

Avaliação Energética da Biomassa de Cana-de-Açúcar em Diferentes Indústrias Sucroenergéticas

Stella F. A. Oliveira, Deborah D. Brunelli, José E. Gonçalves, Yzel R. Suárez & Clauber Rodrigues

O objetivo deste estudo é a avaliar o potencial energético do bagaço de cana para gerar eletricidade. Através da análise estatística de PCU, observou-se uma diferença significativa entre os grupos analisados ($F = 3,71$, $p = 0,008$). No entanto, não foi verificada diferença entre as plantas ($F = 0,15$, $p = 0,700$). Comparando-se os grupos pelo teste de Tukey, pode-se concluir que o grupo A1 é estatisticamente diferente de A2 ($p = 0,039$) e A5 ($p = 0,028$). O grupo A1 foi a amostra mais viável para a geração de energia elétrica, uma vez que apresentou o maior PCU. Todos os grupos da planta B são iguais.

Palavras-chave: *bioenergia; bagaço; poder calorífico.*

The objective of this study is the evaluation of the energy potential of sugarcane bagasse to generate electricity. Through the statistical analysis of PCU, it was observed a significant difference between the analyzed groups ($F = 3.71$, $p = 0.008$). However it was verified no difference between plants ($F = 0.15$, $p = 0.700$). Comparing the groups by Tukey test, it can conclude that the group A1 is statistically different from A2 ($p = 0,039$) and A5 ($p = 0,028$). The group A1 was the most viable sample for electricity generation, since it presented the highest PCU. All groups of the plant B were equal.

Keywords: *bioenergy; bagasse; calorific value.*

Introdução

A ideia do aproveitamento da cana-de-açúcar como planta energética, ao invés de apenas como fonte de sacarose, surgiu no final da década de 70 do século passado nos EUA, em razão da crise do petróleo^{1,2}. Demonstrou-se, àquela época, que, além da utilização para a produção de etanol combustível, como estava fazendo o Brasil, devia se considerar a cana-de-açúcar como grande produtora de biomassa, pois até então apenas o colmo era o alvo e, deste, apenas a sacarose².

O bagaço consiste em uma matéria orgânica vegetal rica em polissacarídeos (açúcares complexos), como a celulose e a hemicelulose, compostos comumente encontrados nas paredes celulares das células vegetais. Também está contida nessa massa orgânica a lignina (biomassa lignocelulósica). Esses três materiais juntos compõem mais de 75% da biomassa vegetal e conferem resistência mecânica à planta. O restante da biomassa é composto por substâncias como proteínas, óleos vegetais e minerais³. Se a fibra passasse a ser o composto carbônico mais importante, haveria possibilidade de se incrementar a produtividade em maior grau do que com a cana tradicional, ainda que às custas da diminuição da produção de sacarose^{2,4}. Esse novo tipo de cana foi cunhado como cana-energia (*energy cane*) na Louisiana e em Porto Rico, onde foram realizados os primeiros trabalhos de melhoramentos dirigidos para esse fim^{4,5}.

Atualmente, a tendência é o desenvolvimento de espécies de cana-de-açúcar que apresentem maior conteúdo de fibra em relação ao de sacarose, com o objetivo de aumentar a produtividade de biomassa, diminuindo a necessidade de recursos e de mão-de-obra⁶.

O melhoramento genético da cana-de-açúcar é, portanto, um novo divisor de águas neste início de século. Enquanto, durante 100 anos, buscou-se maior produtividade na produção de açúcar, agora as novas variedades estão direcionadas para alta produtividade de fibra. A vantagem de se produzir mais fibra em detrimento do açúcar é que as plantas serão mais rústicas, o que traz uma série de vantagens econômicas e ambientais. As plantas serão menos exigentes em solo, clima, água

e nutrientes e mais resistentes a pragas e doenças, daí resultando maior eficiência energética no seu cultivo, ou seja, maior unidade de energia produzida por energia gasta, quando se considera toda a cadeia. Este é um parâmetro essencial e finalista que determinará as opções energéticas a serem consideradas, visto que a preservação ambiental e a sustentabilidade, necessariamente, terão que permear o processo^{7,8}.

O bagaço passou a ser uma importante fonte de energia (vapor) para o processo de produção de açúcar em substituição à tradicional lenha. Posteriormente, aplicou-se o bagaço na geração da eletricidade necessária no processo de produção de etanol e sacarose e, seguindo com a evolução, passou-se a produzir excedente de eletricidade para ser direcionado a rede pública^{9,10}. Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação energética de biomassa do bagaço de cana-de-açúcar, de forma comparativa entre duas indústrias sucroenergéticas. Para tanto, a biomassa da cana-de-açúcar foi avaliada quanto ao teor de umidade, cinzas, combustibilidade, poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI), poder calorífico útil (PCU), propondo, assim, comparações quanto aos diferentes comportamentos existentes entre as duas indústrias avaliadas.

Metodologia

COLETA DE AMOSTRAS

Foram coletadas amostras de biomassa – bagaço de cana-de-açúcar – em duas indústrias sucroenergéticas localizadas na região sul de Mato Grosso do Sul, sendo que as amostras utilizadas foram blendas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. Em cada ponto de coleta, foram obtidas 3 amostras de 500 g cada, sendo 1,5 kg por ponto de coleta. As amostras foram coletadas a uma profundidade de 50 cm da superfície, com distância entre os pontos de 100 metros.

Vale salientar que, tanto os pontos de coleta da usina aqui identificada como A, como os pontos da usina identificada como B, são semelhantes no que diz respeito à estrutura de cada operação unitária das usinas. Os pontos de coleta das usinas A e B são apresentados nas Figuras 1 e 2. As usinas diferenciam-se quanto à moagem, no que se refere à quantidade de ternos existentes, sendo quatro ternos na indústria A e seis ternos na B.

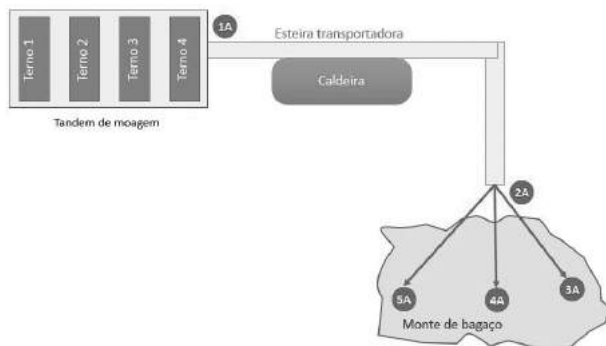


Figura 1. Esquema detalhado dos pontos de coleta da usina A.

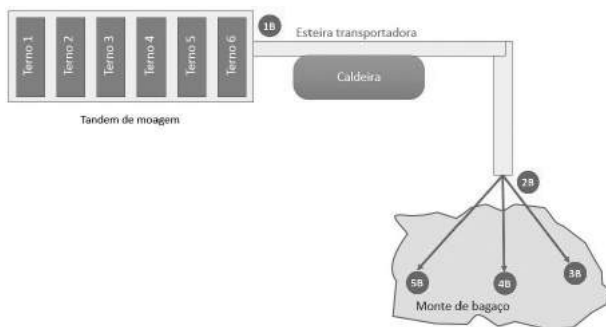


Figura 2. Esquema detalhado dos pontos de coleta da usina B.

A Figura 3 apresenta o fluxograma das etapas do trabalho.

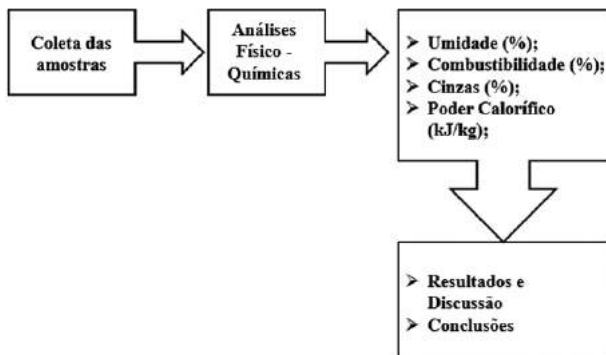


Figura 3. Fluxograma de sintetização do trabalho

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

A determinação do teor de umidade foi realizada na FATEC SENAI Dourados. O teor de umidade, a base úmida de todas as amostras, foi determinado realizando a secagem das amostras em estufa de circulação forçada, marca Quimis, a 105°C, por um período de tempo de 4h30 até que a massa permanecesse constante. As amostras foram pesadas, aproximadamente 3g, utilizando-se de uma balança analítica marca Shimadzu. Após o processo de secagem, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente em dessecadores e pesadas novamente. Utilizou-se para o cálculo do teor de umidade a Equação 1:

$$\%u = \frac{(\mu - m_s)100}{\mu} \quad (1)$$

Onde: μ é a massa (g) de matéria úmida, m_s é a massa (g) de matéria seca e u é a umidade (%).

DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE COMBUSTIBILIDADE E CINZAS

A determinação dos teores de combustibilidade e cinzas foi realizada no laboratório de análises físico-químicas da FATEC SENAI Dourados. A determinação destas propriedades é imprescindível para a caracterização dos resíduos. O teor de combustíveis e o teor de cinzas (ou inertes) fornecem informações aproximadas da combustibilidade dos resíduos. O método foi adaptado do Guia de Prática de Análise Imediata de Combustíveis Sólidos¹¹, utilizando-se o procedimento descrito a seguir.

Inicialmente, os cadinhos foram secos em estufa modelo Quimis a 105°C, por 1 h. Em seguida, as amostras foram pesadas, e carbonizadas em cadinhos de porcelana a 600°C por 4 h em mufla. As amostras foram resfriadas à temperatura ambiente em dessecadores e pesadas novamente.

O teor de combustíveis foi calculado pela Equação 2:

$$TC = \frac{c - d}{c} \times 100 \quad (2)$$



Onde TC é o teor de combustíveis (%), c é o peso da amostra antes da queima (g), d é o peso da amostra após a queima (g).

O teor de cinzas é obtido pela Equação 3:

$$TCZ=100-TC \quad (3)$$

Onde TCZ é o teor de cinzas (%) e TC é o teor de combustíveis em porcentagem.

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DE PCS

As análises de poder calorífico superior (PCS) foram realizadas na Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, Campus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) - Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos. Para a análise do PCS, seguiu-se a norma ABNT – NBR 8633/84. Esta norma prescreve o método de determinação do poder calorífico superior a um volume constante, em calorimétrico adiabático, isotérmico ou estático.

Primeiramente, foi realizada a calibração do aparelho utilizado. O processo de calibração é importante, e pode ser realizado a partir do PCS de materiais de referência. Para o presente estudo, foram realizadas pastilhas de ácido benzoico que possuem PCS conhecido 6.318 cal.g-1. A pastilha de ácido benzoico foi colocada em um cadinho de aço inox e amarrada a um fio de níquel de 0.3 mm e aproximadamente 10 cm de comprimento. As extremidades do fio foram fixadas aos contatos elétricos que contêm as válvulas de entrada e saída de gases. Colocou-se esta peça na abertura da bomba sobre anéis de vedação e a bomba foi fechada com uma tampa vazada para permitir o acesso às válvulas e contato elétrico.

Adicionaram-se 2.700 mL de água destilada e oxigênio a uma pressão de 150 psi no interior da bomba, quantidade suficiente para a combustão completa da amostra. O calorímetro foi ligado e, então, deixado sob agitação até a verificação da estabilização térmica. Após a estabilização da temperatura, a ignição foi realizada. Verificou-se a variação da temperatura da água adicionada ao calorímetro antes e após a ignição, ou seja, antes e após a combustão da amostra.

O calorímetro tem como unidade de calor cal/g,

optou-se em transformar em kJ/kg. A constante K da máquina utilizada foi determinada com ácido benzoico, sabendo-se previamente que o PCS do ácido benzoico é de 6.318 cal. g-1e o valor obtido de K foi de 413.1228 cal/°C.

A partir da Equação 4, calculou-se a constante do calorímetro (K), conhecendo-se o poder calorífico superior (PCS) do ácido benzoico 6.318 cal. g-1.

$$PCS = \frac{(K+V_{H_2O}) \times \Delta T}{ms} \quad (4)$$

Onde PCS é o poder calorífico superior (cal/g), K é a constante do equipamento 413.1228 (cal/°C), V_{H_2O} é 2700 (mL), ΔT é a diferença de temperatura (°C) e ms é a massa seca (g).

MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO PCI E PCU

Para o cálculo do poder calorífico inferior foi estabelecida uma média de porcentagem de hidrogênio (H) igual a 6,0. Justifica-se esta média pela composição química de resíduos lignocelulósicos que apresentam porcentagens de hidrogênio entre 5,5 e 6,5, com algumas exceções ultrapassando os 6,5 de H.

O poder calorífico inferior (PCI) e o poder calorífico útil (PCU), foram determinados, segundo Brito (1993), pelas Equações 5 e 6:

$$PCI = PCS - 600 (9H/100) \quad (5)$$

$$PCU = PCI \left[\frac{(100-u)}{100} \right] - 6u \quad (6)$$

Onde PCS é o poder calorífico superior, determinado através de bomba calorimétrica (cal/g), PCI é o poder calorífico inferior (cal/g), PCU é o poder calorífico útil (cal/g), H é o teor de hidrogênio (%) e u é a umidade do material (%). Para o cálculo do poder calorífico útil (PCU), foram considerados os teores médios de umidade correspondentes a cada amostra coletada.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores de poderes caloríficos (PCS, PCI e PCU) das amostras obtidas nas usinas A e B foram submetidos, por meio do programa SYSTAT 12, à análise de variância *two-way* (ANOVA), testando a influência da usina e dos grupos, com teste de Tukey a posteriori¹².

Resultados e Discussão

Teor de umidade: os teores médios de umidade das amostras coletadas nas usinas A e B são apresentados na Figura 4.

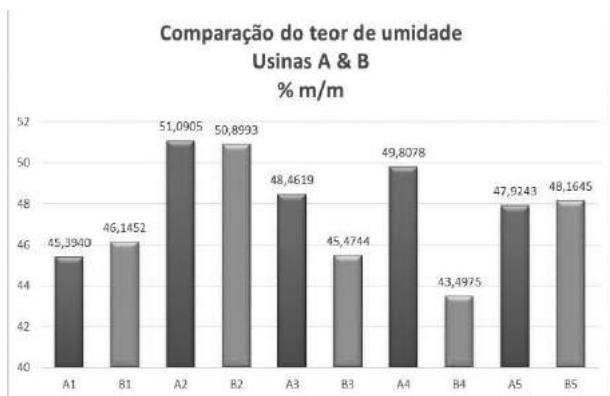


Figura 4. Comparação dos teores de umidade (%m/m) das amostras coletadas nas usinas A e B.

Para a geração de energia elétrica, dois fatores são extremamente significativos na biomassa: umidade e composição química das amostras a serem degradadas termicamente. Se comparados os resultados da análise do teor de umidade das duas usinas, observa-se que a indústria sucroenergética que apresentou melhores condições quanto ao teor de umidade para geração bioeletricidade, foi a usina B, mesmo essa tendo apresentado o resultado do teor de umidade superior à usina A para as amostras B1 e B5, observa-se que nas demais amostras ela encontrou-se com valores inferiores. A amostra B4 apresentou o valor mais significativo para fins energéticos.

DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE COMBUSTIBILIDADE E CINZAS

Os teores de combustibilidade e cinzas são mostrados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

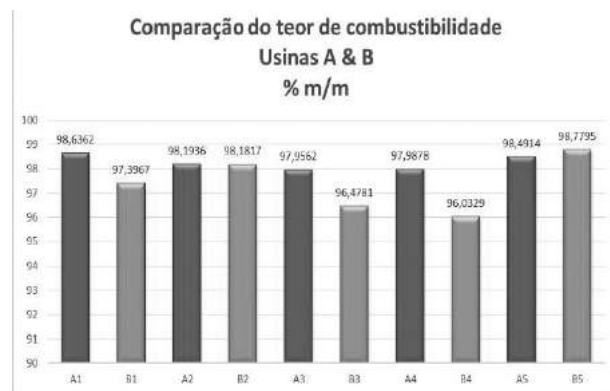


Figura 5. Comparação dos teores de combustibilidade (%m/m) das amostras coletadas nas usinas A e B.



Figura 6. Comparação dos teores de cinzas (%m/m) das amostras coletadas nas usinas A e B.

O teor de combustíveis é um índice importante para a geração de bioenergia, pois indica o potencial de geração de calor de cada material. Já o teor de cinzas corresponde à porcentagem de material inerte na geração de calor presente na amostra¹². Visto ser desejável que, após a queima do bagaço, haja a menor quantidade de resíduos possível, indicando que grande parte do material foi utilizada na geração de calor, sobrando apenas as cinzas, verificou-se que a amostra com menor porcentagem de

cinzas foi a identificada como B5 (1,2205 %), ou seja, apresentou o maior teor de combustível. Dessa forma, o comportamento do teor de cinzas é inversamente proporcional ao encontrado no teor de combustíveis.

Para a geração de bioenergia, um dos fatores imprescindíveis a ser considerado é o teor de cinzas, que quanto menor, mais favorável a amostra se torna para tal fim. Sendo assim, observou-se que as duas amostras mais favoráveis à geração de energia, foram as amostras A1 e B5. Porém, quando comparadas, a amostra A1 – recém moída – torna-se a mais significativa na geração de energia, por manter sua integridade elementar contrapondo-se à B5 – monte velho – que entrou em processo de decomposição por ser proveniente da safra anterior.

PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), INFERIOR (PCI) E ÚTIL (PCU)

Os valores de PCS, PCI e PCU das amostras coletadas nas usinas A e B são apresentados nas Figuras 7 e 8.

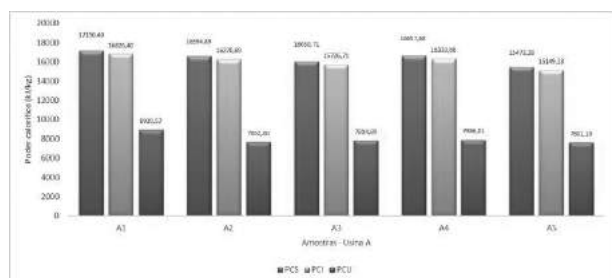


Figura 7. Poder calorífico superior, inferior e útil das amostras – usina A

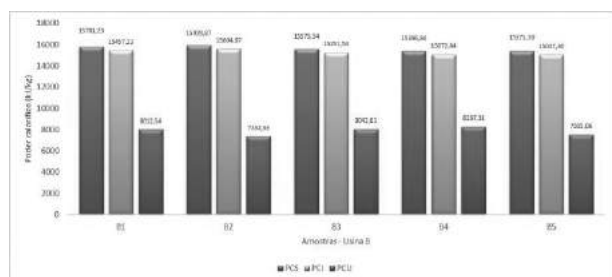


Figura 8. Poder calorífico superior, inferior e útil das amostras – usina B

As análises de poder calorífico superior, inferior e útil fundamentam-se na NBR- ABNT 8633/84, que permite a determinação da energia liberada na combustão completa de um combustível. Entretanto, vale salientar que o resultado de um PC é subsequente ao outro, ou seja, para o cálculo do poder calorífico inferior, é necessário o valor de poder calorífico superior e para calcular o poder calorífico útil, necessita-se do valor do poder calorífico inferior – PCS → PCI → PCU, na unidade de kJ/kg.

Pode-se observar que a amostra A1 apresentou o maior valor de poder calorífico superior (17150,40 kJ/kg). Supõe-se que nesta amostra não houve o início da decomposição das partes constituintes do bagaço, que é matéria orgânica vegetal rica em polissacarídeos (açúcares complexos), como a celulose e a hemicelulose, compostos comumente encontrados nas paredes celulares das células vegetais. Também está contida nessa massa orgânica a lignina (biomassa lignocelulósica). Esses três materiais juntos compõem mais de 75% da biomassa vegetal.

As amostras A1 e A4 apresentaram os maiores valores, tanto para o PCS (17150,40 e 16657,68 kJ/kg) como para o PCI (16826,40 e 16333,68 kJ/kg) e quando considerado o PCU (8920,57 e 7886,01 kJ/kg) elas também foram as que mais se destacaram. As amostras que apresentarem os menores índices de umidade, irão apresentar os maiores valores de PCU¹². Considerando as amostras da usina B, os melhores resultados foram observados para as amostras B1 e B2, tanto para PCS como para PCI que foram, respectivamente de 15781,23 e 15457,23 kJ/kg e 15928,87 e 15604,87 kJ/kg. Quando considerado o PCU, as amostras que apresentaram maiores valores foram B4 e B3: 8267,31 e 8042,81 kJ/kg.

Segundo Gonçalves (2010)¹² e Silva & Moraes (2008)¹³, que estudaram a influência da umidade no poder calorífico superior, há um considerável acréscimo desse com a diminuição da umidade. Se há uma diminuição da umidade de 50% para 0%, observa-se um incremento energético da ordem de 92%, sendo que 60% são atingidos com a redução



da umidade para 20%. Segundo estes autores, o bagaço de cana-de-açúcar com umidade em torno de 20% é mais viável para o aproveitamento energético.

Portanto, as amostras que demonstraram maior viabilidade para geração de energia em ambas as indústrias sucroenergéticas são as dos pontos de coleta A1 e B4, sendo a primeira coletada no último terço de moagem e a segunda, no monte excedente.

A redução do PCS do bagaço envelhecido das amostras A5 (15473,28 kJ/kg) e B5 (15371,30 kJ/kg), em relação ao bagaço recém-moído A1 (17150,40 kJ/kg) e B1 (15781,23 kJ/kg), está relacionada com a deslignificação da fibra e consequente decomposição da hemicelulose durante a estocagem. O bagaço mais velho apresentou maior perda do poder calorífico, esses valores foram obtidos pela média de cada uma das três amostras do ponto de coleta. O desvio padrão aumenta com o tempo de exposição do bagaço aos microrganismos e, devido à homogeneidade desse, que também diminui com o passar do tempo.

Os resultados obtidos no presente trabalho são coerentes com aqueles obtidos por Gonçalves (2010)¹², nos quais a redução de poder calorífico foi evidenciada quando comparado o poder calorífico superior com o poder calorífico útil, comprovando a importância do teor de umidade de cada amostra. A umidade está totalmente relacionada com o poder calorífico, como pode ser constatado nas Figuras 7 e 8. No qual aponta que quanto maior o teor de umidade, menor será o poder calorífico útil - mais importante entre os três resultados. A ordem decrescente dos valores de umidade é de: A2> A4> A3> A5> A1 e a ordem decrescente do poder calorífico útil foi A1> A4> A3> A2> A5>. Observa-se que os valores de umidade e poder calorífico útil são coerentes para as amostras A4 e A3, no entanto, para as demais, a quantidade de cinzas e combustibilidade interferem na associação.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores médios de PCS, PCI e PCU são apresentados na Tabela 1 e na Figura 9.

Tabela 1. Valores médios de PCS, PCI e PCU de todos os tratamentos.

Amostras	Média de PCS (kJ/kg)	Média de PCI (kJ/kg)	Média de PCU (kJ/kg)
A1	17150,40	16826,40	8920,57a
A2	16594,89	16270,89	7652,60b
A3	16050,71	15726,71	7814,89ab
A4	16657,68	16333,68	7886,01ab
A5	15473,28	15149,28	7601,10b
B1	15781,23	15457,23	8012,54c
B2	15928,87	15604,87	7352,53c
B3	15575,54	15251,54	8042,81c
B4	15396,84	15072,84	8267,31c
B5	15371,30	15047,30	7505,06c

* As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey.

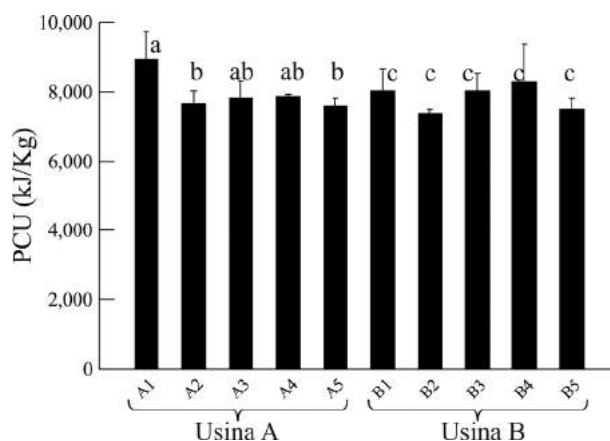


Figura 9. Resultado da análise estatística para os dados de poder calorífico útil.

A partir dos dados estatísticos, obtidos para a análise da PCU entre usinas e entre grupos, constatou-se que: o modelo gerado explica 60,4% da variação nos dados. Existe diferença significativa entre os grupos analisados ($F=3,71$; $p=0,008$), mas não existe diferença entre as usinas ($F=0,15$; $p=0,700$), comparando os grupos pelo teste de Tukey, observou-



se que o grupo A1 se diferencia estatisticamente do grupo A2 ($p=0,039$) e do A5 ($p=0,028$) e na usina B, os grupos são iguais, conforme apresentado na Figura 9.

Na média, as usinas são iguais, contudo, o grupo A1 apresenta maior PCU que os demais desta usina (Fig. 9). Em relação à usina B, todos os grupos são iguais. Conclui-se, portanto, que o grupo 1 da usina A foi o que apresentou maior PCU.

Em geral, é aproveitada apenas uma fração modesta do potencial de uma fonte de energia que tem qualidades indiscutíveis: (a) baixo custo operacional, pois o bagaço é produzido no mesmo ambiente físico das fornalhas, caldeiras e geradores; (b) alta qualidade energética, porque, de modo geral, a unidade geradora está próxima dos centros de consumo; (c) baixo custo de transmissão, porque as distâncias para a instalação das linhas conectoras são curtas e têm baixo nível de perda de carga e (e) grande atrativo ambiental, pois é possível gerar uma enorme quantidade adicional de energia elétrica com a queima da mesma quantidade de bagaço que já está sendo queimado atualmente.

Considerando apenas o bagaço, seria possível gerar 85,6 kWh de energia de exportação, utilizando caldeira de 65 bar. Supondo a utilização de 75% do bagaço disponível em 2012/13 e 50% da palha disponível no mesmo ano, uma tonelada de cana poderia gerar 210 kWh para exportação. Finalmente, uma tonelada de bagaço gera 342,4 kWh para exportação enquanto que uma tonelada de palha gera 500 kWh em função da menor umidade¹⁴.

A energia da cana é dividida em três partes: 1/3 da energia está no caldo, que fabrica açúcar e álcool; 1/3 da energia são folhas e pontas e 1/3 da energia é bagaço. Uma tonelada de cana contém de 250 a 275 kg de bagaço, sendo que 1 kg de bagaço gera 2 kg de vapor e, para a geração de 1 kW, são necessários 10 kg de vapor (BALBO, 2013). Considerando-se estes dados, pode-se calcular a capacidade de geração de energia elétrica da amostra A1, que pela análise estatística dos resultados de PCU, foi a melhor. O valor determinado de PCU para a amostra A1 foi de 8920,57 kJ/kg. Este valor gera 2,47 kWh de energia elétrica, convertendo a tonelada gerou o montante de 2470 kWh, em TWh representa 24700 kg/vapor.

Na usina B, a amostra B1, quando considerada

a média do PCU de 8012,54 kJ/kg e as conversões a kWh, gerou uma quantidade de energia inferior 10,17% quando comparada à usina A.

Conclusões

A análise do teor de umidade permitiu concluir que a indústria sucroenergética A, que possui quatro ternos de moagem, apresentou maior eficiência na extração da fase líquida, quando comparada com a usina B que possui seis ternos de moagem. Esta superioridade na extração identificada na amostra da usina A, deve-se a vários fatores como: velocidade e pressão aplicada pelos rolos de cada terno, altura da cama do bagaço, largura da moenda e principalmente ao processo de embebição composta, com adição de água do último terno para os anteriores, com exceção do primeiro terno. O teor de combustíveis é um índice importante para a avaliação da geração de bioenergia, pois indica o potencial de geração de calor de cada material. Já o teor de cinzas corresponde à porcentagem de material inerte na geração de calor presente na amostra. Sendo assim, observou-se que as duas amostras mais favoráveis à geração de energia, foram as amostras A1 e B5.

A partir da análise estatística dos resultados de PCU, conclui-se que existe diferença significativa entre os grupos analisados ($F=3,71$; $p=0,008$), mas não existe diferença entre as usinas ($F=0,15$; $p=0,700$). Comparando-se os grupos pelo teste de Tukey, conclui-se que o grupo A1 se diferencia estatisticamente do grupo A2 ($p=0,039$) e do A5 ($p=0,028$). Na usina B, os grupos são iguais. O grupo A1 apresentou o maior PCU, sendo a amostra mais viável para a geração de bioeletricidade. A partir do resultado de PCU, conclui-se que 1 tonelada de bagaço de cana-de-açúcar coletado na saída do último terno de moagem pode gerar 2,47 kWh de energia elétrica.

Conclui-se, com esse trabalho, que um fator importante a ser reavaliado, é a operação unitária de limpeza da cana a seco, pois a sua ineficiência foi identificada através dos altos valores de teor de cinzas.

Outros trabalhos poderão ser realizados para avaliar o custo e a viabilidade econômica da implementação do gerenciamento do resíduo gerado (bagaço) pelas usinas sucroenergéticas.

Referências

1. Bischoff, K.P.; Gravois, K.A.; Eagan, T.E.; Hoy, J.W.; Kimbeng, C.A.; Laborde, C.M.; Hawkins, G.L.Registration of “L79-1002” sugarcane. *Journal of Plant Registrations*. 2008, 2:211-217
2. Alexander, A.G.The energy cane alternative. Amsterdam: Elsevier. 1985, 509p.
3. Soares, L. C. S. R. Destoxificação biológica do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar para utilização em processos fermentativos. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Microbiologia Aplicada) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.
4. Giamalva, M.J.; Clarke, S.J.; Stein, J.M.Sugarcane hybrids of biomass. *Biomass*. 1984, 6:61-68.
5. Samuels, G.; Alexander, A.G; Rios, C.E.; Garcia, H.The production of energy cane in Puerto Rico: The Hatillo Project. *Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists* 1984, 3: 14-17.
6. Santos, F.; Borém, A.; Caldas, C. 2012. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas. – 2. ed. rev. e ampl. – Viçosa, MG: Os Editores, 2011. 637p.
7. Johnson, J.M-F.; Coleman, M.D.; Gesh, R.; Jaradat, A.; Mitchell, R.; Reicosky, D.; Wilhelm, W.W. Biomass-bioenergy crops in the United States: a changing paradigm. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*. 2007, 1(1):1-28.
8. Hill, J.; Nelson, E.; Tilman, D.; Polasky, S.; Tiffany, D.Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Science*. 2006, 103(43):11206-11210.
9. Balbo, J.M.; Padovani neto, A.. Excedentes de energia elétrica e sobra de bagaço para diferentes concepções e sistemas de conversão e utilização de energia aplicáveis a indústria sucroalcooleira. *STAB, Açúcar, Alcool, e Subprodutos*. 1987, 692:52-58.
10. Campos, R.M.Valor econômico do bagaço. *Brasil Açúcar*. 1987, 55(105):20-24.
11. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais Guia de Prática de Análise Imediata de Combustíveis Sólidos. Curso de Engenharia Mecânica. 2014.
12. Gonçalves, J.E.2010. Avaliação energética e ambiental de bagaço de cana-de-açúcar produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. Botucatu, 2010.
13. Silva, M. B. e Morais, A. S. Avaliação Energética do Bagaço de Cana em Diferentes Níveis de Umidade e Graus de Compactação; XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção/ A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008, p. 3.
14. Nogueira, M. A. F. S.; Garcia, M. S.; Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – RGET*, e-ISSN 2236 1170 – v. 17n. 17 Dez 2013, p. 3275 – 3283.

Stella F. A. Oliveira^{*1},
Deborah D. Brunelli², José E.
Gonçalves³, Yzel R. Suárez³,
Clauber Rodrigues³.

¹ Fatec SENAI Dourados, Dourados/MS, CEP 79813-270, Brasil

² Instituto Tecnológico em Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP, CEP 12228-900, Brasil

³ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Campus de Glória de Dourados/MS, CEP 79830-000, Brasil

* E-mail stella@ms.senai.br