

1. Introdução

A cada tonelada de cana-de-açúcar processada em uma usina de açúcar e álcool brasileira são gerados aproximadamente 250 kg de bagaço. Além do bagaço, a indústria da cana-de-açúcar gera uma grande quantidade de outros resíduos, tais como vinhaça e torta de filtro. O principal destino dado pelas usinas para o bagaço atualmente é a queima em caldeiras de baixo rendimento, que produzem vapor e eletricidade para o consumo próprio da usina, sendo que o excesso de eletricidade produzido é comercializado através da rede interligada nacional. Enquanto que para a vinhaça e a torta de filtro, assim como para a cinza proveniente da queima do bagaço, o destino mais comum é a lavoura de cana, na qual os resíduos são utilizados como fertilizantes sem um tratamento prévio. Na maioria dos casos não há um controle das consequências técnicas e ambientais desta prática, a qual pode vir a ocasionar uma perda da qualidade do solo por acidificação ou salinização, por exemplo.

O objetivo do projeto internacional ASHES, uma parceria entre quatro instituições brasileiras e sete alemãs, é desenvolver tecnologias para o aumento da eficiência energética na combustão dos resíduos da cana e para a produção de cinzas pouco poluentes, que possam ser utilizadas como fertilizante. Para estes fins é necessário conhecer os parâmetros dos processos utilizados atualmente nas usinas brasileiras, tornando possível a identificação de pontos a serem melhorados nos mesmos. Com este objetivo, foi realizada uma visita técnica pelo grupo de pesquisa do KIT em uma usina de açúcar e etanol situada no estado de São Paulo. Alguns dos parâmetros de funcionamento do setor de geração de vapor e eletricidade desta usina, assim como amostras de bagaço de cana, que foram posteriormente analisadas, foram utilizados como dados de entrada para a realização dos balanços de massa e de energia realizados neste trabalho.

2. Metodologia

Para a realização dos balanços de massa e de energia foi primeiramente elaborado um fluxograma para visualização de todos os componentes e processos do setor de geração de energia da usina, desde a combustão na fornalha até a exaustão dos gases de combustão. Este fluxograma é apresentado na Figura 1 e não inclui as perdas térmicas, nem as perdas relacionadas às perdas de combustível.

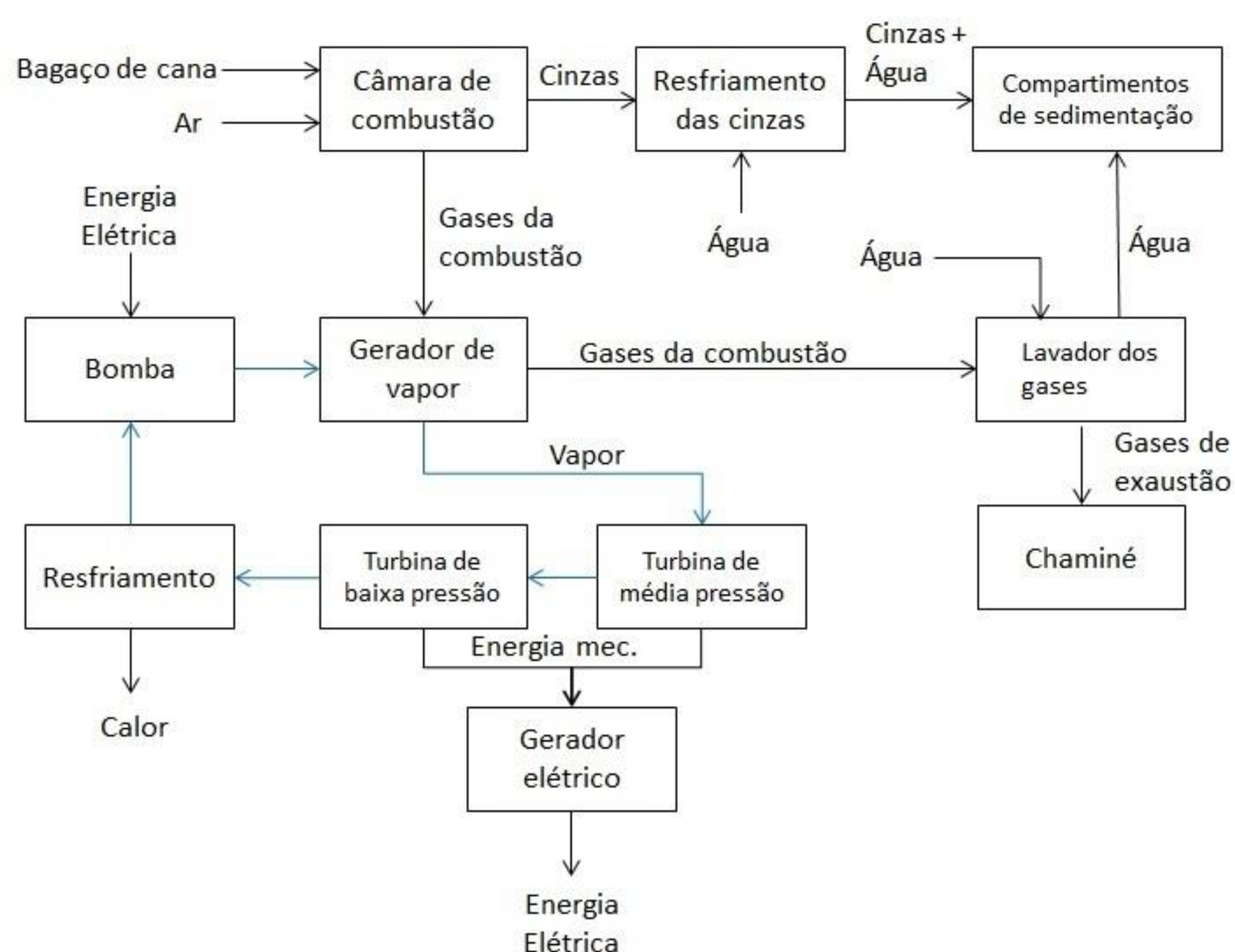


Figura 1. Fluxograma do setor de geração de energia em uma usina de açúcar e etanol. O ciclo do vapor está representado pela cor azul.

Nesta usina, o reator onde ocorre a combustão do bagaço de cana pode ser considerada de leito fluidizado, pois cerca de 85% da massa do bagaço inserido na fornalha possui dimensão inferior a 31,5 mm e a injeção de ar é feita logo abaixo da injeção de bagaço. Esse fenômeno foi analisado através do cálculo da força de arrasto versus a força da gravidade atuando sobre as partículas. Para o cálculo da força de arrasto, considerou-se a distribuição do tamanho das partículas de uma amostra de bagaço analisada por meio de filtros. As partículas foram consideradas esféricas e o coeficiente de arrasto foi calculado em função do número de Reynolds de cada partícula, em função da velocidade média do escoamento de ar.

Para o cálculo da força gravitacional, calculou-se a massa das esferas a partir da massa específica para as partículas de bagaço de cana, obtida na literatura. A partir da força resultante atuando sob cada faixa de tamanho de partículas de bagaço foi feita uma estimativa do tempo de permanência das mesmas na câmara de combustão. As partículas que não permanecem tempo suficiente na fornalha, as quais são carregadas pelo escoamento dos gases da combustão ou caem no compartimento das cinzas antes da queima, foram contabilizadas como perda de combustível e não foram consideradas nos cálculos da combustão.

Os cálculos da combustão foram baseados na composição elementar do bagaço de cana analisado e no coeficiente de excesso de ar (λ). A temperatura dos gases da combustão foi definida a partir do cálculo da temperatura adiabática de chama. Também são valores de entrada para os balanços a temperatura das cinzas na saída da fornalha e a temperatura dos gases de exaustão.

A maior parte dos valores de temperatura e pressão da água no ciclo do vapor da usina foram obtidos na visita técnica e os valores restantes foram estimados a partir da eficiência habitual do processo em questão, de modo que o balanço termodinâmico fosse alcançado, levando em conta valores obtidos na literatura. Nos processos em que todos os valores já estavam apresentados, foram calculadas as perdas e conseqüentemente as eficiências.

3. Resultados e conclusões

Os principais valores de operação obtidos na visita técnica na usina analisada estão apresentados na tabela 1.

Consumo de bagaço de cana (vazão mássica)	$\dot{m} = 100$ t/h por linha (2 linhas no total)
Umidade média do bagaço de cana	50 %
Produção de vapor no ciclo (vazão mássica)	$\dot{m} = 100$ t/h por linha (2 linhas no total)
Propriedades do vapor na saída do gerador de vapor	T = 520 °C p = 67 bar
Potência total de geração de energia elétrica	P = 71 MW
Demanda de potência elétrica na própria usina	P = 11 MW
Temperatura dos gases de combustão após o gerador de vapor	T = 145 °C

Tabela 1. Valores de operação da usina.

Considerando o reator como adiabático e assumindo que não ocorrem reações de dissociação (não há formação de subprodutos nas reações, tais como CO) as perdas de bagaço de cana devem ser de aproximadamente 50% no reator. Desta forma, o calor transportado pelos gases da combustão é transferido para a água no gerador de vapor com uma eficiência maior do que 80%. Essas perdas podem ser obtidas através de diferentes combinações de excesso de ar – que influencia a velocidade do escoamento de ar –, umidade do combustível – que influencia a massa das partículas assim como o poder calorífico – e tempo de residência das partículas na câmara de combustão.

Através dos resultados obtidos, observou-se que as perdas nos processos de geração de energia são muito elevadas e as mesmas podem ter origem nas perdas de combustível, calculadas neste trabalho, ou em perdas térmicas para o ambiente, por falta de isolamento adequado, por exemplo. Para confirmar a validade das suposições realizadas, faz-se necessária a aquisição de alguns dados adicionais de operação da usina, tais como o excesso de ar utilizado e a temperatura dos gases na câmara de combustão, por exemplo.

4. Referências

- [1] PEREIRA CAMPOS, L.; Aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos atributos químicos e biológicos do solo; 2014; Dissertação de Doutorado; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp.
- [2] Guerra, J. P. M. Et.al. ; Comparative Analysis of electricity cogeneration scenarios in sugarcane production by LCA; 2014.