

ANÁLISE ENERGÉTICA X ANÁLISE EXERGÉTICA DO ALTO FORNO A CARVÃO VEGETAL DA V&M DO BRASIL¹

Lis Nunes Soares²

Ricardo Junqueira Silva³

Geraldo Augusto Campolina França⁴

Ricardo José Fernandes Lemos⁵

Resumo

A análise energética é o método tradicional de quantificar a energia utilizada em uma operação envolvendo processos físicos e químicos de materiais e transferência e/ou conversão de energia. Usualmente realizada através de balanços energéticos que são baseados na primeira lei da termodinâmica para avaliação da eficiência energética. Esse balanço é empregado para determinar e reduzir perdas de energia. Contudo um balanço de energia não proporciona informações sobre a degradação de energia ou recursos durante um processo e não quantifica o potencial ou qualidade de fluxos de energia e material que fluem através de um sistema e saem como produtos e perdas. O método de análise exergética vai além das limitações da primeira lei da termodinâmica. O conceito de exergia é baseado na segunda lei da termodinâmica. Esse artigo tem como objetivo comparar o método mais adequado para análise visando à identificação de potenciais de economia de energia e conseqüentemente redução nas emissões de gases de efeito estufa; a partir do balanço de massa, energia e exergia do alto-forno 1 da V&M do Brasil.

Palavras-chave: Energia; Exergia; Eficiência; Alto-forno.

ENERGETIC ANALYSIS X EXERGETIC ANALYSIS OF CHARCOAL BLAST FURNACE OF V&M DO BRASIL

Abstract

The energetic analysis is the traditional method of quantification of the energy used in an operation involving physical and chemical processes and transference and/or conversion of energy. Generally used through energetic balance that is based on the first law of thermodynamics to evaluate the energetic efficiency. This balance is used to determine and reduce the loss of energy. Although an energy balance doesn't provide information about the energy degradation or resources during a process and don't quantify the potential or quality of the energy fluxes and material that flow in a system and come out as products and losses. The exergetic analysis goes beyond the limitations of the first law of thermodynamics. The concept of exergy is based in the second law of thermodynamics. The objective of this paper is to compare the more suitable analysis method aiming the identification of the energy economy potentials and consequently the reduction in the emissions of the greenhouse gases, through the balance of mass, energy and exergy of the blast furnace 1 of V&M do Brasil.

Keywords: Energy; Exergy; Efficiency; Blast-furnace.

¹ Contribuição técnica ao 31º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 25º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 17 a 20 de agosto de 2010, Foz do Iguaçu, PR

² Mestre, V & M do BRASIL S.A.

³ Doutor, V & M do BRASIL S.A.

⁴ Doutor, UFMG

⁵ Aluno de Gr adução de Engenharia Mecânica, UFMG

1 INTRODUÇÃO

Análise energética é o método tradicional de quantificar a energia utilizada em uma operação envolvendo processos físicos e químicos de materiais e transferência e/ou conversão de energia. Usualmente realizada através de balanços energéticos que são baseados na Primeira Lei da Termodinâmica para avaliação da eficiência energética. Esse balanço é empregado para determinar e reduzir perdas de energia. Contudo um balanço de energia não proporciona informações sobre a degradação de energia ou recursos durante um processo e não quantifica o potencial ou qualidade de fluxos de energia e material que fluem através de um sistema e saem como produtos e perdas.

O método de análise exérgica vai além das limitações da Primeira Lei da Termodinâmica. O conceito de exérgia é baseado na Segunda Lei da Termodinâmica. Exérgia é o trabalho máximo que pode ser obtido a partir de uma dada forma de energia utilizando parâmetros do ambiente como estado de referência.⁽¹⁾

A análise de exérgia pontua claramente a degradação da energia em um processo e pode então auxiliar na busca por aperfeiçoamentos de operação e tecnologia. O principal objetivo da análise exérgica é identificar eficiências reais, causas e magnitudes de perdas de exérgia.

2 OBJETIVO

Realizar balanços de massa, energia e exérgia no alto-forno 1 e periféricos da V&M do Brasil para comparação do método mais adequado para análise visando à identificação de potenciais de economia de energia e conseqüentemente redução nas emissões de gases de efeito estufa.

3 METODOLOGIA

Inicialmente foi definido o volume de controle como o alto-forno 1 e periféricos no qual os principais equipamentos são um alto-forno a carvão vegetal com capacidade de produção de 1.300 t/dia de gusa, três pré aquecedores tipo cowper e um carro skip para abastecimento.

Os dados de entrada e saída foram coletados em base anual (ano 2008) através do banco de dados da VMB e relatórios de controle de produção.

Os valores disponibilizados no banco de dados são medidos por instrumentos de medição instalados na planta. Por volta de 10% não são controlados sendo então calculados.

As composições dos insumos, produtos e co-produtos foram determinadas através de análises pontuais em laboratório ou especificadas pelo fornecedor, sendo utilizada uma composição média. Os insumos considerados estão detalhados na Figura 1.

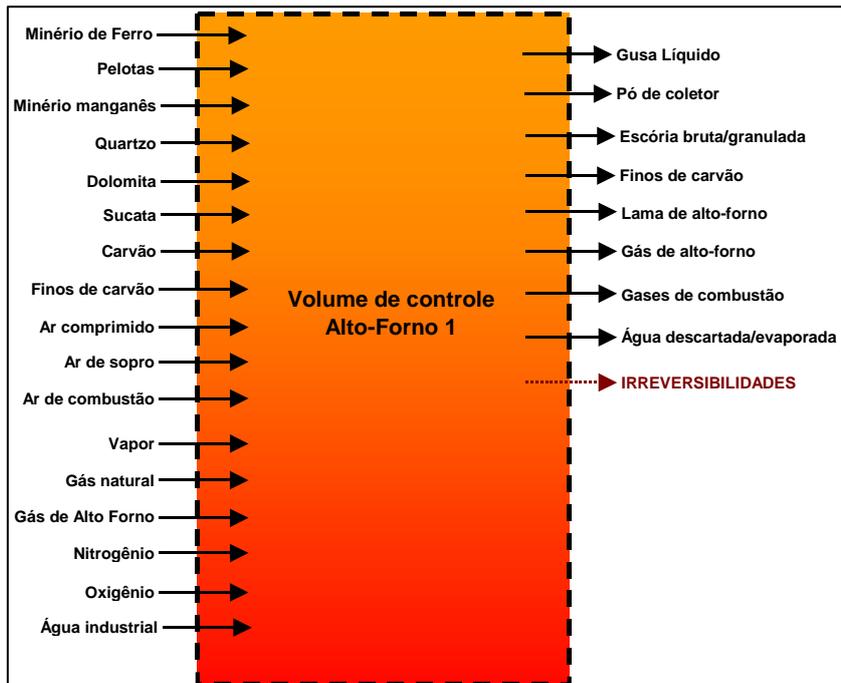


Figura 1. Volume de controle alto-forno 1 e periféricos.

Para o volume de controle em regime permanente foram consideradas as seguintes premissas para cálculo dos balanços de massa, energia e exergia:⁽²⁾

- o volume de controle não se move em relação ao sistema de coordenadas;
- o estado da substância em cada ponto do volume de controle não varia com o tempo;
- o fluxo de massa e o estado desta massa em cada área discreta de escoamento na superfície de controle não variam com o tempo. As taxas nas quais o calor e o trabalho cruzam a superfície de controle permanecem constantes;
- as variações das energias cinética e potencial foram desprezadas; e
- o comportamento dos gases foi considerado como de gás ideal.

As equações 1, 2 e 3 foram utilizadas para realização dos balanços de massa, energia e exergia respectivamente.

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s \quad (1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_s (h_s + ec_s + ep_s) - \sum \dot{m}_e (h_e + ec_e + ep_e) \quad (2)$$

$$\dot{E}_e + \dot{E}^Q = \dot{E}_s + \dot{W}_x + \dot{I} \quad (3)$$

Onde:

\dot{m} , é a vazão mássica;

\dot{W} , a potência de eixo;

\dot{Q} , a taxa de transferência de calor;

h , a entalpia específica;

ec , a energia cinética;

ep , a energia potencial;

\dot{E}_e , a taxa de exergia associada a transferência de massa na entrada do volume de controle;

\dot{E}^o , a taxa de exergia associada a transferência de calor;

\dot{E}_s , a taxa de exergia associada a transferência de massa na saída do volume de controle;

\dot{W}_x , a taxa de exergia associada a transferência de trabalho; e

\dot{I} , a taxa de irreversibilidade

Os subscritos e e s representam as condições de entrada e saída, respectivamente.

4 RESULTADOS

O balanço de massa foi realizado por elemento químico e apresentou um erro de 2,3% que foi considerado aceitável para dados levantados a partir de medições industriais. Foi quantificado um consumo de 0,7173 toneladas de carbono por tonelada de gusa. Esse valor é coerente com a literatura disponível.⁽³⁾

Pelo balanço energético apresentado na Tabela 1, a análise fica restrita à entrada de insumos energéticos. Nesse caso a qualidade da energia não é identificada e as perdas correspondem a 50% da energia de saída total e não são classificadas. Não há destruição da energia.

Tabela 1. Valor energético das entradas e saídas

Entradas	Energia (%)	Saídas	Energia (%)
Carvão	59,219	Gás de alto-forno	25,243
Finos de carvão	23,142	Produtos da combustão	10,735
Gás de alto-forno	14,490	Finos de carvão	6,942
Energia elétrica	2,510	Gusa líquido	5,146
Gás natural	0,634	Pó de coletor	1,386
Vapor	0,005	Perdas	50,548
Total	100	Total	100

Analisando o balanço exergético apresentado na Tabela 2, percebe-se que todos os insumos possuem exergia há uma destruição de exergia de 19,428% que corresponde à irreversibilidade do sistema. A taxa de irreversibilidade é composta de uma parcela intrínseca tal como atrito e processos espontâneos de equalização de temperatura e concentração química; e outra evitável como calor sensível em gases da combustão. Uma vez identificada, caracterizada e quantificada, deve ser feita uma análise considerando as condições impostas para determinação da parcela de taxa de irreversibilidade evitável, visando à possibilidade de melhoria no desempenho.⁽⁴⁾

A V&M do Brasil utiliza o gás de alto-forno como combustível para a unidade termoeletrica dentro da usina e nos fornos das linhas de laminação. Os finos de carvão são reciclados no próprio alto-forno, o pó de coletor e a lama de alto-forno são destinados à indústria cerâmica e a escória é destinada à indústria de cimento. Pela análise exergética pode-se verificar se a destinação dos co-produtos está adequada, pois ela possibilita identificar a importância da exergia contida nos co-produtos embasando, muitas vezes, um melhor aproveitamento do recurso.⁽⁵⁾

Tabela 2. Valor exerético das entradas e saídas

Entradas	Exergia (%)	Saídas	Exergia (%)
Carvão	57,995	Gusa líquido	37,885
Finos de carvão	22,706	Gás de alto-forno	23,285
Gás de alto-forno	13,655	Finos de carvão	6,810
Energia elétrica	2,306	Produtos da combustão	6,214
Pelotas	0,868	Pó de coletor	2,915
Sucata	0,721	Escória bruta	1,952
Gás natural	0,609	Escória granulada	0,756
Minério de ferro	0,393	Água descartada/evaporada	0,691
Água industrial	0,363	Lama de alto-forno	0,065
Dolomita	0,194	Irreversibilidades	19,428
Oxigênio	0,078		
Ar comprimido	0,039		
Vapor	0,035		
Minério de manganês	0,022		
Nitrogênio	0,013		
Quartzo	0,004		
Total	100	Total	100

Outro dado importante extraído da análise exerética e a quantificação, na mesma base comparativa, da participação dos insumos/co-produtos na produção de gusa líquido conforme Figuras 2 e 3 respectivamente. Nesse caso é possível atribuir um custo exerético a cada um deles. Observa-se que o custo exerético do minério de ferro corresponde a apenas 0,39% de todos os insumos, entretanto deve ser analisado também qual o foi o custo exerético para produção desse minério. O mesmo questionamento deve ser feito para o insumo com a maior participação que é o carvão.

Analisando os processos de aquecimento/resfriamento dentro do volume de controle, há um potencial significativo de economia no aproveitamento da exergia física contida no gusa líquido com 2,58% e também dos produtos da combustão e escória que não foram detalhadas e estão incluídas nas irreversibilidades. As torres de resfriamento também devem ser estudadas. No caso dos insumos para produção do gusa, a análise deve ser feita baseada nas reações químicas que ocorrem dentro do próprio reator.

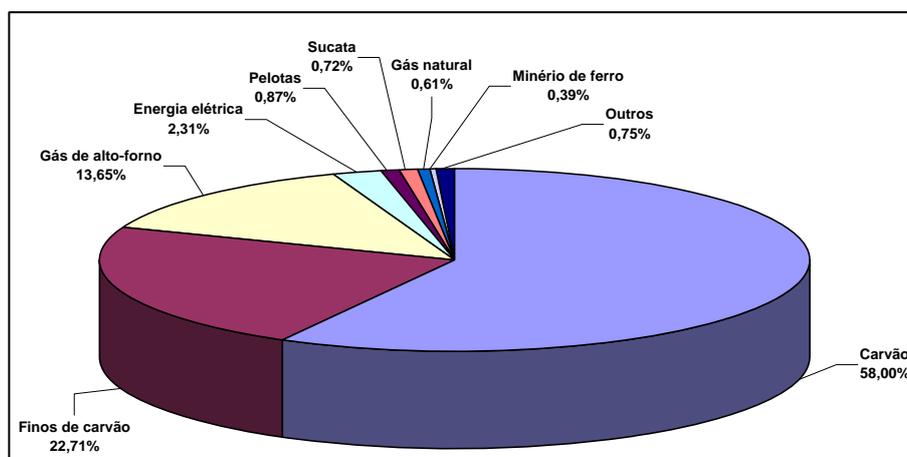


Figura 2. Participação dos insumos do alto-forno 1 e periféricos na formação do gusa.

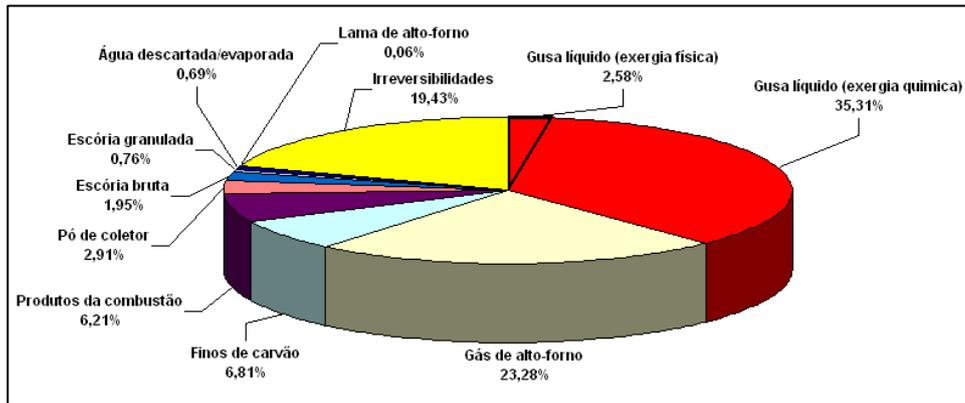


Figura 3. Participação do gusa e co-produtos na produção do alto-forno 1.

5 CONCLUSÃO

O balanço exergético mostrou-se mais eficaz que o balanço energético no sentido de identificar os reais potenciais de economia de energia e conseqüente redução na emissão de gases de efeito estufa uma vez que a qualidade da energia é considerada na análise. Além disso, pelo balanço de exergia é possível quantificar na mesma base a participação de cada insumo na formação do produto final.

Como ações futuras deve-se avaliar a aplicação de novas tecnologias, realizar práticas de manutenção preventiva incluindo o treinamento dos funcionários,⁽⁶⁾ verificar a possibilidade de redução de etapas de aquecimento/resfriamento e temperaturas de trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 DINCER, I.; ROSEN M. A. – *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. Preliminary edition. Canadá, 2007.
- 2 KOTAS T. J. – *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Second edition. Editora Krieger Publishing Company. Estados Unidos. 1995.
- 3 MENIN A. – *Exergetics analyses in a steel industry*, Brasil, 2009.
- 4 BEER J.; WORRELL E.; BLOK K. – *Future technologies for energy- efficient iron and steel making*. Energy, Inglaterra, v.23, n. 3/4, p. 123-205, 1998.
- 5 BISIO, G. - *Energy recovery from molten slag and exploitation of the recovery energy*. Energy, Inglaterra, v.22, n. 5, p. 501-509, 1997.
- 6 WORRELL E.; PRICE L.; PHYLIPSEN D. – *Energy use and carbon dioxide emissions in the steel sector in key developing countries*. Estados Unidos, 2001.