

USO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PLANTAS DE PRODUÇÃO DE AMÔNIA

Luciane Pimentel Costa Monteiro

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta para a avaliação da eficiência energética em plantas de Amônia através de indicadores chave de desempenho (KPI). O acompanhamento do consumo de insumos na indústria pode levar a reduções nas emissões de gases do efeito estufa (GEE) atrelado a ganhos de eficiência energética nas operações industriais. Ações de monitoramento contínuo focado na gestão por indicadores de desempenho relacionados a dados de emissões e ao consumo de recursos naturais poderão auxiliar em uma intervenção direta e eficaz e ser um gerador de ações de melhorias nos processos produtivos e/ou em condutas operacionais. Estas informações quando disponibilizadas para as equipes de operação, em conjunto com ações de gerenciamento voltadas para a melhoria contínua poderão propiciar ganhos de eficiência energética, redução nas emissões de gases do efeito estufa e tornar os processos produtivos mais lucrativos.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Gases do Efeito Estufa. Indicadores de Desempenho. Processos Industriais.

Abstract

The purpose of this paper is present a tool for evaluate the energy efficiency using key performance indicators (KPI) to Ammonia plants. Monitoring the consumption of inputs in the industry could generate emissions reductions of greenhouse gases (GHG) linked to energy efficiency gains in industrial operations. Actions focused on continuous monitoring of performance indicators related to emissions data and natural resources consumption allows an effective and direct intervention, and could generate actions in production processes and / or operating practices improvements. Such information when available to operating teams in conjunction with management actions based on continuous improvement could provide energy efficiency gains, reduced emissions of greenhouse gases and make the processes more profitable.

Key words: Energy Efficiency. Green House Gases. Key Performance Indicators. Industrial Processes.

1-INTRODUÇÃO

Com as crescentes demandas por seus produtos e com as crescentes pressões para redução de gases de efeito estufa nota-se uma tendência em investimentos na busca por diminuição dos custos de produção associados a ganhos de produção. Desta forma, avanços no controle dos processos produtivos focado na redução de perdas, monitoramento rígido no consumo de seus recursos e na eficiência energética de seus processos tornam-se atividades essenciais nas rotinas operacionais.

Segundo dados da Society of Petroleum Engineers, a demanda mundial por energia deverá dobrar em 2050. Dados divulgados pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), mostram que as emissões globais de gases que causam o efeito estufa deverão aumentar em 50% até 2050, principalmente em razão da maior demanda por energia e do crescimento econômico dos grandes países emergentes. De acordo com organização, emissões de dióxido de carbono (CO₂),

um dos principais gases que provocam o efeito estufa, deverão crescer 70% até 2050 em razão do aumento no uso de energia. A tabela 1 mostra uma perspectiva de emissão de gás carbônico até 2025.

A indústria é uma das maiores consumidoras de energia no Brasil e no mundo. O custo da energia pode representar cerca de 10% dos valores dos custos de produção.

Um insumo bastante comum e muito importante na indústria é o vapor d'água. Utilizado como meio de geração, transporte e utilização de energia. Grande parte da geração de energia elétrica do hemisfério norte utiliza vapor d'água como fluido de trabalho em ciclos termodinâmicos. A geração de vapor é parte importante nas indústrias. Segundo EINSTEN et al (2001). Cerca de 40% do combustível fóssil queimado na indústria dos EUA é direcionado para a geração de vapor. O vapor gerado, por sua vez, é usado em processos de aquecimento, para concentrar e purificar líquidos, como também pode ser utilizado diretamente como matéria-prima.

Tabela 1 – Emissão de dióxido de carbono por região em milhões de toneladas métricas de dióxido de

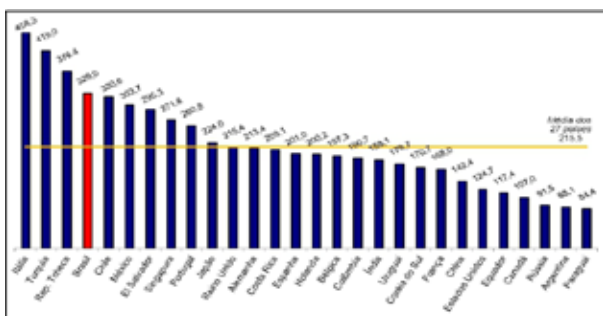
Region/Country	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
OECD																					
OECD Americas	7079	7014	7123	6926	6456	6693	6665	6704	6748	6740	6773	6814	6828	6852	6880	6924	6987	7022	7073	7127	7169
United States	5996	5918	6022	5838	5426	5644	5601	5622	5659	5651	5680	5700	5707	5724	5742	5777	5825	5845	5879	5914	5938
Canada	620	594	607	595	559	569	570	576	576	571	569	578	578	579	580	582	587	593	598	603	608
Mexico/Chile	463	502	494	493	471	480	494	506	513	517	524	536	542	549	558	565	575	585	596	610	623
OECD Europe	4400	4428	4413	4345	4111	4094	4097	4115	4116	4118	4115	4133	4135	4143	4153	4147	4150	4144	4150	4153	4156
OECD Asia	2172	2165	2206	2201	2058	2074	2112	2110	2132	2145	2143	2131	2134	2146	2163	2181	2196	2206	2213	2219	2224
Japan	1241	1240	1254	1215	1087	1090	1114	1102	1118	1128	1125	1117	1117	1121	1131	1142	1149	1150	1146	1141	1136
South Korea	494	484	503	522	512	528	539	547	549	550	553	546	547	553	557	562	569	575	582	589	597
Australia/New Zealand	437	440	449	464	459	456	458	461	465	467	466	468	470	472	474	477	479	481	485	488	492
Total OECD	13651	13606	13742	13472	12625	12861	12873	12929	12996	13003	13031	13079	13096	13142	13196	13252	13334	13373	13436	13499	13549
Non-OECD																					
Non-OECD Europe and Eurasia	2782	2823	2790	2832	2724	2759	2787	2806	2802	2799	2803	2776	2767	2774	2772	2767	2765	2763	2770	2774	2782
Russia	1645	1668	1618	1663	1605	1632	1651	1655	1650	1646	1648	1623	1614	1619	1614	1607	1602	1597	1600	1598	1603
Other	1137	1155	1172	1169	1119	1127	1136	1151	1151	1153	1154	1153	1154	1155	1158	1159	1163	1166	1170	1176	1179
Non-OECD Asia	8359	8835	9416	10100	11154	11736	11916	12185	12527	12870	13238	13358	13631	13913	14202	14475	14817	15192	15595	16034	16475
China	5513	5817	6257	6801	7797	8262	8381	8598	8853	9110	9386	9382	9574	9773	9961	10128	10359	10617	10894	11190	11492
India	1182	1281	1367	1462	1549	1602	1633	1653	1697	1756	1802	1858	1902	1944	1997	2056	2116	2182	2250	2325	2398
Other	1665	1737	1793	1838	1807	1872	1901	1933	1977	2004	2050	2117	2155	2196	2244	2291	2341	2394	2452	2519	2585
Middle East	1400	1446	1479	1581	1604	1692	1743	1805	1832	1861	1889	1933	1944	1969	1989	2019	2039	2075	2111	2158	2199
Africa	978	984	1016	1078	1062	1107	1137	1165	1176	1192	1209	1236	1252	1270	1290	1311	1333	1358	1382	1409	1430
Central and South America	1011	1064	1085	1128	1111	1150	1184	1223	1231	1253	1287	1307	1329	1352	1372	1386	1394	1412	1437	1466	1497
Brazil	365	380	397	423	414	440	468	497	505	516	528	531	537	549	563	579	587	599	613	628	644
Other	646	684	688	705	698	710	716	725	726	736	759	776	792	803	809	807	807	813	824	838	853
Total Non-OECD	14530	15152	15786	16718	17655	18445	18766	19184	19567	19974	20426	20611	20922	21277	21625	21958	22349	22799	23294	23842	24383
Total World	28181	28758	29529	30190	30280	31305	31640	32113	32562	32977	33457	33690	34018	34420	34821	35210	35683	36172	36730	37341	37932

Fonte: International Energy Outlook, 2011 - U.S. Energy Information Administration

Uma análise em sistemas de vapor indica que em uma indústria típica sem uma manutenção preventiva ou preditiva, 28% dos purgadores de vapor apresentam problemas. Para melhorar o uso do vapor, as indústrias devem empregar um método apropriado para testar os purgadores de vapor para identificar vazamentos, fazer o reparo e quando necessário, fazer a troca dos purgadores que não estejam funcionando corretamente.

A energia elétrica é um insumo essencial para a atividade industrial e a garantia de seu fornecimento, com qualidade, segurança e preços módicos, é fundamental para o desenvolvimento da economia e para o crescimento da produção industrial. O gráfico 1 mostra o consumo de energia elétrica no Brasil e em outros países do mundo.

Gráfico 1 – Tarifa industrial de consumo de energia elétrica – países selecionados (R\$/MWh)



Fonte: Quanto Custa A Energia Elétrica Para A Indústria No Brasil? 2011 - FIRJAN

Nota: Valores convertidos para Real: 1,834 R\$/US\$ (OCDE, 2011).

Da análise do gráfico 1 observa-se que o Brasil possui uma das maiores tarifas de energia elétrica do mundo. Contribui para o alto valor da tarifa os custos com geração, transmissão e distribuição, encargos setoriais, tributos e perdas técnicas.

Uma análise mais detalhada dos processos produtivos podem identificar reduções nos custos industriais. Uma estratégia interessante na redução do consumo de insumos concentra-se na eficiência energética, tanto para sistemas novos quanto para os existentes. A eficiência energética pode ser encarada como uma solução interessante gerando retornos

atraentes e imediatos, podendo também, proporcionar robustez na sustentabilidade e rentabilidade das operações. Um processo de gestão eficaz começa com uma compreensão e medição do consumo de energia e nas emissões de GEE e a incorporação desta análise nos processos de tomada das decisões.

2-USO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

O consumo de energia nos processos industriais pode ser determinado pelo nível de atividade, estrutura do setor e a eficiência energética. As mudanças no consumo de energia das indústrias não estão exclusivamente relacionadas a eficiência energética nos processos industriais, mas também a fatores políticos, econômicos e ambientais (PHYLIPSEN et al, 1997). Outros fatores devem ser considerados nesta análise como, por exemplo, a capacidade de produção e o tempo de vida da unidade industrial.

A utilização de indicadores voltados para avaliação da eficiência energética de processos na indústria vem crescendo de importância no mundo e no país. Os resultados de uma análise de indicadores de eficiência energética poderão estar ligados a ações de planejamento estratégico, de gestão e tecnologia ambiental e de conservação de energia.

Na prática, cabe destacar que a aplicação da análise destes indicadores e sua relevância em descrever a interrelação existente entre eficiência energética e os recursos consumidos associam-se principalmente a fatores econômicos e político-ambientais dentro da indústria.

O uso de indicadores pode gerar impactos nos processos produtivos. Na indústria, a análise dos indicadores de eficiência energética pode auxiliar na definição de diretrizes relevantes, tais como:

- direcionar mudanças no consumo energético;
- estabelecer políticas de eficiência energética;
- indicar limitações estruturais que impactam no aumento da eficiência energética;
- substituição de processos tecnológicos;
- alteração no uso e na escolha das matérias-primas que são utilizadas nos processos produtivos com o objetivo de reduzir a demanda por energia;
- servir de ferramenta na avaliação de metas para políticas ambientais voltadas para reduções de emissões gasosas.

2.1 TIPOS DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os indicadores comumente utilizados para análise de eficiência energética na indústria podem ser subdivididos em quatro grupos (GUERRA et al, 2010):

- Termodinâmico;
- Físico-termodinâmico;
- Econômico-termodinâmico;
- Econômico.

Os indicadores que podem ser analisados segundo as leis da termodinâmica estão contemplados no primeiro grupo. Os indicadores físico-termodinâmicos são conhecidos também como indicadores específicos. Avaliam o consumo de um determinado insumo relativizado a uma determinada saída (produção). O terceiro grupo fornece uma indicação na qual o produto final é mensurado a preços de mercado em relação a unidades termodinâmicas. O quarto grupo de indicadores avalia as modificações causadas pela eficiência energética, em termos monetários, podendo ser considerado para avaliação tanto a energia que entra, quanto a que sai de um determinado processo.

2.1.1 INDICADORES TERMODINÂMICOS

A primeira lei da Termodinâmica, também conhecida como princípio de conservação de energia é um princípio geral que não diz respeito ao funcionamento interno do próprio sistema. Sejam quais forem os detalhes do comportamento molecular do sistema, o calor adicionado poderá aumentar a energia interna do sistema, possibilitar que o sistema realize trabalho externo, ou ambos. Para o caso de sistemas isolados, a energia total inicial é igual à energia total do sistema no final do processo, qualquer que seja o caminho seguido pelo sistema para passar do estado inicial ao final. A energia total do sistema é função de estado e não do caminho seguido pelo mesmo para chegar a esse estado.

Processos termodinâmicos podem ser reversíveis ou irreversíveis. Nos processos reversíveis toda energia convertida de uma forma em outra pode ser aplicada para restaurar o sistema ao estado inicial, sem deixar quaisquer vestígios da ocor-

rência do processo. Assim, os processos reversíveis são ideais. Nos processos irreversíveis tal restauração não é possível, porque ocorrem perdas na transformação de uma forma de energia em outra.

Na realidade, a maioria dos processos industriais tem como desafio superar irreversibilidades. Qualquer transformação energética não deve ser associada a "perda" ou a "gasto" de energia, mas sim a uma degradação energética que impede de realizar, de novo, a mesma transformação, conforme decorre da aplicação da 2ª Lei da Termodinâmica.

O Teorema de Carnot estabelece um valor de rendimento máximo da conversão de calor em trabalho. É função da temperatura da fonte quente, T_q , e da temperatura de fonte fria, T_f , dado pela seguinte equação:

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_q - T_f}{T_q} \quad (\text{eq. 1})$$

A equação de Carnot estabelece um limite superior de eficiência para todas as máquinas térmicas. Efetivamente, as várias formas de energia não são totalmente convertidas umas nas outras. As formas de energia podem ser convertidas integralmente em calor, mas não se pode converter integralmente calor em outras formas de energia.

A utilização da primeira lei termodinâmica não propicia uma idéia realista de melhorias que podem ser realizadas em um dado sistema para que se obtenha um melhor desempenho. Tal eficiência também não leva em consideração a qualidade da energia na entrada e na saída do sistema. Não é feita a distinção entre fontes de elevada qualidade energética, que são mais eficientes e produtivas e fontes de baixa qualidade e menos produtivas (ABREU et al, 2010).

A segunda lei da termodinâmica parte do princípio que as diferentes formas de energia tem qualidades que lhes são características. Essas formas de energia não podem ser indiferentemente convertidas, umas nas outras e determina a direção que essas transformações podem ocorrer em relação ao Universo. A energia flui sempre de uma maneira que a entropia (grau de randomicidade do sistema) total do sistema aumente para sistemas irreversíveis. Nos processos industriais, de uma forma geral, o efeito da irreversibilidade pode ser verificado uma vez que a conversão de

energia interna da biosfera (são exemplos recursos fósseis e físseis) passa necessariamente, diante das tecnologias existentes, pelo ciclo térmico irreversível e, portanto, caminha para o aumento da entropia (ABREU et al, 2010).

Neste contexto, esta segunda lei tem como base a definição do limite para os processos. Representando a definição de eficiência termodinâmica e assim, permitindo que se tenha uma idéia das melhorias que podem ser realizadas. Por outro lado sua aplicação é restrita (Patterson, 1996). Correntes defendem o uso de indicadores termodinâmicos, tendo como base de cálculo a exergia. A exergia é definida como o máximo trabalho teórico útil obtido quando um sistema é trazido ao equilíbrio termodinâmico com o ambiente por meio de processos nos quais este sistema interage somente com seu ambiente (TOXOPEUS et al, 2006).

Na engenharia mecânica, uma equação disseminada para cálculo da exergia pode ser representada pela equação 2:

$$ex = (h - h_0) - T_0 * (s - s_0) \quad (eq. 2)$$

Conforme mostrado na equação acima, exergia (e_x) é dependente da entalpia (h e h_0) e entropia (s e s_0) e estas são função da temperatura (T), pressão, estado físico e composição. O índice subscrito representa as condições de entalpia e entropia nas vizinhanças do sistema.

O conceito de exergia pode ser útil para analisar aspectos relacionados aos ciclos de vida dos produtos uma vez que o conteúdo exergético pode determinar o fluxo de energia perdido.

Partindo-se de um balanço exergético para um sistema hipotético torna-se viável a construção direta de um indicador. A exergia (ex) é a diferença entre o somatório dos fluxos exergéticos que entram no sistema ($\sum ex_e$) através de fontes de combustível e matérias prima, suas perdas ($\sum ex_s$) e o que é consumido no processo ($\sum ex_c$).

$$ex = \sum ex_e - \sum ex_s - \sum ex_c \quad (eq. 3)$$

Este indicador não faz distinção entre fontes renováveis e não renováveis. Esta análise pode ser útil para suportar decisões durante a fase de projeto de equipamentos e processos, do ponto de vista energético. Projetos com minimização da destruição de exergia possuem consumos energéticos menores. Além disso, esta alternativa pro-

vavelmente causará o menor impacto ambiental. Porém, segundo Szargut et al (1988) mesmo assim é impossível avaliar exatamente as perdas de exergias atribuídas à diferentes tipos de irreversibilidades, a menos que suposições arbitrárias sejam feitas com a finalidade de separar os fenômenos físicos e químicos.

2.1.2 INDICADORES FÍSICO-TERMODINÂMICOS

Esta categoria de indicadores utiliza medidas físicas e termodinâmicas para mensurar o consumo requerido em função do seu uso final. Devido a possibilidade de contabilizar o produto final em quantidades físicas, estes indicadores podem ser comparados e analisados em séries temporais. O uso de indicadores físico-termodinâmicos para avaliação de desempenhos específicos para o consumo de energia pode ser útil para identificar áreas de baixo desempenho.

A medida da eficiência energética através destes indicadores pode trazer algumas dificuldades em função da sua relação produtiva. A complexidade dos processos produtivos podem ser uma barreira em função da especificação das diferentes entradas e saídas de energia ligadas a diferentes linhas de produção.

Na indústria, para reduzir falhas na medição entre o consumo de energia e a medida física (produção), este indicador deve ser gerido para medir a eficiência energética global do processo.

2.1.3 INDICADORES ECONÔMICO-TERMODINÂMICOS

Estes indicadores relacionam medidas usuais na indústria (medidas termodinâmicas) e a valoração deste insumo e/ou produto final, pois a energia a ser mensurada no sistema pode ser feita em unidades termodinâmicas convencionais e sua saída em valores monetários.

Na prática, no sentido de se atingir uma economia efetiva de energia na instalação, três fatores adicionais devem ser considerados (LOZANO e VALERO, 1993): (i) nem toda irreversibilidade pode ser evitada; (ii) as reduções locais na destruição de exergia não são equivalentes; (iii) as oportunidades de economia só podem ser especificadas através de um estudo mais detalhado dos mecanismos fundamentais da geração de entropia.

A percepção destas fatores levou ao surgimento de metodologias que relacionam a geração de irreversibilidade em um equipamento isolado com o restante dos equipamentos, através da definição do conceito de custo exergético. Concomitantemente, conjugam-se as análises termodinâmica e econômica, relacionando-se o custo monetário e o custo exergético, em um conjunto de metodologias às quais se denomina Termoeconomia (CERQUEIRA, 1999).

A Teoria do Custo Exergético contabiliza as eficiências e perdas exergéticas em cada um dos volumes de controle do sistema (equipamento, conjunto de equipamentos, ou junções e bifurcações), tendo como resultado o custo exergético de produção de cada um dos fluxos (portadores de energia). Outro aspecto deste método é que a medida do custo de um fluxo do sistema está representada pela exergia contida nele. Em uma análise do custo exergético, um custo é associado com cada fluxo de exergia.

Considerando os fluxos de matéria entrando e saindo (c_e , c_s) com taxas associadas de transferência de exergia (B_s e B_e), potência (W), taxa de transferência de exergia associada com a transferência de calor (c_Q), um componente que recebe uma transferência de calor e gera potência, como também as expressões de taxa de custo, tem-se:

$$[\sum (c_s B_s)_k]_s + c_{w,k} W = c_{Q,k} B_{Q,k} + [\sum (c_e B_e)_k]_e + Z_k \quad (eq. 4)$$

As taxas de exergia (B_s e B_e e B_Q) saindo e entrando no k -ésimo componente, bem como a potência (W), são calculadas em uma análise exergética. O termo Z_k é obtido, primeiramente, calculando o investimento de capital associado com o k -ésimo componente e, então, computando os valores particionados destes custos por unidade de tempo de operação do sistema.

2.1.4 INDICADORES ECONÔMICOS

Esses indicadores têm como característica principal a mensuração da energia de entrada e saída em valor monetário.

Por ser uma categoria de indicadores puramente econômicos leva-se ao questionamento de ser ou não um indicador de eficiência energética. Por exemplo, o indicador econômico para uma

indústria ou setor é determinado pelos preços dos produtos finais multiplicado pela quantidade total dos mesmos. Isso torna os valores finais encontrados através destes indicadores econômicos / energéticos vagos, se utilizados sozinhos sem outra análise complementar, porque os preços podem variar e a qualidade do produto também, não refletindo assim, a eficiência energética.

Segundo estudo realizado por *World Energy Council* (2004), para definir e caracterizar a eficiência energética pode-se utilizar macroindicadores que reportam a economia como um todo (macroeconomia) ou os principais setores (industrial, agrícola, etc.) ou somente os principais usos finais.

Existem também os microindicadores que podem ser definidos como microeconômico. Estes englobam, nessa área de eficiência energética, os seguintes itens:

- Comportamento do consumidor em relação ao preço da energia e a utilização de aparelhos mais eficientes.
- Determinação dos custos marginais da energia, dos de capacidade e dos de expansão para uma estrutura desagregada (custo incremental unitário).
- As implicações das variáveis do modelo de equilíbrio geral, que determinam os preços sombras, para o consumidor final. Como: preços eficientes, preços sociais e outras.
- Curvas de oferta e demanda para a energia.
- Previsão de demanda de energia.

Os indicadores microeconômicos podem também ser utilizados como ferramentas para a prática de engenharia econômica, medindo-se o custo efetivo de investimentos de eficiência energética, como: o retorno do investimento simples, o custo de energia economizada (CEE), a taxa interna de retorno (TIR) e o custo do ciclo de vida (CCV) ou o custo de vida anual (CCVA). Assim, esta metodologia poderá auxiliar no processo decisório da tecnologia a ser empregada e o melhor investimento a ser feito.

3-OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo da eficiência energética em plantas de produção de Amônia utilizando como ferramenta indicadores de desempenho físico-termodinâmicos.

4-METODOLOGIA

O cálculo da eficiência energética líquida considerou para o cálculo os termos referentes a produção anual de Amônia e a energia utilizada. Todas as alimentações e os combustíveis consumidos para uma planta de produção de Amônia foram considerados neste estudo.

Para a contribuição das parcelas de energia no cálculo do indicador foram considerados as parcelas referentes a energia para a produção de Amônia, a energia utilizada para partida da planta, energia consumida durante paradas não programadas, reduções de catalisador, dentre outras.

Neste trabalho, a avaliação da eficiência energética em plantas de produção de Amônia considerou o desempenho anual em detrimento a eficiência dos projetos.

Para viabilizar a análise entre as diferentes plantas foi necessário elaborar uma base comparativa. Esta normalização foi realizada em função das diferentes configurações das plantas analisadas. Abaixo são apresentadas tais considerações:

- Eletricidade importada convertida em calor equivalente com 40% da eficiência de tomando como base o poder calorífico inferior do combustível;
- Importação e exportação de vapor corresponde a 90% da eficiência de conversão sendo considerado como referência vapor saturado a 15°C;
- A base considerada para produção de Amônia é 100% líquida na condição de pressão atmosférica (- 32°C);
- A energia para produzir e bombear água de resfriamento foi considerada na parcela de cálculo referente ao uso de energia;
- A parcela de energia para produzir e bombear água de alimentação para as caldeiras foi considerada no cálculo referente ao uso de energia;

Não foram realizados ajustes em função da diferentes tecnologias, clima, condições de catalisador ou problemas operacionais.

5-RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise da eficiência energética foram consideradas 50 plantas de Amônia e suas produções individuais anuais. O indicador de eficiência

energética foi calculado conforme a equação a seguir:

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:

$$(GJ/t NH_3) = \frac{MP + C + OUTROS}{PROD NH_3}$$

Onde,

MP - é a conversão de matéria prima consumida em energia equivalente considerando o poder calorífico inferior.

C - é a conversão de combustível utilizado no processo em energia equivalente considerando o poder calorífico inferior.

OUTROS - são outras energias consideradas no processo tais como eletricidade e vapor importados, crédito por exportação de energia (por exemplo, vapor), geração e bombeamento de água para alimentação das caldeiras e água de resfriamento.

PROD DE NH₃ - é a produção de Amônia expressa em toneladas.

A parcela a produção de Amônia considerou a produção diária máxima em detrimento da capacidade de produção de projeto da planta. As plantas foram separadas em 3 categorias. Das 48 plantas avaliadas, 12 foram classificadas como pequenas com produção inferior a 1000 t/dia. 17 plantas foram consideradas como intermediárias apresentando produção entre 1000 t/dia e 1500 t/dia. E 19 plantas com produção superior a 1500 t/dia foram consideradas como grande. As capacidades de produção anuais das plantas de Amônia estão apresentadas no gráfico 3. A variação de produção ficou entre 91 000 t/ano e 749 800 t/ano.

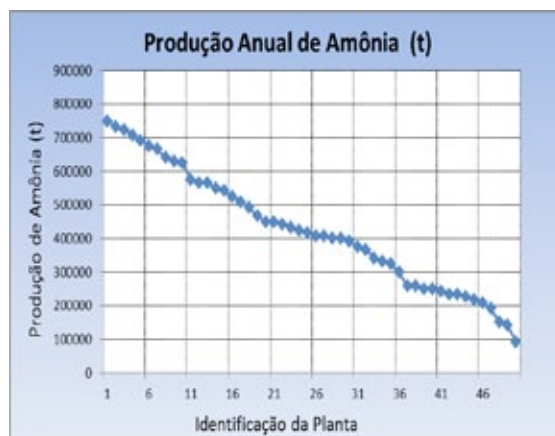


GRAFICO 3: Produção Anual de Amônia (toneladas)

Os valores encontrados na avaliação do indicador de eficiência energética ficaram entre 23,8

GJ/t NH₃ e 51,9 GJ/t NH₃. Das 50 plantas analisadas, sendo 2 delas utilizam hidrogênio puro ou gás rico em hidrogênio como matéria prima. Estas plantas normalmente apresentam índices de eficiência energética maiores se comparado com as outras plantas. Já as 48 plantas convencionais de Amônia utilizam matérias primas diversas como gás natural e óleo pesado oriundo do fracionamento de petróleo.

A seguir, o gráfico 4 mostra o indicador de eficiência energética para cada planta de Amônia.

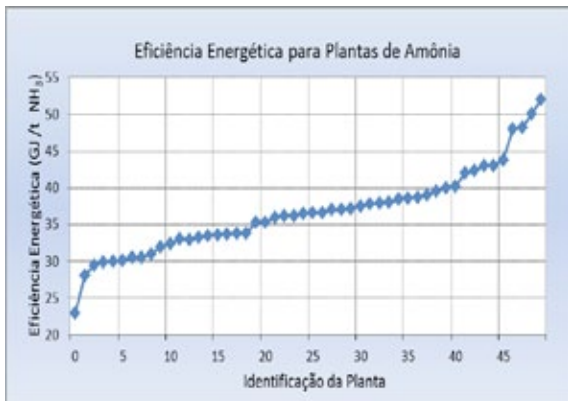


GRAFICO 4: Eficiência Energética (GJ / t NH₃) para Plantas de Amônia

A relação entre capacidade e eficiência energética para as 48 plantas de Amônia convencionais é mostrada no gráfico 5.



GRAFICO 5: Eficiência Energética (GJ / t NH₃) em função da capacidade de Plantas de Amônia

Da análise do gráfico 5 verifica-se que existe uma relação entre a capacidade e a eficiência energética da planta. De uma forma geral, plantas com maior capacidade apresentam maior eficiência energética e plantas de menor capacidade são

menos eficientes. No entanto, as melhores plantas em cada grupo apresentam índices de eficiência energética que variam entre 29,5 GJ/t NH₃ e 30,6 GJ/t NH₃ indicando que plantas com capacidade inferior a 1.000 t/dia podem ser eficientes.

O gráfico 6 apresenta o cálculo do indicador de eficiência energética em função da idade de cada planta. A idade de cada planta varia entre 1,5 e 39 anos. As plantas foram divididas em três categorias. As classificadas como novas possuem idade inferior a 14 anos. As chamadas médias possuem idade entre 18 e 29 anos e as antigas acima de 30 anos.

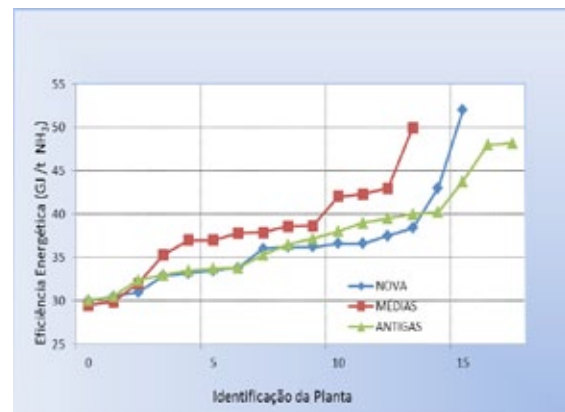


GRAFICO 6: Eficiência Energética em função da idade das Plantas

Das 48 plantas de amônia convencionais analisadas, as plantas classificadas como novas apresentaram melhor média para o indicador de eficiência energética líquida 36,0 GJ/t NH₃ para 16 plantas analisadas neste grupo. As plantas classificadas com tempo de operação intermediário (14 plantas) apresentaram índice médio de 37,7 GJ/t NH₃. E as plantas com maior tempo de operação apresentaram um resultado médio de 37,4 GJ/t NH₃.

As melhores plantas de cada grupo apresentaram índices de eficiência energética em cerca de 30 GJ/t NH₃. Esta observação indica que plantas com maior tempo de operação, através de modificações e melhorias nos processos podem operar com bons índices de eficiência energética.

6-CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação da eficiência energética para plantas de Amônia através do uso de indicadores. Dados de 50 plantas de Amônia foram considerados neste estudo. Este

indicador tomou como base a produção anual de Amônia e a medida da energia consumida considerando quantidades de energia equivalente no consumo de matérias primas, combustíveis e em outras formas presentes no processo (consumo de energia equivalente para a geração e distribuição de água de resfriamento, importação ou exportação de vapor, dentre outros). Foi criada uma base comparativa em função das diferentes configurações das plantas analisadas. Outros índices comparativos foram levantados tomando-se como base a eficiência energética. Foram apresentados índices de eficiência energética em função do tempo de operação das plantas assim como a avaliação de eficiência energética em função da produção anual. Constatou-se que há uma relação direta entre capacidade de produção e eficiência energética. Outra constatação apresentada neste foi que plantas com longo tempo de operação apresentaram índices de eficiência energética comparados a plantas mais novas indicando melhoria em seus processos (equipamentos) e em suas rotinas de operação. Do resultado da análise por indicadores pode-se obter uma ferramenta útil na avaliação da melhoria continua dos processos do ponto de vista da eficiência energética.

7-REFERÊNCIAS

ABREU, Y. V.; OLIVEIRA, M. A. G.; GUERRA, S. M. G.,(2010); Energia Sociedade E Meio Ambiente. EUMED.NET, UNIVERSIDADE DE MALAGA .

CERQUEIRA,A.G.(1999)Metodologias de Análise Termoeconômica de Sistemas; Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP.

ENISTEIN, D. ,(2001); WORRELL, E. ; KHURSHCH, M.; Steam systems in industry: Energy use and energy efficiency improvement potentials; Lawrence Berkeley National Laboratory

ENERGY EFFICIENCY: a worldwide review indicators, Policies evaluation (2004) Relatório emitido pelo World Energy Council em colaboração com ADEME.

INDUSTRIAL ENERGY, INDUSTRIAL EFFICIENCY: Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry(1997). Energy Policy, vol 25

LOZANO, M.A., VALERO A.(1993); Theory of Exergetic Cost: Energy, Vol.18

NANOTECH DO BRASIL. Eficiência Energética – Energia Útil – MME. Disponível em: <http://www.nanotechdobrasil.com.br/eficiencia-energetica-energia-util-mme/>. Acesso em 13 de junho de 2012.

PHYLIPSEN, G.J.M.; BLOK, K.; WORRELL, E.(1997) – International comparisons of energy efficiency- Methodologies for the manufacturing industry .

SCIUBBA, E.; WALL, G. – A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004.,(2007) International Journal of Thermodynamics, Vol. 10.

SZARGUT J., MORRIS R.D., STEWARD F.R. (1988)– Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes.Springer-Verlag

TOXOPEUS, M. E., LUTTERS, E., HOUTEN, F.(2006) – Environmental Indicators & Engineering: an Alternative for Weighting Factors, 13th International Conference on Life Cycle Engineering, Vol. 75.

UCHOA, T. B, BENEDUZZI, A. H., MASHIBA, M. H. da Silva et al.(2006). Análise termodinâmica e termoeconômica de uma usina sucroalcooleira que produz excedente de bagaço para comercialização. Encontro De Energia No Meio Rural, 6, Campinas.Disponível: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000100014&lng=en&nrm=abn . Acesso em 15 de junho de 2012.