

BALANÇO ENERGÉTICO DE UM FORNO DE FABRICAÇÃO DE COQUE EM UMA COQUERIA HEAT RECOVERY *

Renata Lima Casemiro¹
Neyda de la Caridad Om Tapanes²
Ana Isabel de Carvalho Santana³
Roberta Gaidzinski⁴

Resumo

Atualmente, tanto no Brasil como no mundo, a eficiência fabril na siderurgia busca a eficácia energética, e um dos quesitos de relevância é a aplicação adequada do balanço energético. Na coquerias Heat Recovery (CHR), o aproveitamento energético é um dos objetivos principais, com fornos do tipo colmeia, o oxigênio é introduzido no forno durante o processo de coqueificação e ocorre a completa combustão do gás do carvão, pelo que as emissões de hidrocarbonetos são quase totalmente eliminadas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a realização de um balanço de energia num forno de uma CHR aplicando a metodologia da ABM. Os resultados mostraram que as perdas de energia no processo estão relacionadas com o percentual de oxigênio no COG. Com o modelo estudado foi possível analisar as perdas devido à umidade do combustível, combustão do hidrogênio, umidade do ar, percentual de hidrogênio no combustível e o carbono não queimado nas cinzas.

Palavras-chave: balanço energético, forno, coqueria, heat recovery; coque

ENERGY BALANCE OF OVEN FOR COKE MANUFACTURING IN HEAT RECOVERY COKE PLANT

Abstract

Currently, both in Brazil and in the world, factory efficiency in the steel industry seeks energy efficiency, and one of the relevant issues is the proper application of the energy balance. In the Heat Recovery (CHR) coke oven, energy utilization is one of the main objectives, with beehive-type furnaces, oxygen is introduced into the furnace during the coking process and the complete combustion of the coal gas occurs, so the hydrocarbon emissions are almost completely eliminated. In this context, the present work had the objective of realizing an energy balance in a furnace of a CHR applying the ABM methodology. The results showed that the energy losses in the process are related to the percentage of oxygen in the COG. With the model studied, it was possible to analyze the losses due to the fuel humidity, hydrogen combustion, air humidity, percentage of hydrogen in the fuel and the unburnt carbon in the ashes.

Keywords: Energy balance, oven, coqueria, heat recovery, coke.

- ¹ *Tecnologia em Processos Metalúrgicos, Tecnóloga, Sala de Controle/Coqueria, Ternium Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ² *Engenharia Química, Doutorado, Professora Adjunta, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ³ *Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Doutorado, Professora Adjunta, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*
- ⁴ *Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Professora Adjunto, Escola de Engenharia, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A usina siderúrgica sempre será uma das principais cadeias de produção primárias que servem para atender às necessidades de outros setores primários e secundários. Sua missão está sustentada em parâmetros como a eficiência de produção e competitividade, aliada às questões de segurança e meio ambiente. Atualmente, tanto no Brasil como no mundo, a eficiência fabril na siderurgia busca insistentemente a eficácia energética, aplicando programas de redução de emissões e autoprodução de energia.

A energia é uma parte essencial nas atividades laborativas. Sua utilização de forma mais eficiente é fundamental para cada setor nas indústrias para fabricação de produtos com alta qualidade, baixo custo e preços competitivos, o que possibilita entrar em um mercado cada dia mais globalizado e exigente na aquisição de produtos. (EPE,2005). Um dos quesitos de grande relevância para aplicação da energia de forma mais eficaz é o balanço energético. Seu objetivo é oferecer uma base de estatísticas sobre energia em plantas industriais, e por isso é uma determinante para seu planejamento energético.

Sua aplicação é comum em outros setores de uma usina siderúrgica. Contudo há poucos estudos sobre balanços energéticos em Coquerias. Ele é de suma importância para operação de fornos, proporcionando informações úteis para aproveitamento máximo de sua eficiência energética, oportunidade para realizar auditoria no ponto de vista energético, identificando pontos fracos e quantificando os ganhos de sua aplicação.

Visando a grande necessidade de aproveitamento de todo o poder energético dos insumos, evitando perdas e otimizando a utilização de matéria prima são realizados balanços energéticos. Um balanço energético eficaz é fundamental para a tomada de decisões no gerenciamento na indústria siderúrgica e na melhoria contínua dos processos que a compõem.

Neste contexto o presente trabalho mostra conceitos energéticos aplicados as coquerias, especificamente a do tipo *Heat Recovery*, que possam servir de base para futuros cálculos nas indústrias siderúrgicas.

O presente trabalho tem como objetivos:

- Aplicar o balanço de energia numa coqueria tipo Heat recovery aplicando a metodologia da ABM (Associação Brasileira de Materiais e Metais).
- Utilizar conceitos da transferência de calor e mostrar de forma didática e objetiva os conceitos energéticos relacionados as coquerias da indústria siderúrgica, especificamente à Coqueria Heat Recovery;

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Processo de fabricação do coque

Coqueificação convencional ou clássica ou de subprodutos ou em forno slot ou em forno horizontal - é o processo mais usado mundialmente, além da fabricação de coque com o uso de calor externo, produz, como consequência, alcatrão, óleo leve, amônia, enxofre e o gás de coqueria, a partir do gás bruto. O gás de coqueria é usado para aquecimento da própria bateria ou para fornos de reaquecimento na siderúrgica.

Coqueificação Nonrecovery beehive (forno vertical) - em que os voláteis produzidos no processo são completamente queimados no interior dos fornos (portanto, nenhum aquecimento externo é necessário). Acesso de ar aos gases formados no processo que se desenvolve na camada de carvão.

Coqueificação Heat Recovery Jewell-Thompson (desenvolvida pela Sun Coke nos EUA) - em que os voláteis produzidos no processo são parcialmente queimados no interior do forno, sendo a queima completada em câmaras de combustão situadas abaixo da soleira do forno. O calor dos gases queimados é usado para a geração de vapor para produção de energia elétrica. (Ulhôa, 2009).

Uma bateria é constituída por vários fornos agrupados de material refratário, visando economizar energia e espaço, formando uma unidade de produção.

Os refratários são sistemas complexos, constituídos de sólidos policristalinos e não cristalinos (amorfo ou vítreos), normalmente inorgânicos, polifásicos podendo conter componentes metálicos (normalmente pós ou fibras metálicas) e/ou orgânicos (piches, resinas, várias formas de carbono). (Gallo, 2004)

As funcionalidades de esses fornos serem construídos por tijolos refratários são:

- Manter o calor produzido no equipamento;
- Armazenar calor ao ser aquecido;
- Conduzir calor;
- Suportam gradientes de temperaturas

Além do coque, estes fornos produzem um gás combustível da pirólise do carvão. Os componentes principais são, em volume, cerca de 50% de hidrogênio, 30% de metano e 3% de hidrocarbonetos superiores, 7% de monóxido de carbono, 3% de dióxido de carbono e 7% de nitrogênio. O gás tem um valor de aquecimento de cerca de 20.000 kJ / m³. Atualmente o uso do coque está em média 60% do custo de produção do ferro gusa.

O ciclo operacional da coqueria pode ser resumido nas fases de preparação da mistura de carvões, enforamento, aquecimento, desenforamento e apagamento. A seguir descrevem-se como estas fases são realizadas em cada tecnologia de coqueamento.

2.2. Unidade *Heat Recovery*

A evolução dos fornos beehive deu-se com fornos experimentais que foram chamados de fornos Thompson, onde os voláteis produzidos do processo de coqueificação são parcialmente queimados (sobre a camada de carvão no interior do forno) nas câmaras situadas abaixo da soleira do forno (sole flue). Neste forno a produção de outra frente de coqueificação na camada de carvão ocorre de baixo para cima. O carregamento do carvão deste tipo de fornos é através da porta.

Usando o forno Thompson como referência foi desenvolvido o novo forno Jewell-Thompson, que tinha como característica comum com o forno Thompson o fato de que em ambos, os dutos descendentes (downcomers), as câmaras de combustão (sole flues) abaixo da soleira do forno e dutos ascendentes (uptakes) associados com cada forno são dispostos em dois sistemas separados de câmaras de combustão. A câmara de combustão é separada em duas seções, cada uma com quatro passos para combustão completa do gás, antes que ele saia do sistema de aquecimento. As diferenças principais estão ligadas ao posicionamento dos downcomers e uptakes em relação às extremidades do forno. Os avanços foram

evidenciados por: i) melhor controle de combustão, ii) qualidade de coque melhorada e iii) melhoria das técnicas de construção dos fornos. Todas essas melhorias levaram, além do importante aumento da qualidade do coque, a níveis de emissão mais baixos e a custos de reparos mais baixos (Ulhoa,2009).

Com essas modificações o objetivo visado foi alcançado: maximizar a produção de coque, além da eliminação substancial da emissão de poluentes. (Ulhoa,2009). Esta bateria de fornos recebe o nome de Heat Recovery devido o calor dos gases queimados é usado para a geração de vapor ou energia elétrica. A figura 1 seguir mostra uma bateria de fornos de coqueria “*Heat Recovery*”.

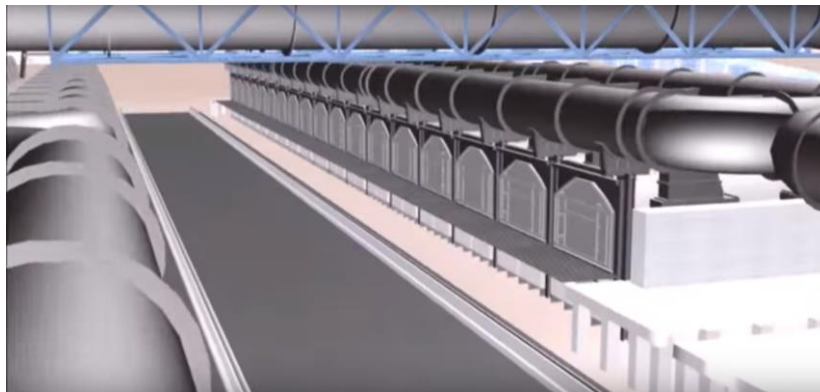


Figura 1. Bateria de Fornos de Coqueria Heat Recovery
Fonte: (EC,2015)

2.3. Transferência de calor no processo de coqueificação *Heat Recovery*

Em coquerias “*Heat Recovery*”, com fornos do tipo colmeia, o oxigênio é introduzido no forno durante o processo de coqueificação e ocorre a completa combustão do gás do carvão, pelo que as emissões de hidrocarbonetos são quase totalmente eliminadas. (Moraes Junior,2010)

O processo nestes fornos tipo Jewell-Thomsom indica seu funcionamento em pressão negativa. A carga de carvão absorve calor dos refratários pela base e libera material volátil combustível. O gás em combustão parcial é extraído através de cantoneiras nas paredes do forno. O gás atravessa a tubulação sob a base, onde é adicionado ar para completar a combustão, sofrendo o processo de oxidação sendo extraído em captações nas paredes do forno. O gás em combustão no topo do forno é succionado por um coletor que o encaminha para uma caldeira ou chaminé. (Moraes Junior,2010)

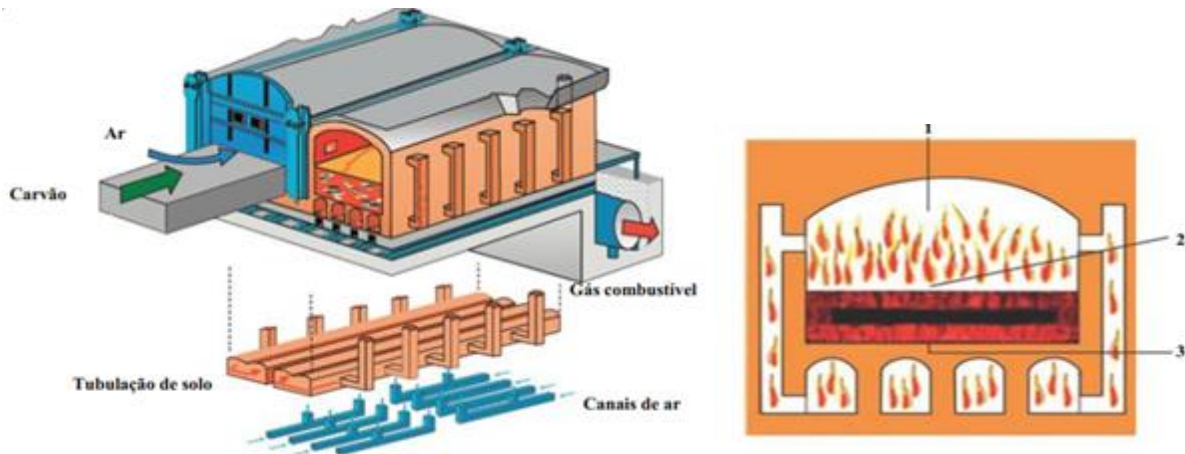


Figura 2. Esquema de um forno heat recovery
Fonte: (Moraes Junior,2010)

2.4. Balanço de energia aplicado ao processo de coqueificação

2.4.1. Balanço energético

Um balanço energético descreve o fluxo de energia das diferentes cadeias de energéticos através do sistema energético, como petróleo e derivados, eletricidade, gás natural, carvão, renováveis e resíduos. Entretanto, pela diversidade de fontes energéticas, assim como suas especificidades características, a contabilização da produção, transformação e do consumo de todas as fontes de energia em um balanço energético agregado consiste numa tarefa bastante complexa. (EPE 2005)

2.4.2. Metodologia do balanço energético (BEN) DA EPE

O primeiro passo na construção de um balanço energético é a uniformização de conceitos e definições fundamentais utilizados na sua elaboração, tais como as fontes energéticas, suas características físicas, os processos principais de fluxo da energia, os parâmetros de conversão das unidades de medida para as fontes energéticas, as convenções e as definições usadas para a coleta, consolidação e apresentação das estatísticas de energia, bem como a estrutura setorial de produção e consumo utilizada. Estes conceitos, definições e referências são aplicados configurando a metodologia de elaboração. (EPE 2005).

No Balanço Energético Nacional, da mesma forma que os demais balanços internacionais, as unidades comerciais são convertidas em uma unidade comum que permita a realização de somatórios e conseqüentemente o fechamento do balanço. A metodologia do Balanço Energético Nacional adota a tonelada equivalente de petróleo (tep). Até 2001, o conteúdo energético de referência para a conversão para tep era baseado no poder calorífico superior do petróleo, correspondendo a 10.800 Mcal. A partir de 2002 (ano base 2001), passou-se a adotar um conteúdo energético de referência para a tonelada equivalente de petróleo (tep), correspondendo a 10.000 Mcal, o mesmo valor adotado pelos órgãos responsáveis pela elaboração de balanços internacionais, como a Eurostat e a IEA. Adicionalmente, a conversão para tep passou a ser realizada a partir do poder calorífico inferior dos energéticos (PCI) para a elaboração da matriz de dados energéticos (1º Princípio da Termodinâmica).

A metodologia utilizada será a soma do quantitativo de insumos e seus respectivos poderes caloríficos inferiores necessários para fabricação de 1 tonelada de coque metalúrgico em fornos *heat recovery*.

Tabela 1. Valores em média do Poder calorífico inferior dos combustíveis
Fonte:(EPE 2005)

Insumos	Unidade	Energia (Gcal)/Unidade
Carvão Metalúrgico	Ton	6,9
Ar	Ton	----
Coque	Ton	6,9
Gás de coqueria	Tcoque	4,3

3. MATERIAIS E METODOS

Pela complexidade de realizar um balanço energético de uma Coqueria *Heat Recovery* devido a utilização de muitos insumos e variáveis, será abordado o balanço energético de um forno de Coqueria *Heat Recovery* citado no artigo “*A numerical modelling of nonrecovery/heat-recovery cokeovens*”, de autoria de Dr. Ronald Kim, Dr. Patrick Schwöppe e de Dr. Rafat Buczyński.

3.1. Forno de coqueificação *heat recovery*

O presente forno descrito foi citado por Kim, 2014. O processo de coqueificação do carvão no forno de recuperação de calor é caracterizado por uma utilização completa do gás produzido durante o processo. O aquecimento está em uma temperatura acerca de 1100°C. A mistura de carvões de coque é enfiada como "pacotes comprimidos" no forno quente. O leito fixo é de forma paralelepípedica, sendo as dimensões típicas aprox. 1 m de altura, 4 m de largura e 15 m de comprimento. Devido à radiação de calor das paredes do forno, o carvão é gradualmente aquecido e o processo de coqueificação começa. O forno possui um formato horizontal e opera sob pressão negativa. O ar para realizar a combustão primária é introduzido através das portas do forno, onde ocorre a queima parcialmente dos voláteis na câmara do forno. O ar secundário é introduzido nos tubos de descarga, que corre o fluxo de forma serpentina sob o leito de carvão. É importante notar que acima do leito fixo, a combustão de voláteis ocorre sob uma deficiência de oxigênio (relação excesso de ar está na faixa de 3% a 6%). No sole flue, a relação é igual a 15% a 18%. O formato dos canais e o controle do fluxo de ar permitem que a taxa de coque na parte superior e inferior do leito de carvão seja igualada e o controle do fluxo de ar permite que a taxa de coque na parte superior e inferior do leito de carvão seja uniforme. Kim,2014, relata que a temperatura do gás no decorrer do processo de coqueificação está em uma média de 1300° C. Devido às temperaturas geradas, todos os hidrocarbonetos tóxicos e subprodutos são incinerados dentro do forno. Os gases quentes passam em um túnel de gás residual para geradores de vapor de consumo-recuperação (HRSGs), onde o vapor de alta pressão é produzido para fins de aquecimento ou geração de energia. O gás

residual fresco é limpo em uma planta de dessulfuração de gases de combustão antes de ser descarregado para a atmosfera.

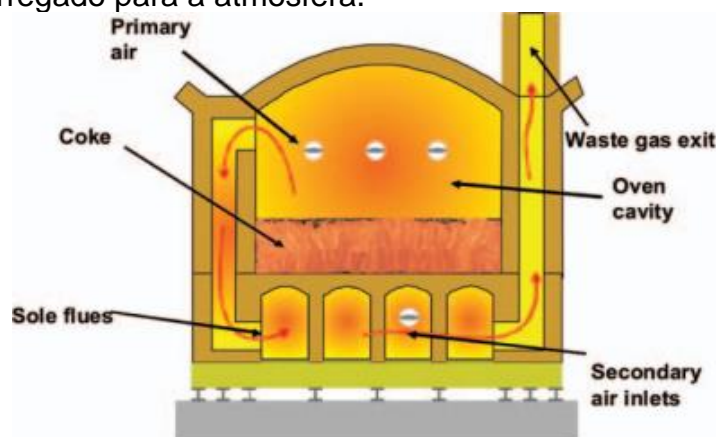


Figura 1. Esquema do fluxo de gás de um forno Heat Recovery. Fonte: (Paul,2011)

3.2. Indicadores energéticos de um forno heat recovery utilizando a metodologia da EPE

Para os combustíveis que originam água nos produtos da combustão são definidos os poderes caloríficos superiores e inferiores. Em toda queima de hidrocarbonetos ocorre a geração de H₂O durante o processo de combustão. O conceito de poder calorífico superior (PCS) inclui o calor latente de condensação gerado quando o vapor d'água resultante se condensa. Já conceito de poder calorífico inferior (PCI) não considera este valor, sendo mais próximo da realidade, pois em geral o vapor d'água se perde através do duto de saída do equipamento no qual ocorreu a queimado combustível, juntamente com os demais produtos da combustão.

Tabela 2. Insumos e produtos para fabricação de coque
Fonte:(Modificado do EPE 2005)

Insumos	Unidade	Poder Calorífico inferior	Unidade
Carvão	Ton	6,9	Gcal
Gás de coqueria	Tcoque	4,3	Gcal
Produtos	Unidade	Poder Calorífico Inferior	Unidade
Coque	Ton	6,9	Gcal
Gás de coqueria	Tcoque	4,3	Gcal

Coelho, 2003, relatou que o carvão é caracterizado quanto ao carbono fixo, matéria volátil, cinzas e umidade, através de uma análise imediata. O teor de matéria volátil ou o carbono fixo de um carvão, base seca permite a sua classificação no sistema ASTM dentro da faixa de "rank" que vai do carvão betuminoso (alto volátil) até o antracito, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 3. Caracterização de carvão metalúrgico (Fonte: NPTEL, 2019)

Umidade	2.4
VM	29.4
FC	58
A	9.7
S	0.5

O carvão consiste em compostos orgânicos complexos nos quais os átomos de C,H,N e S estão ligados entre si. Na análise final, carbono, enxofre, hidrogênio e nitrogênio são determinados pela análise química e expressos em uma base livre de umidade. .

Tabela 4. Análise final de carvão metalúrgico. (Fonte: NPTEL, 2019)

Análise	% m/m
Carbon	78
Hydrogen	5
Oxygen	4.5
Nitrogen	1.2
Ash	7
Moisture	4.3

O COG, como é chamado o gás de coqueria, dos fornos *heat recovery* contém em média 60% de H₂, 24% de CH₄, 6% de CO, 2% de CO₂ e 6% de N₂, mas somente o carbono é oxidado no canal até o CO liberar calor. O CO₂ reage com o carbono do coque na energia consumidora de CO, ao passo que H₂, N₂ e CO são apenas aquecidos no canal. O metano é consumido principalmente na parte superior do forno em condições sub-estequiométricas. O monóxido de carbono e o hidrogênio são oxidados na soleira do forno. O COG reduz a temperatura da chama adiabática mais do que outros materiais injetados. O leito de coque / carvão repousa sobre o calor do forno. Este leito é aquecido de baixo para cima, então as frentes de reação existem. A reação do coque é finalizada quando as frentes de reação se encontram, por tanto o carvão é completamente reagido ao coque. (Seetharaman,2014)

Conforme mencionado anteriormente, de acordo com a composição do gás COG contém moléculas polares como o CO₂, que em estado de vapor emitem e absorvem radiação na troca de calor dentro do forno

Para obtenção de um coque de qualidade para o alto-forno, ele deve apresentar algumas características como máximo teor em carbono e mínimos teores em cinza, enxofre e umidade e adequados valores de reatividade ao CO₂ e H₂O. Na Tabela 6,pag 43, o exemplo das especificações de qualidade do coque na CST. (Coelho, 2003).

Tabela 5. Especificação da qualidade do coque Fonte: (Coelho,2003)

Parâmetro	(%)
Umidade	≤ 0,30
Carbono fixo	> 88,6
Cinza	≤ 10,7
Enxofre	≤ 0,70

Os dados do consumo final de carvão mineral e coque, descritos na tabela abaixo, são obtidos diretamente nas indústrias siderúrgicas (CSN, USIMINAS, AÇOMINAS, CST, COSIPA e outras) e os dados de comércio internacional são obtidos na Secretaria de Comércio Exterior – SECEX do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior –MIDC.

Tabela 6. Produção anual de insumos e produtos da Coqueria
Fonte:(Relatório Final da BEN – 2017, ano base 2016.)

Insumos e Produtos	Produção	Unidade
Carvão Metalúrgico	10698	Mt
Gás de coqueria	3650	Milhões m3
Coque	9233	Mt

4. RESULTADO

4.1 Balanço energético de um forno *Heat Recovery*

De acordo com os dados da Tabela 8, página 45, descreve a metodologia da EPE e valores de consumo do Relatório Final da BEN 2017, ano base 2016 – aplicou-se o balanço de entradas e saídas em um forno de fabricação de coque heat recovery, efetuou-se o Balanço energético para fabricação do coque.

Tabela 7. Produção anual de insumos e produtos da Coqueria
Fonte:(Relatório Final da BEN – 2017, ano base 2016.)

En trada de insumos	Unidade	Poder Calorífico Inferior	Unidade	Consumo específico	Unidade	Entrada de Energia	Unidade
Carvão	Ton	6,9	Gcal	1,12	Ton	7,73	Gcal
Gás de coqueria	Tcoque	4,3	Gcal	0,36	KNm3/Tcoque	1,55	Gcal
Saída de Produtos	Unidade	Poder Calorífico Inferior	Unidade	Consumo específico	Unidade	Saída de Energia	Unidade
Coque	Ton	6,9	Gcal	1	Ton	6,9	Gcal
Gás de coqueria	Tcoque	4,3	Gcal	0,36	KNm3/Tcoque	1,55	Gcal
				Energia		Unidade	
Total de Entrada				9,28		Gcal	
Total de Saída				8,45			
Balanço				0,83			

É importante que entre o quadro acima e as figuras na próxima página, houvesse uma breve explicação referente a figura que virá.

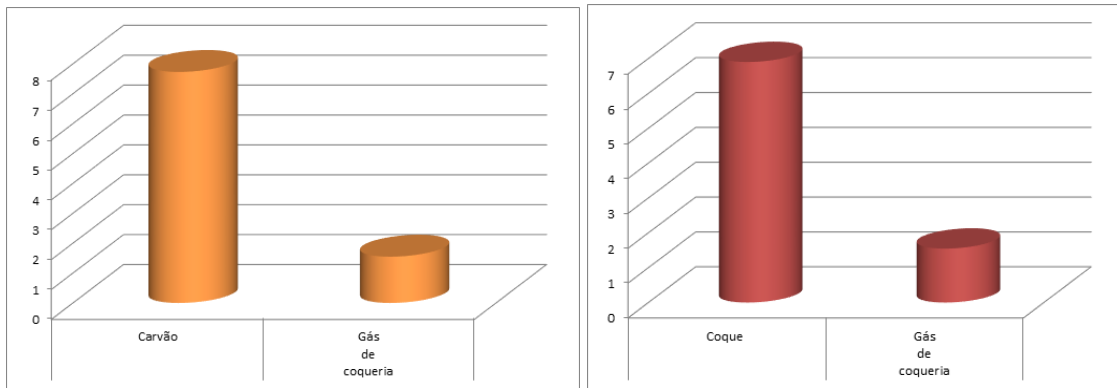


Figura 2. Entrada e saída de energia.

É importante que entre o quadro acima e as figuras na próxima página, houvesse uma breve explicação referente a figura que virá.

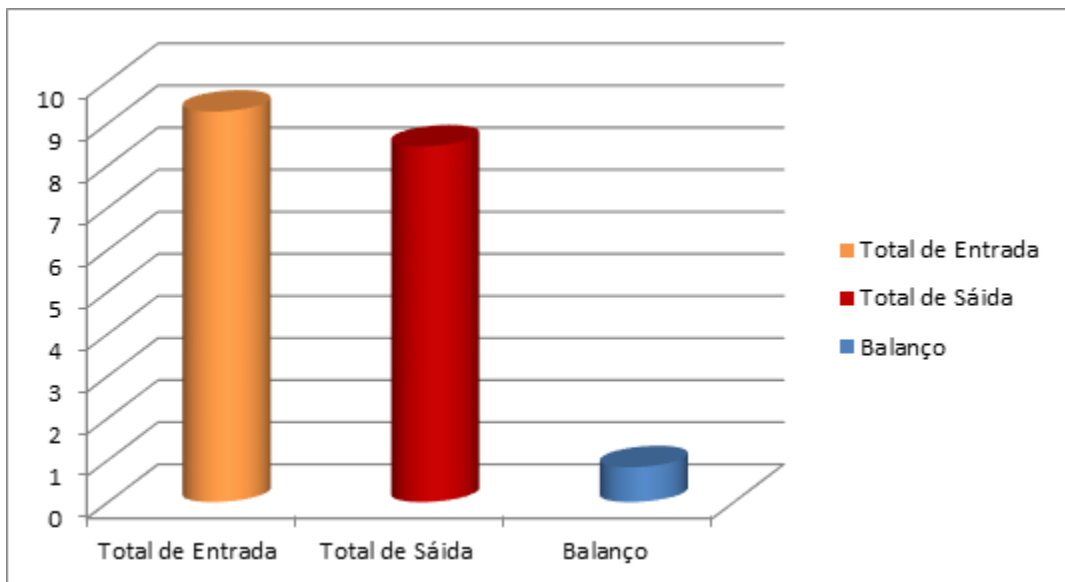


Figura 3. Balanço energético global

Tomando por base a produção anual em 2006 das siderúrgicas citadas no Balanço Energético Nacional – EPE, os resultados do Balanço energético de produção no BEN.

Tabela 8. Balanço energético dados de produção BEN – ano base 2016

Entrada de insumos	Unidade	Poder Calorífico Inferior	Unidade	Consumo anual	Unidade	Entrada de Energia	Unidade	
Carvão	Ton	6,9	Gcal	10.698	Mt	73.817	Gcal	
Gás de coqueria	Tcoque	4,3	Gcal	3.650.000	Milhões m3	15.695.000	Gcal	
Saída de Produtos	Unidade	Poder Calorífico Inferior	Unidade	Consumo anual	Unidade	Saída de Energia	Unidade	
Coque	Ton	6,9	Gcal	9.233	Mt	63.708	Gcal	
Gás de coqueria	Tcoque	4,3	Gcal	3.650.000	Milhões m3	15.695.000	Gcal	
			Energia		Unidade			
Total de Entrada			15.768.817		Gcal			
Total de Saída			15.758.708					
Balanço			10.109					

As perdas na relação carvão/coque estão ligados ao desprendimento de cinzas e material volátil no processo de combustão no forno. O vapor d'água oriundo da umidade não será considerada na base dos cálculos. Neste caso o material volátil queimado totalmente na câmara secundária do forno é transformado em gás de coqueria.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi proposto como um meio de facilitar a determinação dos cálculos de perdas de energia durante o processo de coqueificação em fornos heat recovery, e também encontrar melhores condições de queima no processo de combustão.

As perdas de energia no processo estão relacionadas com relação ao percentual de oxigênio no COG.

Com o modelo estudado é possível analisar as perdas devido à umidade do combustível, combustão do hidrogênio, umidade do ar, o percentual de hidrogênio no combustível e o percentual carbono não queimado nas cinzas, visto que esta análise foi realizada somente para o carvão.

.A abordagem deste trabalho também relata o balanço energético baseado na Lei da Conservação da energia que fundamenta que a energia que entra em um sistema, teoricamente, é mesma energia que sai de um sistema.

Através dos dados dos calores sensíveis dos insumos é possível a realização de conversão de dados para energia elétrica, comumente utilizada na elaboração de estatística energética industriais. Por conter informações para realização de um balanço de massa, este fato sugere a sua elaboração futuramente. Como também o cálculo de entalpia dos gases reais na temperatura real do processo, estudos de exergia (2ª lei da termodinâmica), e analisar minuciosamente as frações de emissão dadas pelo modelo proposto.

Agradecimentos

Quando houver Auxílios ou Bolsas provenientes de órgãos de fomento, os autores deverão fazer referência ao nome da instituição financiadora da pesquisa, ao ano e ao número do processo a que se refere o apoio.

Demais casos são opcionais.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, E.Q., (2015) Gerenciamento e Previsão de Demandas para uma Planta Siderúrgica Típica Brasileira, CEFET-MG p. 108
2. ARAÚJO, L.A. (1997) Manual de Siderurgia, p. 125.
3. COELHO, R.J., (2003) Modelos de Previsão de Qualidade Metalúrgica do Coque a partir da qualidade dos carvões individuais e do coque obtido no forno piloto de coqueificação da CST p. 33 46 47
4. EPE, Empresa Brasileira de Pesquisas Energéticas, (2005) Procedimentos de elaboração de balanços energéticos, p. 7 10 14 15
5. EPE, Empresa Brasileira de Pesquisas Energéticas, Relatório Final BEN 2017, ano Base 2016 p. 17 26 27 29
6. GALLO, M. (2004) Apostila de Siderurgia, São Paulo p. 23 24 28 34 35.
7. KIM, R., SCHWÖPPE, P., BUCZYNSKI, R., (2014) A numerical modelling of nonrecovery/heat-recovery cokeovens, p. 2 3
8. MORAES JUNIOR, W.F.M. (2010) Eficiência e precaução na siderurgia a base de coque: A implementação de uma Coqueria em Ipatinga, Minas Gerais
9. NPTEL. Materials and Heat Balance in Metallurgical Processes, <http://nptel.ac.in/courses/113104060/lecture26/26_6.htm>. Acessado Maio 2019.
10. NPTEL. Materials and Heat Balance in Metallurgical Processes, <http://nptel.ac.in/courses/113104060/lecture26/26_7.htm>. Acessado Maio 2019
11. SEETHARAMAN, S. (2014) Treatise on Process Metallurgy, V.3 ,p. 31 , Ed. Elsevier
12. SILVA, J.N. (2016) Apostila de Siderurgia, IFPA, acesso em 2018, disponível em http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/siderurgia.pdf
13. ULHÔA, M. B. Mineração de carvão. In: ULHÔA, M. B. et al... (2003), Carvão aplicado à fabricação de coque de alto-forno. São Paulo: ABM, p. 15 16.
14. ULHÔA, M. B. (2009) Conceitos estatísticos Coqueria - São Paulo: p. 2 –3 13 33 35.