4:418-427, 2005.

NING, T.; ZHENG, Y.; HAN, H; JIANG, G. & LI, Z. Nitrogen uptake, biomass yield and quality of intercropped spring- and summer-sown maize at different nitrogen levels in the North China Plain. *Biomass and Bioenergy*, 47:91–98, 2012.

NOGUEIRA, L.A.H. & LORA, E.E.S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199p.

OBERNBERGER I. & THEK G. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior, *Biomass and Bioenergy*, 27:653-669, 2004.

OHLAND, R.A.A.; Souza, L.C.F.; Hernani, L.C.; Marchetti, M.E. & Gonçalves, M.C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. *Ci. E Agrotec.* 29:538-544, 2005.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A. & GHOSAL, G.K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*, 84:487-494, 2005.

PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.; GIROTTO, E. & MOREIRA, I.C.L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. *Ci. Rural*, 38:358-364, 2008.

PENARIOL F. G.; FORNASIERI FILHO D.; COICEV L.; BORDIN L. & FARINELLI R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. *R. Bras. Milho e Sorgo*, 2:52-60, 2003.

PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; ALBUQUERQUE, A.W.; SANTOS, J.R. & SILVA, E.T. Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. *R. Bras. Eng. Agri. Amb.* 12:69-74, 2008.

PEREIRA, J.L.A.; VON PINHO, R.G.V.; SOUZA FILHO, A.X.; SANTOS, A.O. & FONSECA, R.G. Avaliação de componentes estruturais da planta de híbridos de milho colhidos em diferentes estádios de maturação. R. Bras. Milho e Sorgo, 10:47-55, 2011.

PFAUMANN P. Biocombustibles ¿La fórmula mágica para las economías rurales de ALC? Departamento de Desarrollo Sostenible, Unidad de Desarrollo Rural Banco Interamericano de Desarrollo: BID. 2006.

PORDESIMO, L.O.; EDENS, W.C. & SOKHANSANJ, S. Distribution of aboveground biomass in corn stover. Biomass and Bioenergy, 26:337–343, 2004.

PROTÁSSIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F. & GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesq. Flor. Bras., 31:122-133, 2011.

PROTÁSSIO, T.P.; TONOLI, G.H.D.; GUIMARÃES JÚNIOR, M.; BUFALINO, L.; COUTO, A.M. & TRUGILHO, P.F.. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. Cerne, 18:433-439, 2012.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S. & AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. R. da Madeira, 89:100-106, 2005.

QUIRINO, W.F. Utilização energética de resíduos vegetais. 1.ed. Brasília, IBAMA-Laboratório de Produtos Florestais, 2003. 31p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>, 2005.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (Boletim Técnico, 100). 2.ed. Campinas, IAC, 1997. 285p.

RESENDE, S.G.; VON PINHO, R.G. & VASCONCELOS, R.C. Influencia do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. R. Bras. Milho e Sorgo, 2:34-42, 2003.

SACHS, I. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde. Estud. av. 19:196-214, 2005.

SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C.; MELO, A.V.; ADRIANO, R.C.; FIDELIS, R.R. & CORRÊA, M.L.P. Rev. Bra. de Milho e Sorgo, 10:29-37, 2011.

SCHARF, P.C.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DAVIS, J.G.; HUBBARD, V.C. & LORY, J.A. Fiels-Scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. Agro. Jour. 97:452-461, 2005.

SCHIMIDT, J.P.; HONG, N.; DELLINGER, A.E.; BEEGLE, D.B. & LIN, H. Hillslope variability in corn response to nitrogen linked to in-season soil moisture redistribution. Agro. Jour. 99:229-237, 2007.

SHAFIZADEH, F. Basic principles of direct combustion. In: Sofer, S. S.; Zabrosky, O. R. (Ed.). Biomass conversion process for energy and fuels. New York, Plenum, 1981. p. 103-112.

SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E. & SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. R. Bras. Ci. Solo, 29:353-362, 2005.

SILVA, F. C da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 370 p.

SIMILI, F.F.; REIS, R.A.; FURLAN, B.N.; PAZ, C.C.P.; LIMA, M.L.P. & BELLINGIERI, P.A. Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica. Ciênc. Agrotec., 32:474-480, 2008.

SOKHANSANJ, S.; KUMAR, A. & TURHOLLOW, A.F. Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL). Biomass and Bioenergy, 30:838-847, 2006.

SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; ALVES T.S.; FEDATTO, E.; ZANON, G.D. & HASEGAWA, E.K.B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. R. Bras. de Milho e Sorgo, 3:55-62, 2003.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A.A. & ENDRIGO, P.C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entre linhas depende do híbrido e da densidade de plantas. Ci. Ru., 37:634-642, 2007.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; ENDRIGO, P.C. & JANDREY, D.B. Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. Pesq. Agrop. Bras., 43:309-317, 2008.

SWOBODA, R. Interest grows in narrow corn. Wallaces Farmer, 121:6-7, 1996.

THIRAPORN, R.; FEIL, B. & STAMP, P. Effect of nitrogen fertilization on grain yield and accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in the grains of tropical maize. J. Agr. Cro. Sci., 169:9-16, 1992.

TORRES, J.L.R. & PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 32:1609-1618, 2008.

VALDEZ-VAZQUEZ, I.; ACEVEDO-BENÍTEZ, J.A. & HERNANDEZ-SANTIAGO, C. Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. Renew. Sust. Energ. Rev., 14:2147-2153, 2010.

VARVEL, G.E. & WILHELM, W.W. Corn Cob Biomass Production in the Western Corn Belt. Bioenergy Research, 1:223-228, 2008.

VELOSO, M.E.C.; DUARTE, S.N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E.C. & PEREIRA, C.R.. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. R. Bras. Milho e Sorgo, 8:13-25, 2009.

VON PINHO R.G.; GROSS M.R.; STEOLA A.G. & MENDES M.C. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na região sudeste do Tocantins. Bragantia, 67:733-739, 2008.

VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J.L.A.R. & REIS, M.C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. R. Bras. Milho e Sorgo, 8: 157-173, 2009.

WILHELM, W.W.; JOHNSON, J.M.F.; HATFIELD, J.L.; VOORHEES, W.B. & LINDEN, D.R. Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. Agro. Jour. 96:1-17, 2004.

WPP. World Population Prospects: The 2010 Revision. Disponível em: <<http://esa.un.org/wpp>>. Acesso em 12 ago. 2012.

WTO – World Trade Organization. Trade policies review. Disponível em: <<http://www.wto.org>>. Acesso em 12 ago. 2012.

ANEXOS

Anexo 1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA	
	Grãos
Espaçamento	ns
Doses de N	**
E x D	ns
Média	9719,8
Coef. Var. (%)	46,8

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

Anexo 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA SECA DO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA E SABUGO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA			
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo
Espaçamento	*	*	ns
Doses de N	**	**	**
E x D	ns	ns	ns
Média	7380,9	718,8	1198,5
Coef. Var. (%)	16,7	23,6	36,8

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

Anexo 3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE NUTRIENTES DO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA, SABUGO E GRÃOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
		----- N -----		
Espaçamento	ns	ns	ns	ns
Doses de N	*	*	**	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	8,6	8,1	10,3	138,0
Coef. Var. (%)	7,7	4,3	26,7	51,6

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- P -----			
Espaçamento	**	ns	ns	ns
Doses de N	**	**	**	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	0,5	0,4	0,3	2,1
Coef. Var. (%)	56,7	37,8	41,8	4,5
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- K -----			
Espaçamento	*	ns	ns	ns
Doses de N	**	**	**	*
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	12,36	5,72	5,95	4,17
Coef. Var. (%)	16,97	10,93	8,53	6,06
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- Ca -----			
Espaçamento	ns	ns	ns	ns
Doses de N	**	*	**	ns
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	1,3	0,4	0,6	0,3
Coef. Var. (%)	27,2	7,2	40,4	15,1
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- Mg -----			
Espaçamento	ns	ns	**	ns
Doses de N	ns	**	**	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	2,1	1,6	1,1	1,2
Coef. Var. (%)	8,9	9,9	43,1	16,5
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

Anexo 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA, SABUGO E GRÃOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- N -----			
Espaçamento	ns	ns	ns	ns
Doses de N	**	**	**	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	63,95	5,73	10,29	137,99
Coef. Var. (%)	22,92	20,68	26,74	51,61
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- P -----			
Espaçamento	**	ns	ns	ns
Doses de N	**	ns	ns	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	3,25	0,27	0,31	19,04
Coef. Var. (%)	34,93	20,68	10,78	43,48
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- K -----			
Espaçamento	ns	ns	ns	ns
Doses de N	ns	**	**	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	89,2	4,0	7,0	38,5
Coef. Var. (%)	9,1	13,7	30,0	44,5
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- Ca -----			
Espaçamento	ns	*	ns	ns
Doses de N	**	**	ns	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	9,9	0,3	0,7	2,3
Coef. Var. (%)	40,6	30,3	15,5	44,4
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

ANOVA				
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo	Grãos
	----- Mg -----			
Espaçamento	ns	ns	ns	ns
Doses de N	**	**	ns	**
E x D	ns	ns	ns	ns
Média	15,4	1,2	1,2	10,5
Coef. Var. (%)	18,7	32,9	11,7	31,1
ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade				

Anexo 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE CARBONO E HIDROGÊNIO DO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA E SABUGO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA			
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo
	----- C -----		
Espaçamento	ns	ns	ns
Doses de N	**	**	**
E x D	ns	ns	ns
Média	41,5	41,5	42,6
Coef. Var. (%)	1,2	0,6	0,8

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

ANOVA			
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo
	----- H -----		
Espaçamento	ns	ns	ns
Doses de N	ns	ns	ns
E x D	ns	ns	ns
Média	4,04	3,81	4,1
Coef. Var. (%)	1,36	1,38	0,75

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

Anexo 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E INFERIOR (PCI) DO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA E SABUGO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA			
PCS			
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo
Espaçamento	ns	ns	ns
Doses de N	**	ns	**
E x D	ns	ns	ns
Média	4230,4	4321,2	4507,5
Coef. Var. (%)	1,9	0,6	0,5

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

ANOVA			
PCI			
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo
Espaçamento	ns	ns	ns
Doses de N	**	ns	**
E x D	ns	ns	ns
Média	4012,2	4115,6	4286,3
Coef. Var. (%)	2,0	0,6	0,6

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

Anexo 7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO POTENCIAL BIOENERGÉTICO DO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA E SABUGO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

ANOVA			
	Colmo + folha	Palha da espiga	Sabugo
Espaçamento	*	*	ns
Doses de N	**	**	**
E x D	ns	ns	ns
Média	7280,8	723,3	1258,3
Coef. Var. (%)	18,2	24,2	37,2

ns = não significativa; (**) 1% e (*) 5% de probabilidade

Anexo 8 - ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE O PODER CALORÍFICO SUPERIOR E O TEOR DE CARBONO, HIDROGÊNIO E NITROGÊNIO NO COLMO + FOLHA, PALHA DA ESPIGA E SABUGO EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS E DOSES DE NITROGÊNIO.

CORRELAÇÃO			
Colmo + folha			
	C	H	N
PCS	0,6206	-0,128	0,3732
Palha da espiga			
	C	H	N
PCS	0,0662	0,0364	0,0588
Sabugo			
	C	H	N
PCS	0,5984	-0,15	-0,445