



INDICADORES DE DESEMPENHO OPERACIONAL: APOIO À GESTÃO AMBIENTAL DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Karla Patrícia Santos Oliveira Rodriguez Esquerre⁽¹⁾

Engenheira Química – Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre e Doutora em Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Pós-doutora em Engenharia Sócio-Ambiental – Hokkaido University (Hokudai, Japão). Professora do Departamento de Engenharia Química e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia (EP/UFBA).

Asher Kiperstok

Engenheiro Civil – TECHNION, Israel Institute of Technology. MSc. e PhD em Engenharia Química. Tecnologias Ambientais – University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST, Inglaterra). Coordenador da Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM) e do Programa de Pós-Graduação em Produção Limpa – Departamento de Engenharia Ambiental, (EP/UFBA).

Emerson Andrade Sales

Engenheiro Químico – UFBA. Doutorado em Ciências / Eng. Química – Université Paris VII. Pós-doutorado – Université de Paris VII e IRCEL (França). Professor do Instituto de Química da UFBA.

Lara Shelene da Silva Teixeira

Estudante do 9º semestre do curso de Engenharia Química – UFBA. Bolsista de Iniciação Tecnológica Industrial do projeto ECOBRASKEM (EP/UFBA).

Samara Andrade

Engenheira de Produção Química – Faculdade de Tecnologias e Ciências - Bahia (FTC-BA). MBA em Sistema de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente – UNIFACS. Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho – Escola de Engenharia Eletromecânica da Bahia. Engenheira de Meio Ambiente da área de Qualidade, Saúde, Segurança e Meio Ambiente da Braskem, Unidade de Petroquímicos Básicos, Bahia, Camaçari.

Endereço⁽¹⁾: Rua Aristides Novis, 2, DEA, 4º andar - Federação - Salvador - Bahia - CEP: 40210-630 - Brasil - Tel: +55 (71) 3283-9892 - Fax: +55 (71) 3283-9892 - e-mail: karlaesquerre@ufba.br.

RESUMO

O desempenho ambiental de uma organização pode ser apresentado através de resultados mensuráveis de sua gestão em relação aos seus aspectos ambientais. O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia para construção e acompanhamento de indicadores de consumo de água e geração de efluentes desenvolvida dentro da Unidade de Insumos Básicos da Braskem (Braskem/UNIB). As ferramentas metodológicas utilizadas incluem: análise do processo focada nos seus impactos ambientais; proposta de indicadores ambientais; coleta e estruturação eletrônica de dados; análise estatística de dados e indicadores e construção de uma plataforma hierarquizada considerando diferentes agrupamentos. Foram propostos 38 indicadores que abrangem toda a planta petroquímica ou áreas operacionais da mesma, sendo 18 relacionados ao consumo de água e os outros 20, à geração de efluentes. O principal resultado deste trabalho consistiu na identificação dos fatores operacionais e ambientais que influenciaram alguns dos indicadores propostos. A principal limitação encontrada foi a falta de medição de consumo de água e de geração de efluentes na citada empresa, especialmente no que se refere a dados por unidade operacional, impossibilitando, assim, a construção e análise de vários indicadores propostos. Espera-se que a implantação dessa plataforma na empresa possa proporcionar um acompanhamento dos indicadores pelos técnicos da planta, de forma a possibilitar a identificação dos eventos que causam variação nos indicadores e, consequentemente, a reformulação de procedimentos operacionais geradores desses eventos.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores, Desempenho ambiental, Água, Efluente.

INTRODUÇÃO

De acordo com Kiperstok et al. (2001), o foco da gestão ambiental, no Brasil, sofreu transformações nas últimas décadas devido ao envolvimento de múltiplos agentes na busca de soluções mais eficazes para os impactos ambientais negativos, gerados pelo processo de desenvolvimento. Essas transformações são



resultantes de uma nova percepção da sociedade quanto à importância da proteção do meio ambiente e vêm influenciando as ações das instituições públicas e privadas. Diante desse novo contexto, o início do atual milênio caracteriza-se por um cenário marcado pelo desafio da construção de um enfoque ainda mais inovador no gerenciamento dos impactos ambientais negativos dos processos produtivos.

De acordo com a ISO 14031 (1999), o desempenho ambiental de uma organização pode ser apresentado através de resultados mensuráveis de sua gestão em relação aos seus aspectos ambientais. Estes são definidos como elementos das atividades de uma organização, produtos ou serviços que podem interagir com o meio ambiente, causando impacto no mesmo (CARDOSO, 2004). Dessa forma, é recomendada a utilização de indicadores para mostrar o desempenho de uma organização em relação aos seus objetivos e metas ambientais, no que diz respeito aos seus impactos ambientais significativos; como, por exemplo, em relação às emissões de poluentes, geração de resíduos, consumo de matérias primas, energia e água (PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, 2001).

Desde abril de 2002, a Rede de Tecnologias Limpas da Universidade Federal da Bahia (Rede TECLIM/UFBA) e a Unidade de Insumos Básicos da Braskem (BRASKEM/UNIB) vêm desenvolvendo um amplo projeto que teve como objetivo inicial a otimização do uso da água e, desde 2005, passou a contemplar estudos de otimização energética. A linha do projeto relacionada à otimização do uso da água apresenta resultados consideravelmente significativos, em termos de benefícios econômicos e ambientais, e propostas consolidadas (OLIVEIRA-ESQUERRE et al., 2007). Dentre esses se encontra o estudo aqui apresentado que trata da construção de indicadores de Ecoeficiência relacionados com o consumo de água e a geração de efluentes.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para construção e acompanhamento de indicadores de consumo de água e geração de efluentes de forma a permitir uma análise da evolução do desempenho ambiental da empresa e a identificar os fatores ambientais e operacionais que influenciam os mesmos.

METODOLOGIA

O indicador é uma variável que pode representar uma qualidade, característica ou propriedade de um sistema e é construído a partir de dados, medições e observações reais (GALLOPIN, apud VELEVA, ELLENBECKER, 2001, p. 521). Consequentemente, a utilização de indicadores faz parte de um processo evolutivo contínuo de ganho de conhecimento que requer o levantamento, análise e interpretação de dados e processos, acarretando em uma transformação da empresa através da sensibilização e melhor diálogo com as partes interessadas (VELEVA E ELLENBECKER, 2001).

Para construir um indicador, é necessário determinar uma unidade de medida, tipo de medição (absoluta ou relativa), período de medição, e metas para esse indicador (VELEVA E ELLENBECKER, 2001). A seguir, é apresentada a metodologia desenvolvida para construção e acompanhamento de indicadores relacionados à gestão do consumo de água e da geração de efluentes na Braskem/UNIB. Tal metodologia é aqui detalhada em cinco etapas: análise do processo focada no consumo de água e geração de efluentes; proposta de indicadores; coleta e estruturação dos dados; análise estatística dos dados, e construção de plataforma hierarquizada.

Análise do processo focada no consumo de água e geração de efluentes

O estudo do processo e de suas correntes aquosas (água, vapor e efluentes) consistiu na etapa inicial para a construção de indicadores. Os documentos utilizados para tal etapa foram os fluxogramas do processo e de engenharia, e a ferramenta balanço hídrico, implementada através de planilha eletrônica e que resgata a topologia do sistema de consumo de água e geração de efluentes, revelando o perfil dos fluxos de água na empresa (KALID et al., 2004).

Proposta de indicadores

Para avaliar ao longo do tempo o desempenho ambiental do processo petroquímico em questão, foram desenvolvidos indicadores de Ecoeficiência com base na relevância dos mesmos para a gestão de água e efluentes da empresa e na disponibilidade dos dados necessários para o cálculo dos mesmos. Tais indicadores



foram agrupados em indicadores gerais e por unidade de produção, de forma a ser de conhecimento e uso tanto dos gestores e gerentes, como dos engenheiros e operadores.

Coleta e estruturação de dados

Sem nenhum tipo de restrição quanto à incerteza, dados históricos de um período de nove anos (2000 a 2008) foram levantados na empresa. Esses dados foram, então, estruturados em meio eletrônico, utilizando como ferramenta o software Microsoft Office Excel. Neste, foram construídas as seguintes planilhas:

- Entrada de dados, na qual os dados coletados foram estruturados;
- Indicadores, na qual os indicadores foram calculados com base mensal;
- Gráficos, a qual continha as séries históricas de cada indicador contendo informações quantitativas, qualitativas e dados brutos de operação;
- Fonte de dados, na qual se discriminou a fonte de informação dos dados coletados.

Análise estatística de dados

A análise estatística dos dados foi realizada especialmente de forma gráfica, considerando toda a série histórica de dados, como uma tentativa de identificar padrões sistemáticos, normalmente ocasionados por um conjunto de componentes identificáveis. Para tanto, foram utilizadas as seguintes representações gráficas:

- Gráficos das séries temporais, contendo os indicadores, seus dados brutos e os fatores ambientais e operacionais que poderiam influenciar seus dados e
- Gráficos de dispersão, nos quais os dados dos indicadores e dos fatores operacionais e ambientais que poderiam influenciar os mesmos foram comparados graficamente.

Coefficientes de correlação linear (R) foram também estimados para avaliar a associação entre os dados dos indicadores e os dados dos seus fatores operacionais e ambientais; além disso, foi realizada a análise de variância (ANOVA) para comparar as médias de mais de duas populações.

Construção de plataforma hierarquizada

Como ferramenta de apoio à gestão ambiental, elaborou-se uma plataforma eletrônica, na qual os indicadores foram hierarquizados de acordo com a sua área operacional e seu tipo, água ou efluente. Essa ferramenta visou proporcionar uma visão global do desempenho ambiental da empresa dos operadores aos gerentes da planta petroquímica e o acesso fácil tanto aos indicadores construídos como às suas respectivas séries históricas.

RESULTADOS

Análise do processo focada no consumo de água e geração de efluentes

Tal etapa pode se tornar cansativa e demorada quando se faz necessário levantar e estudar fluxogramas do processo e de engenharia, muitas vezes desatualizados. Dessa forma, uma ferramenta considerada fundamental no levantamento e estudo das correntes aquosas do processo foi o balanço hídrico. Com base neste e, através de reuniões com engenheiros e operadores do processo, foi possível obter um nível razoável de conhecimento dos fluxos aquosos e suas relações com o processo de produção, permitindo, assim, construir indicadores consistentes com a realidade e a necessidade da empresa.

Proposta de indicadores

Indicadores globais e específicos para cada unidade foram propostos fazendo-se uso de vazões medidas ou estimadas e com o apoio de técnicos da empresa que conheciam o processo. Para cada indicador, foram definidos os objetivos, unidade de medida, frequência e as restrições e limitações para o seu cálculo.

Foram propostos 38 indicadores que abrangem toda a planta petroquímica ou áreas operacionais da mesma, sendo 18 relacionados ao consumo de água e os outros 20, à geração de efluentes. Foi necessária uma abordagem sistemática e transparente para obter esses indicadores que devem refletir tanto o desenvolvimento da Ecoeficiência da empresa como ser implementados com os dados disponíveis. Alguns indicadores



construídos são apresentados na Tabela 1, na qual os efluentes orgânicos e inorgânicos são identificados por SO e SN, respectivamente.

Tabela 1: Indicadores de consumo de água e efluentes.

Indicador Ambiental	Status
SO / produção de petroquímicos	Análise estatística realizada.
SN / produção de petroquímicos	
SO de cada unidade / produção de petroquímicos da mesma	Dados de efluentes não disponíveis no momento.
SN de cada unidade / produção de petroquímicos da mesma	
Água clarificada / produção de petroquímicos	As análises estatísticas não foram confiáveis, porque os fluxos de água medidos foram poucos.
Água desmineralizada / produção de petroquímicos	
Ácido sulfúrico / (água desmineralizada produzida x água subterrânea captada)	Análise estatística realizada.
Soda cáustica / (água desmineralizada produzida x água subterrânea captada)	

Coleta e estruturação de dados

Os dados necessários para o cálculo e análise dos indicadores propostos foram levantados com a empresa e aqueles que estavam disponíveis foram organizados em planilha eletrônica de acordo com a estrutura apresentada anteriormente.

Como ocorre na maioria das plantas industriais, não existe medição dos fluxos aquosos dentro de cada planta e apenas fluxos globais destinados à venda (água) e tributáveis (efluentes) têm algum tipo de medição. Desta forma, a principal limitação encontrada nessa etapa foi a falta de medição de consumo de água e de geração de efluentes dentro da planta petroquímica em questão, não permitindo, assim, uma análise confiável das séries históricas e padrões de variação para muitos dos indicadores propostos. Espera-se que, posteriormente, o uso de dados fornecidos por um balanço hídrico reconciliado (KALID et al., 2004), possibilite o cálculo e análise de indicadores mais confiáveis.

Análise estatística de dados

Para a identificação dos fatores ambientais e operacionais que influenciavam os indicadores, o diálogo com os engenheiros e técnicos da empresa em questão foi imprescindível. No caso dos efluentes, precipitação, produção e paradas operacionais foram considerados os principais componentes responsáveis por padrões de variação.

Como o efluente SO é gerado principalmente pelo processo produtivo e o efluente SN, principalmente pelas torres de resfriamento, a produção de petroquímicos foi considerada como um possível fator operacional que influencia especialmente a geração de efluentes orgânicos. Tal suposição foi confirmada através de gráficos de dispersão. Verificou-se que existe relação inversa entre a produção de petroquímicos e o efluente SO descontado a precipitação (Figura 1), e que não existe relação entre a produção de petroquímicos e o efluente SN descontado a precipitação (figura não apresentada aqui).

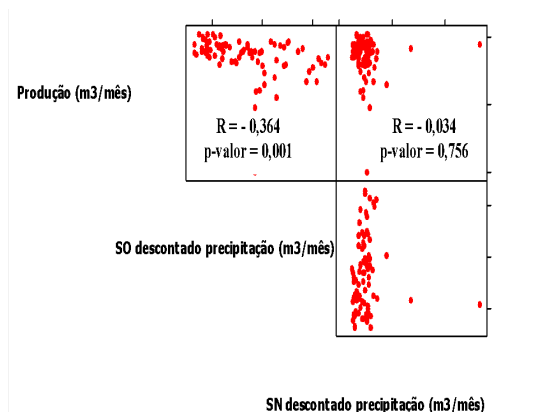


Figura 1: Gráfico de dispersão (SO: Efluente Orgânico; SN: Efluente Inorgânico; R: coeficiente de correlação linear).

Dessa forma, os gráficos de acompanhamento dos indicadores de efluentes foram construídos considerando: dados de vazões, depois de descontada a contribuição da precipitação, dados de produção e precipitação. Foi ainda inserida uma simbologia criada para representar os períodos de parada para manutenção.

Através do estudo de análise de variância, avaliou-se a influência dos turnos operacionais nas vazões de água captada, sendo cada turno definido como: turno 1 – entre 23h e 7h, turno 2 – entre 7h e 15h – e turno 3 – entre 15h e 23h. Neste estudo, observou-se que as médias de água captada por turno foram diferentes. O turno no qual houve menor captação de água foi o turno 1, e não houve diferenças significativas entre a captação de água nos turnos 2 e 3. Uma possível causa da menor captação no turno 1 parece ser o fato de ocorrer uma maior troca térmica da planta com o ambiente, desta forma, o processo requer uma menor vazão de água para resfriamento de suas correntes.

No caso do indicador de consumo de ácido sulfúrico e soda cáustica no processo de desmineralização de água na Unidade de Tratamento de Água da Braskem/UNIB (UTA), observou-se que a fonte de captação de água foi considerada um possível componente responsável por padrões de variação nesse indicador. A água captada pela UTA é obtida de duas fontes: subterrânea e superficial, e as substâncias soda cáustica e ácido sulfúrico são consumidas no processo de desmineralização dessa água. Devido à salinidade da água superficial ser três vezes maior do que a da água subterrânea, a saturação da resina de desmineralização ocorre três vezes mais rapidamente com água superficial do que com água subterrânea. Dessa forma, através da análise da série histórica dos indicadores de consumo de ácido sulfúrico e soda cáustica, observou-se que um maior consumo de água subterrânea causa um menor consumo de soda cáustica e ácido sulfúrico e, conseqüentemente, menor geração de efluentes (Figura 2).

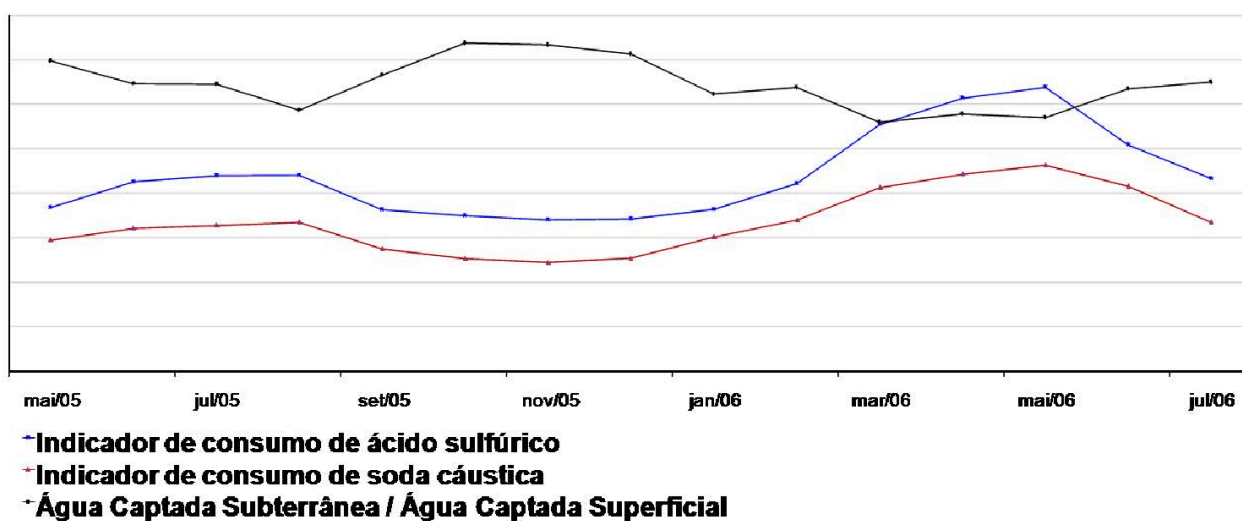


Figura 2: Histórico dos indicadores de consumo de ácido sulfúrico e soda cáustica.

Construção de plataforma hierarquizada

Foi construída uma plataforma eletrônica que hierarquiza os indicadores propostos de acordo com seu tipo, água ou efluente, e área operacional (Figura 3). A partir da plataforma, é possível visualizar as listas de indicadores de água e efluentes para as unidades de Produção e de Utilidades.

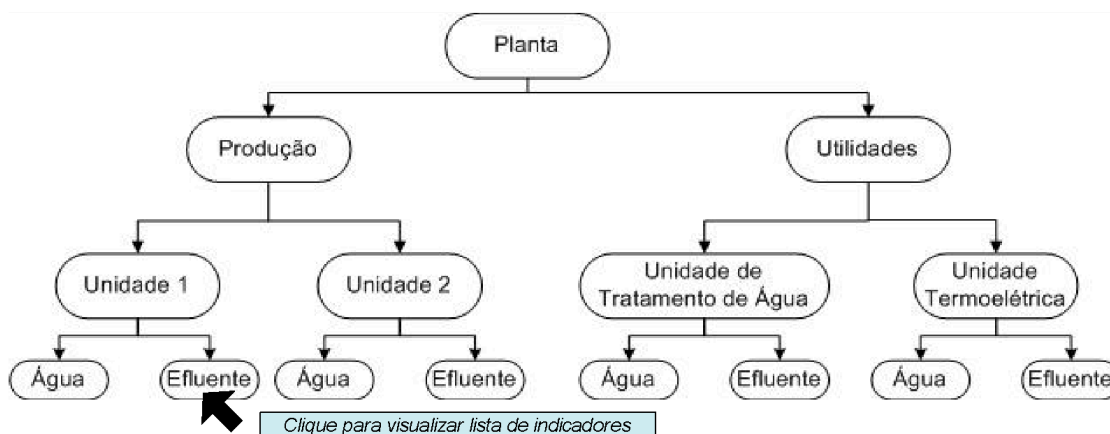


Figura 3: Estrutura hierarquizada de apresentação dos indicadores.

Cada lista de indicadores apresenta a divisão dos mesmos em indicadores geral e por unidade (Figura 4). Os indicadores listados dão acesso às séries históricas dos mesmos.

INDICADOR EFLUENTE - PRODUÇÃO	
Lista de indicadores	
GERAL	Vazão mensal do Efluente SN / Produção de Petroquímicos
	Vazão mensal do Efluente SN descontada precipitação / Produção de Petroquímicos
	Vazão mensal do Efluente SO / Produção de Petroquímicos
	Vazão mensal do Efluente SO descontada precipitação / Produção de Petroquímicos
Unidade 1	Vazão mensal do Efluente SN da Unidade 1 / Produção de Petroquímicos Unidade 1
	Vazão mensal do Efluente SO da Unidade 1 / Produção de Petroquímicos Unidade 1
Unidade 2	Vazão mensal do Efluente SN da Unidade 2 / Produção de Petroquímicos Unidade 2
	Vazão mensal do Efluente SO da Unidade 2 / Produção de Petroquímicos Unidade 2

Figura 4: Lista de indicadores de efluentes para a unidade de Produção.

As séries históricas dos indicadores listados podem ser acompanhadas e analisadas por técnicos da planta (Figura 5), e estes, quando identificarem algum dado disperso cuja causa do comportamento seja conhecida pelos mesmos, podem preencher um formulário para identificar o evento que gerou a variação daquele dado (Figura 6).

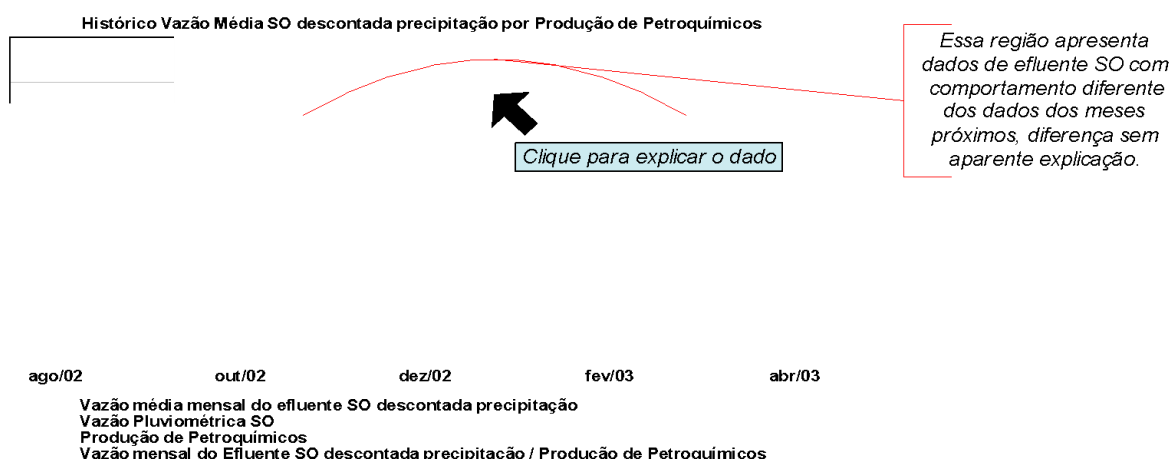


Figura 5: Série histórica do indicador de efluente orgânico descontado a precipitação por produção de petroquímicos.

FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DE DADO DISPERSO	
INFORMAÇÕES DA OCORRÊNCIA	
Dado:	Vazão mensal do efluente SO descontada precipitação
Mês/ano:	janeiro/2003
Causa da variação do dado:	Vazamento na bomba GA-401
Unidade/Área da ocorrência:	Unidade de Aromáticos I / A-450
INFORMAÇÕES DO EMPREGADO	
Preenchido por:	Rafael Fonseca Lopes
Função:	Operador Sênior
Crachá:	123456

Figura 6: Formulário de identificação de dados dispersos.

Espera-se que a implantação dessa plataforma na empresa possa proporcionar um acompanhamento dos indicadores pelos técnicos da planta, de forma a possibilitar a identificação dos eventos que causam variação nos indicadores e, conseqüentemente, a reformulação de procedimentos operacionais geradores desses eventos.

CONCLUSÃO e RECOMENDAÇÕES

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de propor e analisar indicadores de desempenho operacional e ambiental relacionados ao consumo de água e geração de efluentes dentro de uma indústria petroquímica. Esses indicadores foram elaborados com base no conceito de Produção Limpa, de forma a auxiliar a Braskem/UNIB na gestão ambiental dos seus recursos hídricos.

A proposição de indicadores consistentes com a realidade da empresa exigiu o conhecimento dos fluxos de água e efluentes dentro da planta, além da interação com técnicos experientes da indústria durante esse processo. A metodologia em desenvolvimento permitiu uma discussão detalhada dos fatores ambientais e operacionais que influenciam os indicadores.

A utilização efetiva desses indicadores requer uma base de dados confiável para a sua construção, ou seja, a ampliação do sistema de medição desses fluxos, de forma a abranger desde os fluxos gerais aos específicos de cada unidade operacional. O balanço hídrico se apresenta, assim, como uma ferramenta necessária, especialmente quando há carência de medição.



Espera-se que a aplicação da metodologia desenvolvida auxilie o acompanhamento do desempenho ambiental de cada unidade da empresa, por operadores, engenheiros e gestores, ao longo do tempo, de forma a propiciar mudanças operacionais que venham a diminuir o consumo de água e a geração de efluentes da indústria.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à Braskem e à FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos -, que financiaram este projeto; à Rede de Tecnologias Limpas da UFBA, que, juntamente com a Braskem, coordenaram o projeto, e, finalmente, às empresas e órgãos que foram parceiros e colaboraram com o andamento do projeto, a saber, Cetrel e IMA. Especial agradecimento é dado ao vice-coordenador desse projeto, Ricardo de Araújo Kalid, aos pesquisadores Mário Cezar de Mattos e Fernando Mocoçain e ao aluno de Iniciação Tecnológica Industrial Carlos Eduardo Mendes, que fizeram parte da equipe executora deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARDOSO, L. M. F. Indicadores de Produção Limpa: uma proposta para análise de relatórios ambientais de empresas. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal da Bahia, 2004.
2. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14031: Environmental management – Environmental performance evaluation – Guideline. Suíça, 1999. Disponível em <<http://www.iso.org/iso/home.htm>>. Acesso em 9 jul. 2008.
3. KALID, R. A.; SARTORI, I.; KIPERSTOK, A.; SILVA, M.; SALES, E. A.; PACHECO FILHO, J. G.; FONTANA, D.; PERAZZO, C.; OLIVEIRA, S. Balanço Hídrico – Uma Nova Sistemática. In: Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada - CBTERMO, 2., 2004, Curitiba. Anais do XV COBEQ. 2004, 2004. Curitiba, 2004, p. 5-12.
4. KIPERSTOK, A.; SILVA, M.; KALID, R. A.; SALES, E. A.; PACHECO FILHO, J. G. A.; OLIVEIRA, S. C.; GALVÃO, C. P. L.; FONTANA, D. Uma política nacional de meio ambiente focada na produção mais limpa: elementos para discussão. Bahia – Análise & Dados, v.10, n.4, p. 326-332, 2001.
5. OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; KIPERSTOK, A.; KALID, R. A.; COHIM, E.; MATTOS, M. C. Estudo do potencial hídrico de uma bacia de contenção no Pólo Industrial de Camaçari. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais do XXIV CBESA. 2007, 2007.
6. PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. Regulamento (CE) Nº 761/2001, de 19 de março de 2001. Permite a participação voluntária de organizações num sistema comunitário de eco gestão e auditorias (EMAS). Jornal Oficial das Comunidades Europeias. Disponível em <<http://www.europa.eu.int/comm/environment/emas>>. Acesso em: 9 jul. 2008. Anexo 3.
7. VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of Sustainable Production: framework and methodology. Journal of Cleaner Production, n.9, p. 519-549, 2001.