



PLANO DE REMANEJO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA USINA SUCROALCOOLEIRA COAGRO NO SUBDISTRITO SAPUCAIA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

**GOMES, Ericky Ferreira Rangel¹ ; FELIPE JUNIOR, Amaro²
DINIZ, Anderson Gonçalves³ ; GALLO, Daniel Passos⁴**

Resumo

O bagaço da cana-de-açúcar é utilizado como combustível em usinas sucroalcooleiras. A partir de sua queima é gerada energia em forma de vapor que atua nos diversos processos de produção. Este estudo tem como objetivo analisar a eficiência do bagaço de cana de açúcar, segundo sua umidade, gerado na moagem da Usina Coagro localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. As metodologias aplicadas para o estudo são os dados coletados técnicos e a análise química do bagaço de cana a fim de identificar o tipo que obtém melhor resultado na queima. Será abordada uma análise do estado geral do bagaço de cana-de-açúcar utilizado nas operações da usina sucroalcooleira supracitada, análise de umidade e eficiência térmica. Devido à grande quantidade produzida e suas características físicas e químicas, o bagaço pode ser utilizado de diversas maneiras e neste estudo ele é utilizado como combustível na

¹ Discente, Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Campos dos Goytacazes-RJ, erickygomes@hotmail.com

² Discente, Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Campos dos Goytacazes-RJ, juruna23@hotmail.com

³ Discente, Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Campos dos Goytacazes-RJ, andersondiniz@gmail.com

⁴ Docente Mestre, Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Campos dos Goytacazes-RJ, daniel.gallo@redentor.edu.br



geração de energia térmica em forma de vapor que alimenta as caldeiras da usina, vapor pressurizado transportado por meio de tubulações.

Palavras-chave: bagaço de cana-de-açúcar. geração de vapor. umidade e eficiência térmica.

Abstract

Sugarcane bagasse is used as fuel in sugar cane plants. From its burning is generated energy in the form of steam that acts in the various production processes. This study aims to analyze the efficiency of sugarcane bagasse, according to its moisture, generated in the grinding of the Coagro Plant located in the Sapucaia neighborhood, in the municipality of Campos dos Goytacazes-RJ. The methodologies applied to the study are the technical collected data and the chemical analysis of sugarcane bagasse in order to identify the type that obtains the best result in burning. An analysis of the general state of sugarcane bagasse used in the operations of the aforementioned sugar-alcohol plant, moisture analysis and thermal efficiency will be addressed. Due to the large quantity produced and its physical and chemical characteristics, bagasse can be used in several ways and in this study it is used as fuel in the generation of thermal energy in the form of steam that feeds the boilers of the plant, pressurized steam transported through pipes.

Keywords: sugarcane bagasse. steam generation. humidity and thermal efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A produção do bagaço da cana-de-açúcar é considerada uma atividade rural dentro das usinas que tem seu início na recepção da matéria prima, em um segundo momento é realizada a extração do caldo da cana e o bagaço gerado por esse processo segue para o setor de estocagem. A forma como essa armazenagem é feita, contribui diretamente para a baixa ou alta da eficiência do seu poder calórico.

O bagaço tem sido o único resíduo aproveitado da biomassa do canavial, onde principalmente porque está disponível espontaneamente ao lado da caldeira na indústria Braunbeck (2005). Devido ao grande interesse do uso do bagaço de cana no processo de reutilização como biomassa, para as caldeiras e a necessidade da matéria-prima em função da sazonalidade de sua produção, tem-se como objetivo geral o uso das técnicas de melhorias e redução de custos para influenciar diretamente no tempo e nas condições de estocagem nas propriedades do bagaço de cana, e conseqüentemente, minimizar sua perda energética durante o processo de estocagem.

A grande maioria das usinas brasileiras que produz energia através da cana-de-açúcar desenvolve o processo para consumo próprio, em caldeiras de baixa pressão. Nesse sistema, em razão do baixo ganho energético. Porém se as usinas trocarem o equipamento por caldeiras de alta pressão, e gerarem energia com o bagaço da cana-de-açúcar. Uma tonelada de bagaço de cana-de-açúcar em um sistema de alta pressão gera cerca de 50 quilowatts/hora Hassuani (2005 p. 285).

O bagaço que sai da esteira deve ter cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, de 2 a 3% de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis. Ele é um material complexo, constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, que são os responsáveis pelo seu elevado conteúdo energéticos. A tabela 1 apresenta a composição em fibras do bagaço seco e o respectivo teor energético e seu poder calorífico.

Tabela 1: Composição das fibras lignocelulósicas do bagaço de cana e seus respectivos teores energéticos

| COMPONENTE | % EM MASSA NO BAGAÇO | PODER CALORÍFICO |
|--------------|----------------------|------------------|
| | INTEGRAL SECO | (MJ/KG) |
| Celulose | 41 | 17,0 |
| Hemicelulose | 25 | 17,5 |
| Lignina | 20 | 20,1 |



Tabela 1: Composição das fibras lignocelulósicas do bagaço de cana e seus respectivos teores energéticos

(conclusão)

| COMPONENTE | % EM MASSA NO BAGAÇO | PODER CALORÍFICO |
|------------|----------------------|------------------|
| | INTEGRAL SECO | (MJ/KG) |
| Bagaço | - | 18,5 |

Fonte: Santos *et al.*, (2011, não paginado)

Para o acendimento das fornalhas das usinas são utilizados, primeiramente, toras de eucalipto (que tem maior custo) até que se alcance a temperatura ideal e em seguida o bagaço (que possui menor custo) é incluído como combustível para a queima e produção de vapor. Para este estudo foi feito o levantamento de dados do processo de extração da cana-de-açúcar na usina sucroalcooleira COAGRO localizada no distrito de Sapucaia em Campos dos Goytacazes, onde foi constatado que o custo das toras de eucalipto é de R\$ 60,00 reais o m³ e o valor da cana-de-açúcar in natura, matéria prima que gera a biomassa, é de R\$ 82,62/Ton no campo e de R\$ 92,69/Ton na esteira nos anos de 2019/2020. Este estudo mensura a economia dos custos no processo produtivo através da geração de vapor via bagaço de cana-de-açúcar, redução de custos que é de suma importância no processo usineiro, a partir do bom manejo da biomassa produzida e boas práticas que minimizam a perda energética.

Diante da economia que o uso do bagaço de cana-de-açúcar gera nas usinas a avaliação de desperdício desse produto faz-se necessária. Este estudo apresenta dados relacionados às perdas de bagaço motivadas pelas más práticas de armazenagem e manuseio e como isso impacta no custo da produção.

Para ter uma boa eficiência é importante compreender que todo o processo de extração do caldo impacta na qualidade final do bagaço, definindo o seu nível de umidade que deve ser em torno de 48% diminuindo o resíduo proveniente da queima. Segundo Hugot (1969, p.365), para acompanhar melhor a eficiência, é preciso distinguir entre a pressão seca e a pressão úmida. Quando a cana entra na usina ela é levada para a moagem e passa por diversas moendas tendo em seu processo tipos de pressão diferentes como pressão seca, pressão úmida, simples múltipla e composta múltipla, técnica chamada de embebição que consiste em adicionar no processo de moagem água ou até mesmo uma parte do caldo de forma a maximizar a extração do caldo da cana que influencia na umidade do produto. Quanto mais pobre em umidade um bagaço é, maior sua eficiência que é calculado pelo coeficiente sacarose/fibras.



O presente trabalho tem como proposta realizar uma análise comparativa do desempenho do bagaço de cana-de-açúcar mediante observação de seu armazenamento e análise da umidade ideal para o trabalho e uma queima total nas caldeiras praticados na Usina de Sapucaia/Campos dos Goytacazes-RJ. Essa análise visa elencar os fatores essenciais para o aproveitamento do bagaço e formas de melhoria da utilização do produto como combustível em caldeiras e na geração de energia, a fim de propor melhoria da eficiência produtiva, redução de custos através de um bom manejo do bagaço de cana-de-açúcar.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse estudo foi feita a leitura de bibliografia sobre o bagaço da cana de açúcar e também foram realizadas visitas técnicas na usina sucroalcooleira COAGRO localizada na cidade de Campos dos Goytacazes/RJ no subdistrito sapucaia, onde foram coletados dados fornecidos pelo setor de qualidade e produção, juntamente com engenheiro responsável, onde foi feita análise em laboratório de amostras tiradas do pátio durante a safra, visando embasar o projeto com remanejamento do bagaço para a redução do custo tanto quanto a melhoria na estocagem do mesmo.

Para coleta de dados da caldeira fizemos inspeção para constatação de requisitos mínimos e integridade, coletamos dados das caldeiras para análise de eficiência da biomassa, conforme a norma NR-13, onde por definição, é “Norma Regulamentadora que estabelece requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando à segurança e à saúde dos trabalhadores “e obtivemos algumas leituras importantes para nosso estudo”.

O bagaço passou por análise no laboratório da própria usina através da utilização do medidor de umidade da marca e modelo OHAUS MB25, e onde foi feita a análise química do mesmo para determinar a celulose, hemicelulose, lignina, carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio onde também são apuradas informações como PCI e PCS e umidade, conforme tabela 3, essas análises foram feitas em várias amostras e foi tirada a média para ser feita a análise. Pois sua determinação é de grande importância, pelo fato da água apresentar um poder calorífico negativo, uma vez que necessita de calor para o processo de evaporação (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Já na parte da caldeira foram feitas inspeções visuais para detectarmos possíveis vazamentos de vapor, foram analisadas todas as caldeiras e suas tubulações. Onde foi



identificado que as caldeiras são do tipo aquatubulares com classificação de tubos verticais da marca Dedini indústrias de caldeiras.

O *software Smar Technology Company* do modelo *Autsystem* automação industrial software de gerenciamento utilizado para o controle das válvulas automatizadas na captação das informações de pressão das válvulas e controladores. Onde apuramos a pressão de vapor da caldeira, temperatura de vapor superaquecido, a vazão de vapor e sua eficiência (teórica).

Através dessas informações coletadas na usina conseguimos fazer uma análise precisa do rendimento relacionado à diminuição na umidade do bagaço de cana, e conseguimos estimar os valores atribuídos a esse processo.

O teor de umidade em base úmida do combustível é a relação entre a massa de água e a massa total de produto, como mostra a Equação 1.

$$\frac{(100 - W)}{100} \times \% \text{ base seca} \quad (1)$$

O poder calorífico foi estimado a partir de análise imediata pelas equações obtidas através de modelagem das fórmulas, das diversas biomassas carbonáceas sólidas (PARIKH; CHANNIWALA; GHOSAL, 2005).

$$\text{PCS seco} = 2,3381 + 0,351 \times C_s \quad (2)$$

$$\text{PCS úmido} = (W / 100) \times \text{PCS seco} \quad (3)$$

$$\text{PCI úmido} = \text{PCS úmido} \times 0,8 \quad (4)$$

Equação para cálculos da quantidade de combustível. Onde utilizamos os dados adquiridos para chegar aos valores para substituição na formula.

$$\frac{\text{PCI úmido} \times \text{ET} = \text{MV} \times (\text{EVS} - \text{EAA}) + \text{MV} \times (\text{EVS} - \text{EA}) \times 1,15}{\text{Quantidade de combustível}} \quad (5)$$

PCI - Poder Calorífico Inferior

ET – Eficiência Teórica



MV – Massa de Vapor
 EVS – Entrada de Vapor Saturado
 EAA – Entrada de Água de Alimentação
 EA – Entrada de Água

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo dados coletados referentes às caldeiras mostradas na tabela 2, que são de suma importância para análise da eficiência e para manter o bom funcionamento da mesma, onde através da pressão de vapor, temperatura de vapor, vazão de vapor e temperatura de alimentação da água, conseguiu os parâmetros necessários para desenvolver os dados abaixo.

Tabela 2: Dados sobre a caldeira fornecida pela Usina

| DADOS DA CALDEIRA | |
|---------------------------------|--------------------------|
| INSTRUMENTOS | UNIDADE DE MEDIDA |
| Pressão de vapor | 42 Kgf/cm ² |
| Temperatura vapor superaquecido | 480 c |
| Vazão de vapor | 80.000 kg/h |
| Eficiência teórica | 82% |
| Temperatura alimentação água | 205°C |
| Temperatura de evaporação | 252°C |

Fonte: Dados coletados pelo *software* de monitoramento e gerenciamento

Foi coletado amostras para a análise química do bagaço da cana na tabela 3. Onde foi feito o estudo laboratorial em seis amostras distintas, e utilizamos a média para desenvolvimento dos cálculos para determinação de fatores importantes na formulação final.

Tabela 3: Análise elementar do bagaço da cana (base seca)

| REFERÊN CIA | CARBO NO % (C) | HIDROGÊN IO % (H) | NITROGÊN IO % (N) | ENXOF RE % (S) | OXIGÊN IO % (O) | CINZ AS % (A) |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Amostra 1 | 42 | 6,58 | 0,26 | 0,16 | 51 | 1,84 |
| Amostra 2 | 47,2 | 6,3 | 0,3 | 0,1 | 44,5 | 2,5 |
| Amostra 3 | 45,2 | 5,4 | 0,2 | 0,02 | 41,8 | 7,4 |


Tabela 3: Análise elementar do bagaço da cana (base seca)

| REFERÊN CIA | CARBO | HIDROGÊN | NITROGÊN | ENXOF | OXIGÊN | CINZ |
|----------------|-------------|----------|----------|-------------|----------|-------------|
| | NO % (C) | IO % (H) | IO % (N) | RE % (S) | IO % (O) | AS % (A) |
| Amostra 4 | 48,64 | 5,87 | 0,16 | 0,04 | 42,82 | 2,44 |
| Amostra 5 | 48,19 | 5,67 | 0,14 | 0,08 | 42,35 | 3,61 |
| Amostra 6 | 45,48 | 5,7 | 0,4 | 0,06 | 45,21 | 0,24 |
| Valor médio | 46,34 | 5,79 | 0,23 | 0,07 | 43,66 | 2,47 |

(conclusão)

Fonte: Setor de qualidade da usina

Para composição da base úmida iremos utilizar a formula abaixo conforme (Cortez, 2009) e utilizamos a umidade máxima encontrada de 52% e a mínima de 48% conforme tabelas 4. Onde quanto maior a umidade, mais difícil para queima resultando em um maior tempo e um alto gasto de biomassa, para alcançar os objetivos pretendidos na melhoria da eficiência da caldeira.

Tabela 4: Composição de base úmida em 48% e 52%.

| COMPOSIÇÃO DO COMBUSTIVEL | 48% | 52% |
|---------------------------|-------|-------|
| CARBONO | 24,09 | 22,24 |
| HIDROGÊNIO | 3,01 | 2,78 |
| NITROGÊNIO | 0,12 | 0,12 |
| ENXOFRE | 0,04 | 0,03 |
| OXIGÊNIO | 22,70 | 20,96 |
| CINZAS | 1,28 | 1,18 |

Fonte: Setor de qualidade da usina

Através da equação podemos determinar o Poder Calorífico Superior (PCS) seco, onde encontramos como resultado 238 Kcal na conversão de 1 MJ (Mega Jaule), com a conversão obtemos um valor estimado de 4427,6092 Kcal/Kg, conforme segue os cálculos abaixo:

$$\text{PCS seco} = 2,3381 + (0,351 \times \%Cs)$$

$$2,3381 + (0,351 \times 46,34\%)$$



Na conversão 1MJ = 238 Kcal

$$18,6034 \text{ MJ / Kg} \times 238 \text{ Kcal} = \mathbf{4427,6092 \text{ Kcal/Kg}}$$

Para análise feita com a umidade em 52%:

$$\text{PCS úmido} = (W / 100) \times \text{PCS seco}$$

$$(52\% / 100) \times 4427,6092 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\mathbf{2302,3568 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$\text{PCI úmido} = \text{PCS úmido} \times 0,8$$

$$2302,3568 \text{ Kcal/Kg} \times 0,8$$

$$\mathbf{1841,885 \text{ Kcal/Kg}}$$

Para análise feita com a umidade em 48%:

$$\text{PCS úmido} = (W / 100) \times \text{PCS seco}$$

$$(48\% / 100) \times 4427,6092 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\mathbf{2125,2524 \text{ Kcal/Kg}}$$

$$\text{PCI úmido} = \text{PCS úmido} \times 0,8$$

$$2125,2524 \text{ Kcal/Kg} \times 0,8$$

$$\mathbf{1700,201 \text{ Kcal/Kg}}$$



Para cálculo de consumo de combustível na caldeira temos bagaço a 52% de umidade com 3% de purga:

$$1.841,885 \text{ Kcal/Kg} \times 0,82 = 80.000 \text{ Kg/h} \times (812 \text{ kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) + 2400 \text{ Kg/h} \times (669 \text{ Kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) \times 1,15$$

Quantidade de combustível

$$\text{Quantidade de combustível} = 80.000 \text{ Kg/h} \times (812 \text{ kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) + 2400 \text{ Kg/h} \times (669 \text{ Kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) \times 1,15$$

1.841,885 Kcal/Kg x 0,82

$$\text{Quantidade de combustível} = 32.888,8 \times 1,15 = \mathbf{37.822,2 \text{ Kg/h}}$$

Para cálculo de consumo de combustível na caldeira temos bagaço a 48% de umidade com 3% de purga:

$$1.700,201 \text{ Kcal/Kg} \times 0,82 = 80.000 \text{ Kg/h} \times (812 \text{ kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) + 2400 \text{ Kg/h} \times (669 \text{ Kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) \times 1,15$$

Quantidade de combustível

$$\text{Quantidade de combustível} = 80.000 \text{ Kg/h} \times (812 \text{ kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) + 2400 \text{ Kg/h} \times (669 \text{ Kcal/Kg} - 205 \text{ Kcal/Kg}) \times 1,15$$

1.700,201 Kcal/Kg x 0,82

$$\text{Quantidade de combustível} = 35.629,4 \times 1,15 = \mathbf{40.973,8 \text{ Kg/h}}$$

$$40.973,8 \text{ Kg/h} - 37.822,2 \text{ Kg/h} = \mathbf{3.151,6 \text{ Kg/h}}$$

Conforme calculado a cima obtivemos a quantidade de combustível gerada apenas pelo remanejamento do bagaço, reduzindo a úmida de 52% para 48%, assim fornecendo uma economia substancial para geração de energia.



Para encontrarmos os valores em reais calculamos o combustível economizado através da redução de umidade e multiplicamos pelo valor da tonelada do bagaço de cana de açúcar, o qual estava em torno de R\$ 92,69, e tivemos uma economia de R\$ 292,12 por hora.

Levando em consideração que a usina trabalha em três turnos de 8 horas, 30 dias por mês durante seis meses. Temos uma economia em torno de R\$ 1.261.958,40 para o período de seis meses da chamada moagem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma análise de rendimento térmico de uma caldeira aquatubulares foi realizada seguindo os métodos de cálculos para implantação de melhorias no trato da biomassa.

Ao comparar os resultados foi concluído que com o remanejamento do bagaço para uma área coberta e com a criação de valas em volta do local de armazenagem e sempre havendo uma virada nesse bagaço, para que o mesmo não seja tirado só da parte superior da pilha, tem-se uma redução na umidade de 52% para 48% alcançando o objetivo proposto tornando a caldeira mais eficiente, pois se torna um combustível com um maior poder calorífico, pois quanto menor a quantidade de umidade, mais fácil de haverá a queima.

Só com esse processo conseguimos calcular uma economia de bagaço de aproximadamente 3.151,6 kg/h considerando, que a usina na época da chamada moagem trabalha 24 horas durante 30 dias, processo esse que dura em média 6 meses.

Considerando todos os fatores temos uma economia de algo em torno de R\$1.261.958,40. Valor referente aos 6 meses de produção.

REFERÊNCIAS

ALTAFINI, C. R. **Tipos e aplicações de caldeiras**. São Paulo: Ed. Prominp, 2008.

CARVALHO JÚNIOR, J. A.; LACAVALA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FERREIRA, F. M. *et al.* **Cogeração no Setor Sucroalcooleiro em Goiás**. 2010. Monografia (MBA em Gestão Sucroalcooleira) – Centro Universitário de Lins – Unilins, 2010.

HUGOT, E. Manual da engenharia açucareira. **Ed. Mestre Jou**, São Paulo, v. I e II. Proceedings of ENCIT, ABCM, Rio de Janeiro, Brasil, nov. 29, dez. 2004.



MAZZARELA, V. N. G. **Capim elefante**: a energia renovável moderna. Disponível em: <http://www.capimelefante.org/perguntas-frequentes/p9>. Acesso em: 7 maio. 2013.

MAZZARELA, V. N. G. **Capim-elefante como fonte de energia no Brasil**: Realidade Atual e Expectativas. Rio de Janeiro: IPT, 2007.

SONNTAG, R. E./ BORGNAKKE, C.; GORDON, J. V. Fundamentos da termodinâmica. [S.L.]: [S.n.], 1998.



EDIÇÃO ESPECIAL

Pandemia

COMO CITAR ESTE ARTIGO

ABNT: GOMES, E. F. R. *et al.* Plano de remanejamento do bagaço de cana-de-açúcar na usina sucroalcooleira coagro no subdistrito Sapucaia em Campos dos Goytacazes-RJ. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, Itaperuna, v. 06, n. 3, p. 1-13. 2020. DOI: 10.209512446-6778v6n3a55.

AUTOR CORRESPONDENTE

Nome completo: Ericky Ferreira Rangel Gomes

e-mail: erickygomes@hotmail.com

Nome completo: Amaro Felipe Junior

e-mail: juruna23@hotmail.com

Nome completo: Anderson Gonçalves Diniz

e-mail: andersondiniz@gmail.com

Nome completo: Daniel Passos Gallo

e-mail: daniel.gallo@redentor.edu.br

RECEBIDO

20. 07. 2020.

ACEITO

20. 12. 2020.

PUBLICADO

01. 11. 2021.

TIPO DE DOCUMENTO

Artigo Original