



VI-042 - CONSTRUÇÃO E ANÁLISE SISTEMÁTICA DE INDICADORES DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

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).

Ricardo Araújo Kalid

Eng.º Químico, UFBA, 1988; Mestrado em Engenharia Química, UFBA, 1991; Doutorado em Engenharia Química, USP, 1999; Professor do Departamento de Engenharia Química da UFBA; kalid@ufba.br.

Carlos Eduardo P. Mendes da Silva

Engenheiro Ambiental, 2008; Faculdade de Tecnologias e Ciências - Bahia (FTC-BA). Mestrando em Engenharia Industrial, UFBA. Pesquisador do Projeto ECOBRASKEM (EP/UFBA).

Victor Flores da Matta Pires

Engenheiro Químico - Universidade Federal da Bahia (UFBA), 1996. Mestrado em Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2003. Engenheiro de Tecnologia de Processos da Unidade de Insumos Básicos da Braskem.

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

Neste trabalho é apresentada a metodologia e os resultados do desenvolvimento de indicadores de produção limpa relacionados à geração de efluentes industriais numa empresa petroquímica de grande porte. Foram propostos dois indicadores relacionados ao consumo de efluentes da planta petroquímica em questão: vazão mensal dos efluentes orgânico e inorgânico por produção de petroquímicos. Dados históricos (2001 a 2007) foram avaliados e tratados estatisticamente. Os indicadores e seus respectivos dados foram estruturados e os procedimentos operacionais e os fatores ambientais que influenciavam os mesmos foram identificados por meio de séries temporais, gráficos de matrizes e análise da correlação entre esses dados. Como a precipitação determinava padrões de variação nas vazões de efluentes, a área de contribuição da precipitação de cada efluente foi estimada e os valores dos volumes pluviométricos foram descontados de cada efluente. Através da comparação da produção de petroquímicos com a vazão de cada efluente, pôde-se verificar que a vazão de efluente orgânico diminuía com o aumento da estabilidade do processo. Os indicadores construídos estão sendo utilizados por engenheiros e gestores da água na empresa. O próximo passo da pesquisa consiste na elaboração de indicadores por turma de operação, de forma a atingir a base da empresa. Espera-se que esses indicadores possam auxiliar a diminuição da geração de efluentes através da elaboração de mudanças nos procedimentos operacionais atualmente existentes.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores; Efluentes Industriais; Produção Limpa, Desempenho Ambiental.

INTRODUÇÃO

O uso de indicadores está presente na vida das organizações e da sociedade em todos os campos do conhecimento. Nas atividades industriais, os inúmeros indicadores eram tradicionalmente relacionados a aspectos econômicos, tais como, custo, produção e eficiência do processo, sem, no entanto, focalizar os aspectos ambientais. Entretanto, a atual necessidade de utilização da água e energia nas unidades industriais de forma mais racional tem levado a indústria a repensar projetos já consagrados que, em função do seu sucesso operacional, não haviam sido antes questionados em termos de otimização do uso dos recursos naturais (KIPERSTOK, et. al 2001). Devido à dificuldade de se atingir níveis de grandeza deste porte apenas com



avanços tecnológicos, conceitos de produção limpa têm sido utilizados para auxiliar a evolução do desempenho ambiental do setor industrial.

“A nova norma ISO 14001:2004 define o desempenho ambiental como, resultados mensuráveis de uma organização na gestão dos aspectos ambientais. Os indicadores são os principais instrumentos desta norma, que fornecem informações sobre um desempenho ambiental da organização ” (HENRI; JOURNEAULT, 2008). Eles são importantes ferramentas de medida, e permitem expressar os resultados relativos ao desempenho ambiental do processo, a análise do ciclo de vida dos produtos, e acompanham a evolução da empresa na implementação de ações que levem efetivamente a melhorias no caminho da sustentabilidade. A seleção de indicadores ambientais mais adequados a um determinado processo é um dos passos mais importantes na avaliação do desempenho ambiental na indústria. (NORDHEIM; BARRASSO, 2007)

“O indicador pode ser considerado como uma variável, que é uma representação operacional do atributo (qualidade, característica, propriedade) de um sistema” (VELEVA; ELLENBECKER, 2001). Cada variável pode assumir valores diferentes em função das medições e observações específicas. Assim, os indicadores são variáveis, e os dados são as medições e observações reais.

Segundo VELEVA; ELLENBECKER, 2001 a construção de indicadores é baseado nos seguintes critérios:

- Determinação da unidade de medida - Esta é a métrica utilizada no cálculo do indicador: quilogramas, toneladas, dólares, por cento, horas, etc.
- Tipo de medição – Em termos, absoluto ou relativo - um indicador pode medir um montante total (por exemplo, o total de energia usada por ano em kWh) ou relativo montante (a energia utilizada por unidade de produto / serviço por ano);
- Período da medição - O período de monitoramento e calcular um indicador (por exemplo, ano fiscal, agenda ano, seis meses, trimestre, mês).
- Desenvolvimento de objetivos e metas.
- Limites - Determinar o quanto uma empresa deseja ir para medir os indicadores (por exemplo, produto linha, instalações, fornecedores, distribuidores, todo ciclo de vida de um material ou produto).

Indicadores ambientais têm, conseqüentemente, sido construídos e utilizados como ferramenta de apoio a gestão ambiental ALYAA et. al (2008); HERMANN et al.(2007); NORDHEIM; BARASSO (2007); PEROTTO et. al (2008); SAENGSPAVANICH et. al (2009). Sua análise possibilita também a detecção de tendências, a análise comparativa e a elaboração de relatórios sobre a conformidade ou as melhores práticas em gestão ambiental (VELEVA; ELLENBECKER, 2001).

Durante a coleta dos dados que serão utilizados para a definição dos indicadores, é necessário levar em consideração a confiabilidade, a disponibilidade e a validação científica e estatística desses dados. Um fator que é geralmente negligenciado é a incerteza das medidas relacionadas aos indicadores, assim como dos dados brutos utilizados na construção dos mesmos uma vez que o indicador pode produzir uma imagem fiel dos aspectos ambientais PEROTTO et al. (2008).

A indústria petroquímica em questão possui dois sistemas de efluentes denominados de não contaminado (SN) e orgânico (SO) que coletam e transportam em um sistema de drenagem para uma empresa responsável pelo tratamento e disposição dos efluentes. Os efluentes não contaminados possuem característica físico-química tipicamente inorgânica. O sistema orgânico coleta respectivamente, as contribuições do processo e as drenagens contaminadas, como por exemplo, as águas pluviais coletadas na área industrial.

O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia e os resultados do desenvolvimento de indicadores de produção limpa relacionados à geração de efluentes industriais numa empresa petroquímica de grande porte. Esses indicadores têm sido utilizados na avaliação do desempenho ambiental do processo ao longo do tempo e já subsidiam na elaboração de mudanças de procedimentos que permitam atender a pressões sociais e ambientais e a aspectos legais.



METODOLOGIA

De acordo com a NBR ISO 14031, se o interesse da organização for o desempenho ambiental relativo aos efluentes provenientes de suas operações, um possível indicador de desempenho operacional é a quantidade de efluente gerado por unidade de produto. Dessa forma, foram propostos dois indicadores relacionados ao consumo de efluentes da planta petroquímica em questão: vazão mensal dos efluentes orgânico e inorgânico por produção de petroquímicos. Dados históricos (2001 a 2007) foram avaliados e tratados estatisticamente. Os indicadores e seus respectivos dados foram estruturados e os procedimentos operacionais e os fatores ambientais que influenciavam os mesmos foram identificados através de análise gráfica, por meio de séries temporais, gráficos de matrizes e análise da correlação entre esses dados.

Inicialmente, foi realizada análise de séries temporais das vazões diárias dos efluentes inorgânicos e orgânicos. Nesta análise, considerou-se que os dados poderiam apresentar comportamento sistemático (normalmente ocasionado por um conjunto de componentes identificáveis), e de um ruído aleatório (erro), que geralmente faz com que o padrão seja difícil de identificar. Os padrões de geração de efluentes foram descritos em termos de duas classes de componentes básicos: tendência e sazonalidade, ambos supostamente relacionados com a variação da produção.

Considerando que o sistema de drenagem de efluentes é composto principalmente de canais abertos, e que a indústria está localizada em uma região tropical, a precipitação é um fator ambiental que influencia na geração de efluentes. Dessa forma, foram estimadas as áreas de contribuição de cada efluente (Eq. 1) e foram descontados os respectivos volumes de águas pluviais das vazões de efluentes.

$$A = \frac{(Fm_t - Fm_{t-1})}{(Ch_t - Ch_{t-1})} * 10^3 \quad \text{Equação 1}$$

onde, A, Fm, Ch e t representam, respectivamente, a área de contribuição do efluente orgânico ou inorgânico (m²), vazão do efluente orgânico ou inorgânico (m³/mês), precipitação (mm/mês) e tempo (dia).

Como as paradas são procedimentos operacionais em uma indústria que visam à manutenção e lavagem de equipamentos, essas tendem a gerar maior quantidade de efluentes do que no período de operação normal da indústria. Com o objetivo de acompanhar o impacto das paradas no efluente orgânico (SO) e inorgânico (SN) da empresa, as séries temporais de vazão mensal do SO e do SN por produção de petroquímicos foi analisada e comparada com as paradas das unidades, cada uma com uma nota entre 1 e 5, de acordo com a sua influência na vazão de efluentes. Essas notas foram representadas na forma de barras horizontais, tanto mais grossa quanto maior o efeito esperado da parada na geração de efluentes.

Baseado na série histórica no período de 2008 verificou-se a influência dos turnos de operação no aumento e diminuição da vazão de efluentes do SO e SN através do estudo da análise da variância (ANOVA). Para realização do estudo foi realizado o teste de normalidade dos dados. Considerando que vazões de SO e SN são dados de processo, o grau de confiança estabelecido para o teste de normalidade foi de 90%.

RESULTADOS

Através da análise da série histórica diária dos dados, verificou-se que padrões de variação do SO são ocasionados pela precipitação (Figura 1). Já para os dados do SN, apenas em períodos de alta precipitação verifica-se aumento dos valores do efluente (Figura 2). Verifica-se, portanto, que a contribuição da chuva deve ser descontada das vazões de efluentes para que se possa analisar os padrões de variação dos efluentes com relação à produção.

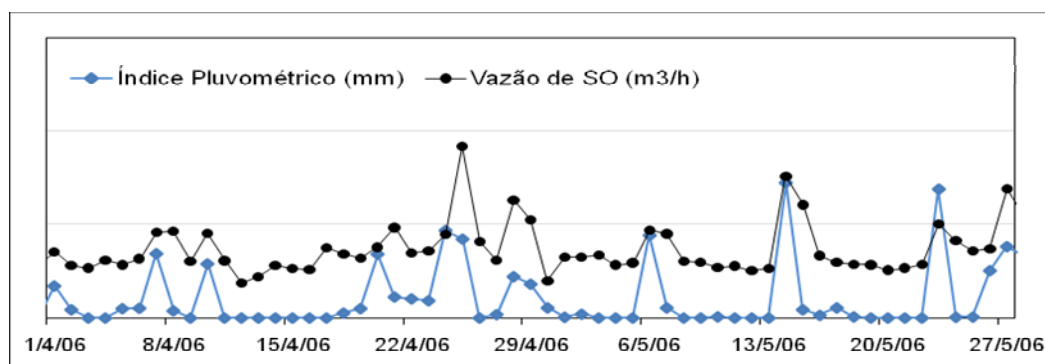


Figura 1: Série temporal de vazão diária SO e precipitação

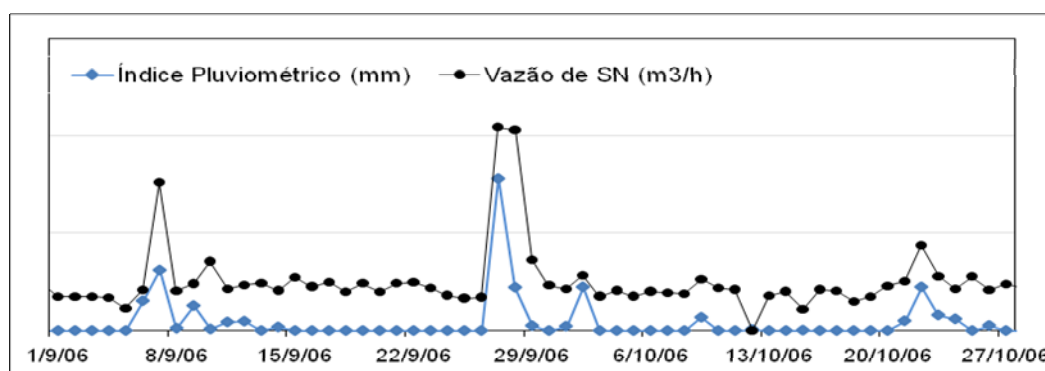


Figura 2: Série temporal de vazão diária SN e precipitação

A área de contribuição da precipitação para cada efluente, SO e SN, foi calculada considerando dados a partir do ano de 2005 por verificar-se maior estabilização do processo neste período. A área de contribuição estimada para o SN foi quase seis vezes maior que a do SO.

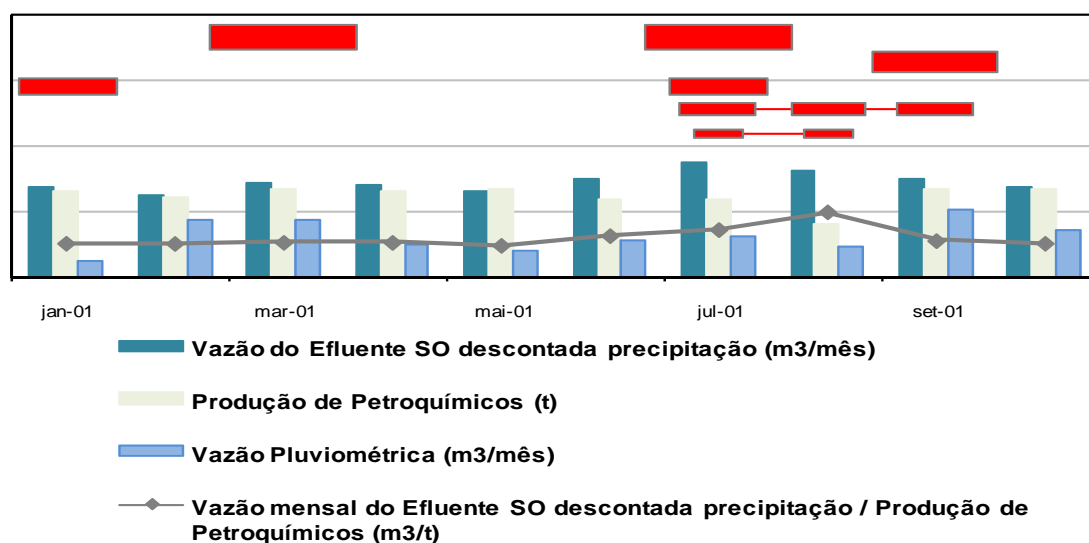


Figura 3 - Gráfico para acompanhamento do indicador de SO descontado a precipitação por produção de petroquímico (Jan - Set 2001).



Os gráficos de acompanhamento dos indicadores foram construídos considerando dados de vazões, após descontada a contribuição da precipitação, dados de produção e precipitação (Figura 3). Foram ainda inseridas a simbologia criada para representar os períodos de parada para manutenção. Entre os anos de 2001 a 2004, verifica-se um período de maior instabilidade do processo, ocasionando assim variações no indicador SO específico. Já a partir de 2005, a produção de petroquímicos apresenta maior estabilidade; dessa forma, este mesmo indicador sofreu pouca influência das paradas nesse período. Para o caso do indicador de efluente inorgânico, SN específico, verifica-se que não existe relação visível entre os dados de produção e da vazão de SN.

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 é descrito a seguir:

- Considerando que o sistema de drenagem de efluentes é composto principalmente de canais abertos, e que a indústria está localizada em uma região tropical, a precipitação é um fator ambiental que influencia a geração de efluentes (Figura 4). Estimou-se, assim, a vazão diária de água de chuva que contribui para os efluentes inorgânicos e orgânicos.

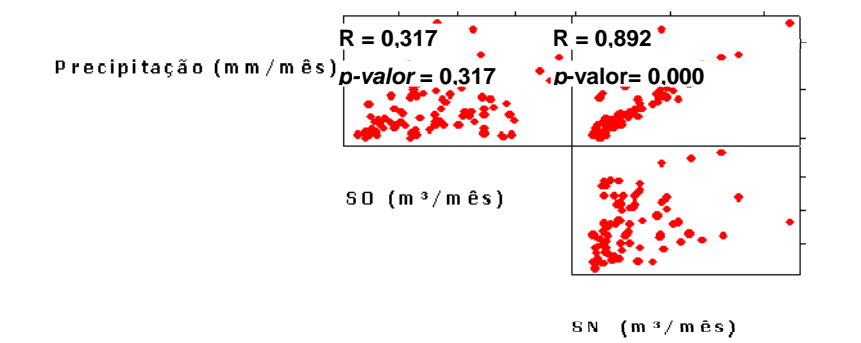


Figura 4 - Gráfico de dispersão (SO: Efluente Orgânico; SN: Efluente Inorgânico; R: coeficiente de correlação linear).

Comparando-se médias e desvios padrão bianuais dessas duas variáveis (Figura 5 e 6), verifica-se uma redução na geração de SO com o aumento da estabilidade do processo, indicando a existência de uma relação inversa entre essas duas variáveis.

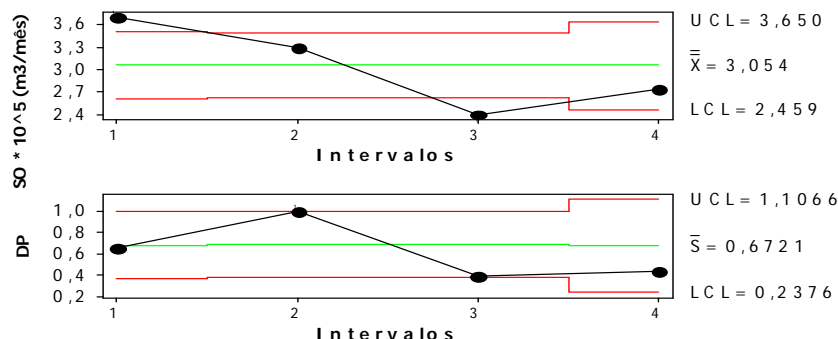


Figura 5 Gráficos de média e desvio padrão (DP) bianuais da vazão SO (SO, m³/h).

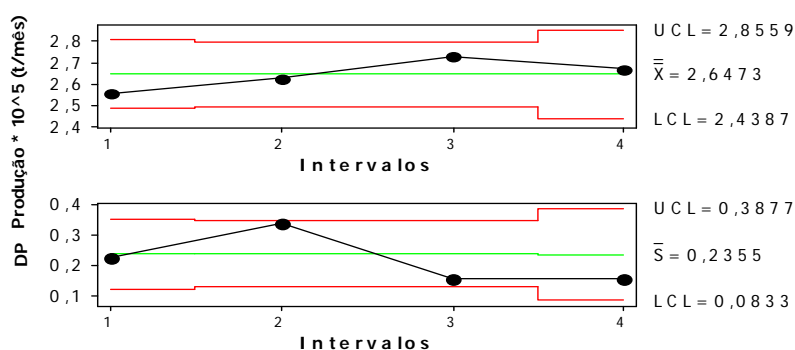


Figura 6 Gráficos de média e desvio padrão (DP) bianuais da produção de petroquímicos (Produção, t/mês)

Através do acompanhamento e análise das variações de SO e SN por meio da ANOVA – Análise da variância, verificou-se que os turnos operacionais influenciavam na vazão de efluente, sendo os turnos divididos em, turno 1 (23:00 – 7:00), turno 2 (7:00 – 15:00), turno 3 (15:00 – 23:00). Considerando a qualidade dos dados utilizados, utilizou-se um intervalo de confiança de 90% e verificou-se que não há diferenças significativas entre o desempenho dos turnos. Entretanto, uma análise de superposição dos intervalos de confiança das vazões de efluentes de cada turno nos leva a acreditar que este resultado é devido à variabilidade dos dados, e que alguns turnos parecem apresentar um melhor desempenho (Figuras 7 e 8)

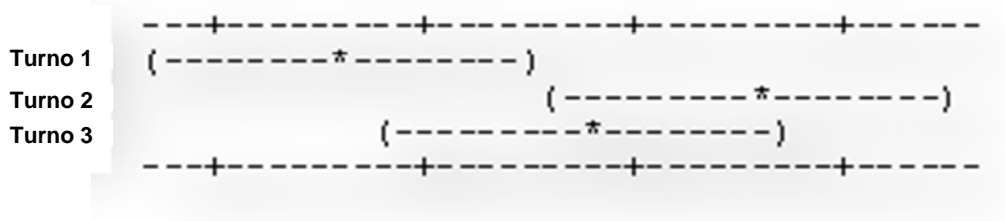


Figura 7 Intervalo de confiança para média do SO por turno de operação

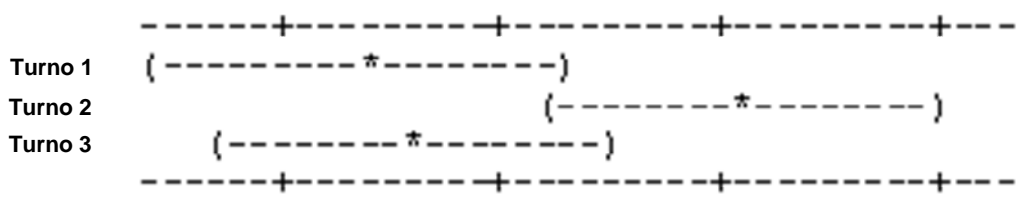


Figura 8 Intervalo de confiança para média do SN por turno de operação

CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

A metodologia proposta para construção e análise dos indicadores de efluentes, com o apoio de técnicos da indústria em questão, permitiram a identificação dos possíveis fatores ambientais e operacionais que poderiam influenciar nos seus respectivos dados. Através de ferramentas gráficas, concluiu-se que a precipitação determinava padrões de variação nas vazões de efluentes, tendo, portanto, influência nas mesmas. Dessa forma, a área de contribuição da precipitação de cada efluente foi estimada e os valores dos volumes pluviais foram descontados de cada efluente.



Através da comparação da produção de petroquímicos com a vazão de cada efluente, pôde-se concluir que a vazão de efluente orgânico diminuía com o aumento da estabilidade do processo e que a relação entre a produção e o efluente inorgânico não era visível.

Para a construção e análise de indicadores ambientais relacionados à geração de efluente recomenda-se a utilização de outras ferramentas estatísticas que não foram consideradas no artigo como, análise de componentes principais, a fim de identificar possíveis anormalidades atribuídas ao processo industrial, estimativa de incertezas, levando em consideração aos parâmetros que estão associados às medições na indústria, que caracterizam a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando.

Com a identificação desses fatores, espera-se, posteriormente que esses indicadores possam auxiliar a diminuição da geração de efluentes através da elaboração de mudanças nos procedimentos operacionais atualmente existentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à Braskem e a a FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos - financiam este projeto; à Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM) / UFBA, que, juntamente com a Braskem, coordenam o projeto, e, finalmente, às empresas e órgãos que são parceiros e colaboram com o andamento do projeto, a saber, Cetrel, IMA. As contribuições dos pesquisadores Fernando Mococain, Mario Cesar de Mattos e da estudante de iniciação tecnológica Lara Shelene da Silva Teixeira foram de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14031: Gestão ambiental – Avaliação de desempenho ambiental – Diretrizes. Rio de Janeiro, 2004.
2. Environment Australia. A Guide to Reporting Against Environmental Indicators. Australia, June 2003. Disponível em <http://www.environment.gov.au/settlements/industry/finance/publications/indicators/pubs/indicators.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2008.
3. VELEVA, V. & ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*. v.9, p. 519-549, 2001.
4. KIPERSTOK, A.; SILVA, M.; KALID, R.A.; SALES, E. A.; PACHECO FILHO, J.G.A.; OLIVEIRA, S.C.; GALVÃO, C.P.L. e 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. PEROTTO, E.; ROBERTO, C.; RENZO, M. e PAOLA, B. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. *Journal of Cleaner Production*. v.16, p. 517 – 530, 2008.
6. NORDHEIM, E. e BARRASSO, G. Sustainable development indicators of the European aluminium industry. *Journal of Cleaner Production*. v. 15, p. 275 – 279, 2007.
7. INGARAMO, A.; HELUANE, H.; COLOMBO, M. & CESCA, M. Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry. *Journal of Cleaner Production*. v.17, p. 487 - 495, 2009.
8. HERMANN, B.G.; KROEZE, C.; JAWJIT, W. Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators. *Journal of Cleaner Production*. v. 15, p. 1787 – 1796, 2007.
9. SAENGSAVANICH, C.; COOWANITWONG, N.; GALLARDO, W. G. & LERTSUCHATAVANICH, C. Environmental performance evaluation of an industrial port and estate: ISO14001, port state control-derived indicators. *Journal of Cleaner Production*. v. 17, p. 154-161, 2009.
10. HENRI, J. & JOURNEAULT, M. Environmental performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms. *Journal of Environmental Management*. v. 87, p. 165-176, 2008.