

## POSSÍVEL UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO COMO FONTE ENERGÉTICA<sup>1</sup>

IVAN FERNANDES DE SOUZA<sup>2</sup> & ASSUNTA MARIA MARQUES DA SILVA<sup>3</sup>

---

**RESUMO:** Estudou-se o potencial energético produzido pelo resíduo da última lagoa aeróbia, do efluente do Campus da UNESP em Botucatu, distrito de Rubião Junior, tratado através do sistema de lagoas de estabilização de esgoto sanitário. Com esse propósito, no resíduo sólido, foi analisado o potencial energético, através do poder calorífico e teores de metais. A qualidade do resíduo foi estudada no período de nove meses, com frequência mensal, dividida em duas estações predominantes, a chuvosa e a seca, com o objetivo de detectar possíveis alterações no comportamento do sistema. Os resultados obtidos mostraram que não houveram diferenças significativas entre os pontos de coleta, os períodos de seca e de chuva, também não produziram alterações significativas no comportamento do sistema. Os teores de metais (cádmio, cobalto, cobre ferro, níquel, chumbo e zinco) de maneira geral, os resultados obtidos, estiveram em conformidade com os padrões de lançamento exigidos pela legislação estadual e federal. No estudo do potencial energético do resíduo, o poder calorífico inferior (PCI), resultou em 13.547,78 kJ.kg<sup>-1</sup> para o resíduo seco e 10.568,53 kJ.kg<sup>-1</sup> para o resíduo úmido. Apresentou em média um potencial energético equivalente a 30% do poder calorífico da gasolina (38.465,36 kJ.kg<sup>-1</sup>) e semelhante ao eucalipto (13.813,80 kJ.kg<sup>-1</sup>) Comparativamente aos potenciais energéticos de alguns combustíveis como lenha, biogás, etanol e carvão, verifica-se que o potencial quantitativo energético do resíduo é relevante, evidenciando também a viabilidade de utilização.

**Palavras-chave:** Lagoas de estabilização, poder calorífico, metais pesados.

---

<sup>1</sup> Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: Caracterização da qualidade de efluente e a possível utilização do resíduo como fonte energética.

<sup>2</sup> Aluno do programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil, Departamento de Química e Bioquímica, Caixa Postal 510. CEP 18618-000. [isouza@fatecbt.edu.br](mailto:isouza@fatecbt.edu.br)

<sup>3</sup> Orientadora e docente do Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências, UNESP – Botucatu/SP – Brasil. [amsilva@ibb.unesp.br](mailto:amsilva@ibb.unesp.br)

## POSSIBLE USE OF STABILIZATIONS LAGOONS RESIDUE AS ENERGY SOURCE

**SUMMARY:** *The effluent quality from UNESP Campus in Botucatu, Rubião Junior district was studied. Such effluent is treated using the sanitary sewer stabilization lagoons system. On the solid residue, the energetic potential was assessed by means of calorific power and metal rates. The quality of the effluent treated and its residue were studied in a nine-month period monthly, in two predominant seasons, rainy and dry, aiming to detect possible changes in the system behavior. The results showed that there were no significant differences between the collect points, the dry and rainy periods, also did not produce significant changes in the system behavior. The results of the parameters and metals (cadmium, cobalt, copper, iron, nickel, lead and zinc) were obtained according to the release standards demanded by state and federal laws. In the residue energetic potential study, the inferior calorific power (PCI) resulted in 13.547,78 kJ.kg<sup>-1</sup> for dry residue and 10.568,53 kJ.kg<sup>-1</sup> for damp residue. It was presented, in average, an energetic potential equivalent to 30% of the gasoline calorific power (38.465,36 kJ.kg<sup>-1</sup>) and similar to eucalyptus (13.813,80 kJ.kg<sup>-1</sup>). Compared to the energetic potential of some fuels as timber, biogas, ethanol and coal, it can be verified that the biomass energetic quantitative potential (residue) is relevant, also proving the feasibility of its use.*

**Keywords:** *Stabilization lagoons, calorific power, heavy metals.*

## 1 INTRODUÇÃO

É inegável a necessidade de medidas de controle urgente dos agentes poluidores resultantes das atividades econômicas atuais, no sentido de assegurar, mecanismos que impeçam a ocorrência de prejuízos irreparáveis ao meio ambiente, adaptado e adequado a nossa realidade econômica e tecnológica (BRAILE ; CAVALCANTI, 1993).

Existem várias técnicas atualmente utilizadas para o tratamento de esgoto sanitário, desde as simples lagoas de estabilização aos sofisticados sistemas de lodos ativados, RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manto de lodo), FAFA (Filtros Anaeróbio de Fluxos Ascendentes) (NUVOLARI, A. , 2003).

Como a energia, é um setor estratégico para o desenvolvimento do país, a procura de energia alternativa para suprimento, proveniente da biomassa, que possa reduzir essa defasagem, é de grande interesse.

Na década de 40 a biomassa era responsável por cerca de 83% da oferta da energia interna do Bra-

sil, dos quais 81% da lenha e 2% do bagaço de cana, e com o uso crescente dos derivados de petróleo e o desenvolvimento da hidroeletricidade, foi diminuindo a participação da biomassa, chegando em 1996 a 21,4%, sendo 9,6% de lenha, 10,2% de produtos de cana (caldo de cana, melaço e bagaço) e 1,6% de lixívia e outros resíduos (CARVALHO; LUCAS, 2001).

A realidade energética atual, com base na crise energética de 2001, favoreceu o retorno das fontes alternativas de energia no setor energético nacional, com o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas (PROINFA), programa criado em 26 de Abril de 2002, para incentivar a geração de fontes alternativas como, por exemplo, a biomassa, pois prevê que em dez anos as fontes renováveis de energia representem 10% da capacidade instalada no Brasil (BRAILE ; CAVALCANTI, 1993).

Segundo Neiva (1980), Martins (1980) apud Queiroz ; Filho (2002), se mantidas as atuais taxas de crescimento industrial, associadas ao desenvolvimento das forças produtivas, as reservas fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo), se esgotarão nos próximos 50 a 100 anos, evidenciando a necessidade de se buscar novas fontes de energias renováveis.

O objetivo deste trabalho foi detectar o potencial energético do resíduo produzido pela última lagoa do efluente do Campus da UNESP em Botucatu, distrito de Rubião Junior, tratado através do sistema de lagoas de estabilização de esgoto sanitário. Para tanto, a qualidade do resíduo sólido, foi analisada através da determinação do poder calorífico inferior e o teor total de metais.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi realizado, no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu.

O sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização, localizado ao lado do Campus da Unesp de Rubião Junior, Botucatu – SP, com uma área total aproximada de 79.504,28 m<sup>2</sup>, sendo as áreas das lagoas de 47.849,56 m<sup>2</sup>, e a área da cortina vegetal de 31.654,72 m<sup>2</sup>, e composto por uma lagoa anaeróbica e duas lagoas facultativas, todas em concreto, Figura 1.



**Figura 1** - Vista da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” UNESP, distrito de Rubião Júnior. Botucatu – SP (acima e a direita, as lagoas de estabilização). Fonte: Dias, M. (2004).

As amostras foram coletadas na última lagoa facultativa (lagoa facultativa secundária), localizada no Câmpus da UNESP em Botucatu, nas proximidades dos pontos identificados R1 (resíduo do ponto de coleta P1) e R2 (resíduo do ponto de coleta P2) Figuras 2 e 3.



**Figura 2** - Vista do ponto de coleta R1 da lagoa facultativa secundária (ultima lagoa).

Da esquerda para a direita, plataforma com grade submersa e resíduo da borda.



**Figura 3** - Vista do ponto de coleta R2 da lagoa facultativa secundária (última lagoa). Da esquerda para a direita, plataforma com grade submersa e resíduo da borda.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2004), a estação chuvosa compreende o período de outubro a abril e a estação seca compreende o período de maio a setembro.

Vogel, A. et al. (1981), cita a técnica mais apropriada de amostragem para mistura sólida, interferências, método para separação e ou remoção da substância de interesse e análise quantitativa.

O poder calorífico superior (PCS) do resíduo sólido foi determinado através da bomba calorimétrica adiabática modelo Parr 1341 (CAMPOS, 1998).

O cálculo do (PCS), tanto para o resíduo seco, como para o resíduo úmido de acordo com (BRITO, 1986 apud TANAKA ; PORFÍRIO, 2002), foi realizado como a seguir;

$$PCS = \left[ \frac{M \cdot A \cdot \Delta T}{m} \right] - C \quad (1)$$

Onde:

PCS = Poder calorífico Superior em J.g-1 ou em kcal .kg-1 (kJ .kg-1. 4,186)

M = Massa de água colocada no aparelho (2000g)

A = Constante do aparelho = 2,44 J.(°C.g)-1

$\Delta T$  = Temperatura final (Tf) em °C, menos temperatura inicial (Ti) em °C.

m = Massa incinerada da amostra em gramas (g)

C = Calor de combustão do fio = 1400 cal.g-1 = 2,3 cal.cm-1 = 9,63 J.cm-1

Segundo Crockford ; Nowell (1961), cada mol de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) que se forma no calorímetro, contribui com 14.500 calorias (60.697 J).

Na determinação do poder calorífico inferior (PCI), foi quantificado de acordo com (DOAT, 1977 apud TANAKA ; PORFÍRIO, 2002).

$$PCI = PCS - (k_1 \cdot k_2 \cdot \%H_2 + \%S + \% \mu) \quad (2)$$

Onde:

PCI = Poder calorífico inferior kJ.kg<sup>-1</sup>;

PCS = Poder calorífico superior considerando a produção de ácido kJ.kg<sup>-1</sup>;

k<sub>1</sub> = 600 kcal ou 2.511,60 J (valor médio de energia absorvida por quilograma de água, para se atingir a temperatura de evaporação);

k<sub>2</sub> = 9 (múltiplo do peso de hidrogênio contido no composto orgânico, que fornece o peso da água formada durante a combustão);

%H<sub>2</sub> = Hidrogênio contido na amostra;

%S = Enxofre contido na amostra;

%μ = Umidade contida na amostra.

As determinações dos teores dos metais: Cádmiu (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Ferro (Fe), Niquel (Ni), e Zinco (Zn), foram realizadas através do espectrofotômetro de absorção atômica (AA – 6800 – Atomic Absorption Spectrophotometer, Shimadzu), interfaciado a um computador, onde o registro obtido no aparelho foi diretamente proporcional à quantidade de emissão atômica produzida pelo metal na amostra (CAMPOS, 2001).

De acordo com as curvas de referências obtidas, foram calculados os teores dos metais, conforme equação (12), tanto para efluentes como para resíduos:

$$C = \left[ \frac{(A - k_0)}{F \cdot k_1} \right] \quad (3)$$

Onde:

C = concentração do metal em (mg.L<sup>-1</sup>) ou em (μg.L<sup>-1</sup>) = X;

A = absorvância = Y;

F = fator de diluição.

k<sub>0</sub> e k<sub>1</sub> = coeficientes linear e angular da equação;

O estudo da umidade dos resíduos nos pontos de coleta segundo as variáveis PCS, PCSQH e PCI foi realizado por meio do teste (t Student) para amostras pareadas.

Em relação a comparação dos pontos de coletas para as variáveis Co, Ni e Pb procedimento semelhante ao anterior foi adotado (test t pareado). Para as demais variáveis ( Cd, Cu, Fe e Zn) utilizou-se o teste não-paramétrico de Wilcoxon (ZAR, 1999).

A opção pelo teste paramétrico ou não-paramétrico foi determinada pela aderência dos dados à distribuição normal de probabilidades. Ou seja, quando aderente utilizou-se a técnica paramétrica (t de Student), caso contrário, técnica não-paramétrica (Wilcoxon).

Todas as discussões foram realizadas no nível de 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo da qualidade do resíduo sólido produzido pela última lagoa de estabilização, foram considerados alguns parâmetros como o poder calorífico inferior e teores de metais. Os resultados obtidos foram relacionados com os períodos de seca e de chuva, com a intenção de detectar possíveis alterações no comportamento do sistema estudado.

O tratamento estatístico apresentou para todas as variáveis estudadas, ( $P > 0,05$ ), indicando não haver diferenças significativas entre os pontos de coleta.

A influência dos períodos de chuva e seca, de um modo geral, não verifica diferenças significativas entre os dois períodos, apresentando oscilações de teores não relevantes, para os meses de maior ou menor atividade.

**Tabela 1** - Resultados das concentrações de metais no resíduo, e médias parciais considerando-se o período chuvoso e seco, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$

Teor de metal no resíduo referente ao período chuvoso em $\mu\text{g.L}^{-1}$							
Mês	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Março	0	0,03	0	0,40	0,01	0,40	0
Abril	0	0,03	0	0,70	0,03	0,40	0,10
Outubro	0	0,02	0	0,60	0,02	0,20	0,10
Novembro	0	0,01	0	1,30	0,03	0,30	0
Média do período	0	0,03	0	0,75	0,02	0,33	0,05
Teor de metal no resíduo referente ao período seco em $\mu\text{g.L}^{-1}$							
Mês	Cd	Co	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Mai	0	0,04	0	0,40	0,02	0,40	0
Junho	0	0,02	0	0,50	0,02	0,40	0
Julho	0	0,02	0	0,90	0,04	0,40	0
Agosto	0	0,03	0	0,70	0,02	0,40	0
Setembro	0	0,02	0	0,80	0,02	0,30	0
Média do período	0	0,03	0	0,66	0,02	0,38	0

Os resultados médios obtidos dos teores de cádmio (Cd) estiveram abaixo do limite de detecção. Nuvolari (2003), informa que o padrão de lançamento para o cádmio, segundo a Resolução CONAMA 20/86 é de  $200 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A comparação entre os valores obtidos e o parâmetro legal, indica boa qualidade

com relação a contaminação por cádmio.

Os resultados médios obtidos dos teores de cobalto (Co) foram: valor de mínimo  $0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$ , valor de máximo  $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ , mediana, média e desvio padrão de  $0,02$ ;  $0,02$ ;  $0,08 \mu\text{g.L}^{-1}$ , com ( $P > 0,05$ ), não havendo diferenças significativas entre os pontos de coleta, realizados com repetições nas duas extremidades da lagoa. Nuvolari, A. (2003), cita que não é fixado o padrão de lançamento para o cobalto, segundo a Resolução CONAMA 20/86. O valor máximo obtido de  $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ , consiste assim, num parâmetro referencial, desta pesquisa.

Os resultados médios obtidos dos teores de cobre (Cu) estiveram abaixo do limite de detecção. Nuvolari (2003), informa que o padrão de lançamento para o cobre, segundo a Resolução CONAMA 20/86 é de  $1.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ . Em comparação, verifica-se resíduo de boa qualidade com relação à contaminação de cobre.

Os resultados médios obtidos dos teores de ferro (Fe) foram: valor de mínimo  $0,40 \mu\text{g.L}^{-1}$ , valor de máximo  $1,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ , mediana, média e desvio padrão de  $0,70$ ;  $0,70$ ;  $0,28 \mu\text{g.L}^{-1}$ , respectivamente, com ( $P > 0,05$ ), não havendo diferenças significativas entre os pontos de coleta, realizados com repetições nas duas extremidades da lagoa. Segundo Nuvolari (2003), informa que o padrão de lançamento para o ferro, segundo a Resolução CONAMA 20/86 é de  $15.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A comparação entre o valor máximo obtido ( $1,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e o parâmetro legal, indicou boa qualidade do efluente com relação a contaminação por ferro.

Os resultados médios obtidos dos teores de níquel (Ni) foram: valor de mínimo  $0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$ , valor de máximo  $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ , mediana e média de  $0,02 \mu\text{g.L}^{-1}$  e desvio padrão de  $0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$  com ( $P > 0,05$ ), não havendo diferenças significativas entre os pontos de coleta, realizados com repetições nas duas extremidades da lagoa. Nuvolari (2003), informa que o padrão de lançamento para o níquel, segundo a Resolução CONAMA 20/86 é de  $2.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A comparação entre o valor máximo obtido, ( $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e o parâmetro legal, indica boa qualidade do resíduo com relação a contaminação por níquel.

Os resultados médios obtidos dos teores de chumbo (Pb) foram obtidos: valor de mínimo  $0,20 \mu\text{g.L}^{-1}$ , valor de máximo  $0,40 \mu\text{g.L}^{-1}$ , mediana, média e desvio padrão de  $0,40$ ;  $0,35$ ;  $0,07 \mu\text{g.L}^{-1}$  respectivamente, com ( $P > 0,05$ ), não havendo diferenças significativas entre os pontos de coleta, realizados com repetições nas duas extremidades da lagoa. Nuvolari (2003), informa que o padrão de lançamento para o chumbo, segundo a Resolução CONAMA 20/86 é de  $500 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A comparação entre o valor máximo obtido ( $0,40 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e o parâmetro legal, indica boa qualidade do resíduo com relação à contaminação por chumbo.

Os resultados médios obtidos dos teores de zinco (Zn) apresentou apenas dois valores de  $0,10 \mu\text{g.L}^{-1}$ , e os demais, abaixo do limite de detecção, ambos com ( $P > 0,05$ ), não havendo diferenças signifi-



cativas entre os pontos de coleta, realizados com repetições nas duas extremidades da lagoa. Nuvolari (2003), informa que o padrão de lançamento para o zinco, segundo a Resolução CONAMA 20/86 é de  $5.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A comparação entre o valor máximo obtido ( $0,10 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e o parâmetro legal, indica boa qualidade do resíduo com relação à contaminação por zinco.

Verifica-se que a diferença entre média no período estudado do poder calorífico superior (PCS) considerando as correções (fio e ácido) do resíduo seco (desumificado) e do resíduo úmido, apresenta um PCS médio de  $15.808,26 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , 23,2 % maior que o úmido de  $12.829,26 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , representando um aumento no potencial energético de  $2.979 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

Queiroz; Filho (2002), obtiveram resultados do PCS com carvão vegetal mais 5% de amido (seca-gem ao ar) de  $26.103 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , já seco à  $105^\circ\text{C}$ , obtiveram  $28.243 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , representando um aumento de 8,2%, o que equivale a  $2.140 \text{ kJ.kg}^{-1}$ . Comparativamente com os resultados obtidos no carvão e os resultados obtidos no resíduo, observa-se que são, no mínimo, semelhantes em relação ao ganho energético.

Analisando-se a influência do período de chuva e de seca, com os valores mensais obtidos do PCS no resíduo, conforme Tabela 3, observa-se que o período de seca, possui valores semelhantes ao período de chuva, indicando assim, a não influencia dos períodos, já na hipótese da influência dos meses de maiores ou menores atividades no Câmpus, também não se observam.

**Tabela 2** - Média mensal do poder calorífico superior (PCS) do resíduo seco e úmido

Mês	PCS do resíduo em $\text{kJ.kg}^{-1}$	
	úmido	seco
Março	9.353,13	14.487,42
Abril	8.903,82	14.243,62
Mai	11.862,67	14.629,98
Junho	13.041,08	14.504,27
Julho	15.132,80	15.420,14
Agosto	17.929,12	18.352,80
Setembro	13.656,87	15.146,78
Outubro	14.189,54	19.267,27
Novembro	11.394,32	16.221,73
Média	12.829,26	15.808,26

Os valores médios obtidos do poder calorífico inferior (PCI) para o resíduo úmido e seco foram respectivamente: valor de mínimo  $6.643,15$  e  $11.983,18 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , valor de máximo  $15.668,38$  e  $17.006,83 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , mediana, média e desvio padrão de  $10.780,39$  e  $12.886,34$ ;  $10.568,53$  e  $13.547,78$ ;  $2.948,22$  e

1.838,22 kJ.kg<sup>-1</sup>. Com (P < 0,05), indicando haverem diferenças significativas entre os pontos de coleta, realizados com repetições nas duas extremidades da lagoa.

Durante o período analisado, o ponto de coleta R2, demonstrou valores maiores que no ponto R1, possivelmente em consequência do ponto R2 ficar próximo a área da cortina vegetal, onde a acumulação de resíduos como folhas, galhos, rota de pássaros, pode ter contribuído para as diferenças detectadas pelo tratamento estatístico.

A Tabela 3 apresenta os valores médios mensais obtidos do PCI no resíduo úmido e seco, onde para efeito de comparações, se utilizou a média do período estudado, isto é; 10.568,53 kJ.kg<sup>-1</sup> para o resíduo úmido e 13.547,78 kJ.kg<sup>-1</sup> para o resíduo desumificado (seco), representando um aumento de 28,1% no potencial energético.

**Tabela 3** - Poder calorífico inferior (PCI) médio mensal do resíduo seco e úmido.

Mês	PCI em kJ.kg <sup>-1</sup>	
	úmido	seco
Março	7.092,47	12.226,98
Abril	6.643,15	11.983,18
Mai	9.601,95	12.369,54
Junho	10.780,39	12.243,83
Julho	12.872,00	13.159,70
Agosto	15.668,38	16.092,36
Setembro	11.396,22	12.886,34
Outubro	11.928,63	17.006,83
Novembro	9.133,57	13.961,29
Média	10.568,53	13.547,78

Zulaf et al (1985), Ripoli et al (1990 b) apud Tanaka ; Porfírio (2002) em estudo realizado com palhiço da cana de açúcar, em alguns municípios do estado de São Paulo, obtiveram resultados médios do PCI de 17.303 kJ.kg<sup>-1</sup>.

Segundo Colen (2003), discorrendo sobre o (PCI), informa que o caldo de cana como fonte de obtenção de álcool, alimento e biogás, pode ser enquadrado como fonte primária de energia (providos pela natureza de forma direta). O etanol anidro e hidratado, classificado como energia secundária. Informa ainda, de acordo com Brasil (2002), os valores do poder calorífico inferior da gasolina, óleo diesel e óleo combustível, conforme Tabela 4.

De acordo com Dedini (s.d.), Avelar (2001) apud Colen (2003), o poder calorífico inferior do

biogás possui composição de 70% a 74,28% de metano.

Segundo Queiroz ; Filho (2002), apresentam o valor do poder calorífico inferior do carvão vegetal, inferindo sobre a importância desse insumo na indústria siderúrgica, cerca de 40% do ferro produzido no país, utiliza o carvão vegetal para alimentação dos fornos, também conforme Tabela 4.

**Tabela 4** - Poder calorífico inferior (PCI) do resíduo e de alguns combustíveis.

Combustível	$\text{kJ.kg}^{-1}$	$\text{kcal.kg}^{-1}$
Resíduo úmido (kg)	10.568,53	2.525
Resíduo seco (kg)	13.547,78	3.236
Caldo de cana	2.511,60	600
Biogás ( $\text{m}^{-3}$ )	25.034,60	5.980
Eletricidade (kWh)	3.599,96	860
Gasolina (L)	38.465,36	9189
Etanol hidratado (L)	23.853,29	5.698
Etanol anidro (L)	25.302,80	6.045
Óleo diesel (L)	36.912,99	8.818
GLP (kg)	47.301,18	11.300
Lenha (umidade de 25%) (kg)	12.976,60	3.100
Eucalipto (kg)	13.813,80	3.300
Carvão vegetal	28.464,80	6.800

**Fonte:** Adaptado de Queiroz ; Filho (2002); Tanaka ; Porfirio (2002); Dedini (s.d.), Avelar (2001), Brasil (2002) apud Colen (2003).

Projetando-se uma estimativa do potencial disponível do resíduo, comparativamente a outros combustíveis, observa-se pelas Tabelas 5 e 6 a equivalência correspondente ao resíduo úmido e seco.

**Tabela 5** - Comparação entre o poder calorífico inferior (PCI) do resíduo e alguns combustíveis.

Combustível	kJ.kg <sup>-1</sup>	kcal.kg <sup>-1</sup>	Equivalência	
			Úmido	Seco
Resíduo úmido (kg)	10.568,53	2.525	1,00	
Resíduo seco (kg)	13.547,78	3.236		1,00
Lenha (umidade de 25%) (kg)	12.976,60	3.100	0,81	1,04
Etanol hidratado (L)	23.853,29	5.698	0,44	0,57
Biogás (m <sup>3</sup> )	25.034,60	5.980	0,42	0,54
Etanol anidro (L)	25.302,80	6.045	0,42	0,54
Carvão vegetal (kg)	28.464,80	6.800	0,37	0,48
Gasolina (L)	38.465,36	9189	0,27	0,35
GLP (kg)	47.301,18	11.300	0,22	0,29

**Fonte:** Adaptado de Queiroz ; Filho (2002); Tanaka ; Porfírio (2002); Dedini (s.d.), Avelar (2001), Brasil (2002) apud Colen (2003).

**Tabela 6** - Comparação entre o poder calorífico inferior (PCI) do resíduo e as três fontes energéticas mais utilizadas no setor agropecuário

Combustível	kJ.kg <sup>-1</sup>	kcal.kg <sup>-1</sup>	Equivalência	
			Úmido	Seco
Resíduo úmido (kg)	10.568,53	2.525	1,00	
Resíduo seco (kg)	13.547,78	3.236		1,00
Eletricidade (kwh)	3.599,96	860	2,94	3,76
Eucalipto (kg)	13.813,80	3.300	0,77	0,98
Óleo diesel (L)	36.912,99	8.818	0,29	0,37

**Fonte:** Adaptado de Queiroz ; Filho (2002); Brasil (2002) apud Colen (2003).

Comparativamente, o resíduo apresenta em média um potencial energético equivalente a aproximadamente 30% da gasolina, se assemelha ao eucalipto, evidenciando considerável potencial e viabilidade, pois, o resíduo é um recurso renovável, regional, disponível, e de grande variedade de usos.

Na hipótese da queima do resíduo como fonte energética na produção de calor ou vapor, em substituição aos combustíveis fósseis, pode ser vantajoso, devido tratar-se de carbono renovável e possuir baixos teores de metais (como foi analisado).

A remoção do resíduo para produção de energia, não causa desequilíbrio ecológico em qualquer proporção, evitaria impactos da disposição inadequada, conforme laudos periciais apresentados por Brescansin; Russo (1997), reduziria a contaminação em outras áreas (aterro sanitário), custos na remoção, transporte e armazenamento.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados dos parâmetros obtidos, relacionados com o período de seca e de chuva, demonstraram não produzir alterações significativas no comportamento do sistema.

Os metais analisados: cádmio, cobalto, cobre, ferro, níquel, chumbo e zinco, todos com com ( $P > 0,05$ ). O resíduo produzido pela última lagoa, apresentou um poder calorífico inferior para o úmido de  $10.568,53 \text{ kJ.kg}^{-1}$ , e o seco de  $13.547,78 \text{ kJ.kg}^{-1}$  (diferença de 28,1%), evidenciando considerável potencial energético, equivalente a aproximadamente 30% em média do poder calorífico da gasolina, e semelhante ao eucalipto. Os teores de metais foram semelhantes com  $0,02 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  para o cádmio, cobalto níquel e zinco, ferro  $0,70 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ , chumbo  $0,35 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  e cobre, abaixo do limite de detecção. A análise da concentração de metais apresentou baixos teores, o que viabiliza a queima para obtenção de energia.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAILE, P. M; CAVALCANTI, J. E. W. A.O controle da poluição. In: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo, 1993, p. 1-106.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional, Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/ben2002>>. Acesso em: 16 ago. 2003.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Resolução do CONAMA n 20, de 18 de julho de 1986. Estabelece a classificação e utilização das águas doces, salobas e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 11356-11361, jul. 1986.

BRESCANSIN, R. B; RUSSO, I. L. Laudos periciais de resíduo sólido e lançamento de efluentes. In: Laudos periciais em depredações ambientais. Rio Claro: UNESP, Universidade Estadual Paulista, 1997. 254 p.

CAMPOS, A. T. **Determinação do poder calorífico em bomba calorimétrica:** relatório de aula prática. Botucatu: UNESP, Universidade Estadual Paulista, 1998. Não paginado. (Trabalho apresentado como parte das exigências da disciplina “Química de Combustível”).

CAMPOS, K. E. **Influência do oxiclreto de cobre no sistema antioxidante de *Allium cepa* (cebola) e seu efeito no estresse oxidativo em ratos Wistar.** 2001. 36 f. Monografia (Título de Bacharel em Ciências Biológicas – Modalidade Médica) – Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CARVALHO, S. M. R.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético e potencial de produção de biogás em granja de postura comercial na região de Marília, São Paulo. **Energia na Agricultura**, Marília, V. 16, f. 40-59, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo.** São Paulo, 2004.147 p.

COLEN, F. **Balanço energético e potencial do caldo de cana-de-açúcar como substrato em reator UASB.** 2003. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

CROKCFORD, H. D. ; NOWELL, J. W. Calor de combustion, In: **Manual de laboratório de química-Física.** Madrid: Alhambra, 1961. p. 80-83.

DIAS, M. Imagens de Botucatu, Botucatu, 2004. f. 39.

NUVOLARI, A. **As diversas opções de tratamento do esgoto sanitário.** São Paulo. Edgard Blücher, 2003. 520 p.

QUEIROZ, E. C. ; FILHO, J. K. **Utilização de restolhos da fabricação de carvão vegetal e amido para modelagem de unidade de carvão recomposta (UCR).** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002. 18 f. (Trabalho apresentado como parte das exigências da disciplina “Química de Combustível”).

TANAKA, E. M. ; PORFÍRIO, M. L. **Potencial energético do palhiço e do bagaço da cana-de-açúcar.**

Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2002. 34 f. (Trabalho apresentado como parte das exigências da disciplina “Química de Combustível”).

VOGEL, A. et al. **Análise inorgânica quantitativa**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1981, 678 p.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**, 4rd ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1999. 663