

Avaliação econômica e ambiental da aplicação da produção mais limpa na estação de tratamento de efluentes de uma empresa do ramo metal mecânico

Economic and environmental assessment of the implementation of cleaner production in a wastewater treatment station of a metalworking company

Geraldo Cardoso Oliveira Neto

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista – Unip e Doutor em Administração de Empresas pela Universidade Nove de Julho – Uninove, Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – Uninove. São Paulo, SP [Brasil]
geraldo.neto@uninove.br

Roberto Rodrigues Leite

Mestrando em Engenharia de Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – Uninove São Paulo, SP [Brasil]

Elesandro Antonio Baptista

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba – Unimep, Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – Uninove. São Paulo, SP [Brasil]

Resumo

Os impactos ambientais resultantes da exploração dos recursos naturais para produção de matérias-primas e dos descartes de resíduos gerados nos processos produtivos das indústrias tornam necessária uma nova visão em relação à questão ambiental. Assim, os gestores devem utilizar novas tecnologias para redução destes impactos, conciliando a utilização destas tecnologias com possíveis ganhos econômicos para a organização. Diante disso, objetivou-se avaliar os ganhos econômicos e ambientais resultantes da aplicação da produção mais limpa na estação de tratamento de efluentes de uma empresa de pequeno porte do ramo metal mecânico. Para tanto, adotou-se o método de observação participante para o desenvolvimento deste estudo de caso, baseado na análise do processo de implantação de produção mais limpa, que gerou ganhos econômicos e ambientais, sendo estes últimos avaliados pelo método Wuppertal. Os resultados apresentaram ganhos bastante representativos em termos ambientais e econômicos, por parte da empresa, após a implantação da produção mais limpa.

Palavras-chave: Estação de tratamento de efluentes. Produção mais limpa. Vantagem econômica e ambiental.

Abstract

The environmental impact resulting from the exploitation of natural resources for the production of raw materials and the disposal of waste generated by industrial production processes demands a new vision with regard to environmental issues. Hence, it is very important that managers begin using new technologies to reduce the impact, seeking to reconcile using these new technologies with obtaining potential economic gains for the organization. With this in mind, the authors of this study set as its goal the evaluation of the economic and environmental gains resulting from the application of cleaner production in a wastewater treatment station of a small metalworking business. For this purpose, we adopted the method of participant observation for the development of a case study based on the study of the implementation of cleaner production that generated economic and environmental gains, with the environmental gains being assessed using the Wuppertal process. The results of the study presented measurable gains in environmental and economic terms through the implementation of cleaner production.

Key words: Cleaner production. Economic and environmental advantage. Wastewater treatment.

1 Introdução

Com o crescimento acelerado de diversas atividades econômicas, surgiram problemas que, se antes não exigiam muita atenção em termos ambientais, hoje são cruciais para preservação do meio ambiente. A busca incessante pela produção mais eficiente e lucrativa trouxe benefícios do ponto de vista econômico e social, porém, sob o aspecto ambiental, começou-se a perceber a degradação nos ecossistemas, provocada pelo crescimento econômico desenfreado e pelas grandes questões associadas ao aumento populacional nas metrópoles, como, por exemplo, o acesso à água tratada, entre outras questões ambientais. As indústrias estão adotando uma nova abordagem, utilizando a variável ambiental como direcionador de suas estratégias, quer seja pelo fator coercitivo, que aparece na forma de regulamentações, quer seja pelo econômico, que se apresenta como oportunidades competitivas com a preservação ambiental (JABBOUR, 2010).

A poluição das águas é assunto cada vez mais preocupante e urgente de solução (HARCAAG, 2005); e a indústria metalúrgica, em razão de suas características produtivas, gera vários tipos de resíduos e efluentes, sendo muitos deles, contaminantes para o meio ambiente. Com custo altíssimo e, muitas vezes, com inviabilidades técnicas, o tratamento da água se torna, cada vez mais, uma necessidade e um problema para as empresas. Equacionar os problemas de modo a encontrar soluções passa por muitas etapas, que podem ir da conscientização e necessidade de pesquisas científicas até a elaboração de legislações e autuações rígidas no cumprimento delas, caso contrário, esse precioso líquido tão importante para a subsistência poderá faltar em um futuro próximo.

Este cenário vem ao encontro de um processo de mudança de conscientização, comportamento e atitude ambiental, o qual teve sua origem após

a Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, na Suécia, que firmou a base para um novo entendimento a respeito das relações entre o meio ambiente e o desenvolvimento.

Pela importância do assunto e da necessidade de inovação em processos para a competitividade das organizações, preservação dos recursos naturais e sustentabilidade ambiental, neste estudo, objetivou-se avaliar os resultados ambientais e econômicos obtidos por meio da aplicação da produção mais limpa (P+L), em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de pequeno porte, atuante no segmento metal mecânico, apresentando a maneira como a empresa destina os descartes gerados no processo de ETE, e o modo como desenvolveu o método de reuso da água, atuando assim, mediante uma estratégia preventiva em relação ao meio ambiente, minimizando os impactos associados aos seus processos de fabricação.

2 Referencial teórico

2.1 Produção mais limpa na estação de tratamento de efluentes

A preocupação com o tratamento de poluentes, entre eles, efluentes líquidos e resíduos sólidos, com o objetivo de reduzir impactos no meio ambiente, quando do seu descarte, teve início na década de 1970, período em que foram adotadas tecnologias conhecidas como “fim de tubo” (OURA; SOUZA, 2007).

A P+L propõe a substituição do modelo industrial, baseado no sistema “fim de tubo” de contenção de resíduos para posterior tratamento e descarte, por um novo, no qual os aspectos ambientais, como o consumo de água e energia, têm relevância especial. Hoje em dia, a P+L é preferível à dependência de controle de po-

luição, por abranger os processos de produção e os procedimentos de gestão, os quais permitem reduzir a utilização de recursos – mais do que as tecnologias convencionais – e também gerar menos resíduos e quantidades menores de substâncias tóxicas ou outras substâncias nocivas. A P+L visa a incluir desde o projeto até a disposição final ou a reutilização do produto (PETROESC; MORARU, 2011).

A P+L é essencialmente simples e direta, propõe: minimizar desperdícios e emissões pela eliminação de suas causas já na criação de produtos e serviços, em vez de tratá-los depois que estes foram criados (VAN BERKEL et al., 2006 e 2007).

A metodologia da P+L aplica uma abordagem preventiva na gestão ambiental, que permite o funcionamento da empresa em termos sociais e ambientais, resultando em melhorias econômicas e tecnológicas. Estar familiarizado com as fontes de poluição, seu monitoramento e controle, representa um primeiro passo no sentido de reduzir a quantidade e a toxicidade de todas as emissões, com foco na aplicação de uma P+L na indústria de elaboração e processamento de materiais metálicos (STRUGARIU; HEPUT 2012).

Desta forma, a P+L constitui o aproveitamento contínuo de uma estratégica econômica, ambiental e tecnológica associada aos processos e produtos a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, contribuindo para a não geração, a diminuição ou a reciclagem de resíduos em todos os setores produtivos (UNIDO/UNEP, 1995).

A aplicação dos conceitos da P+L tem por objetivo a redução da geração dos resíduos e emissões, entre outros. Cada ação para diminuir o uso de matérias-primas e energia, prevenir ou reduzir a geração de resíduos pode aumentar a produtividade e trazer benefícios econômicos para a empresa (GIANNETTI et al., 2008).

Desenvolvida nos últimos anos como uma eficiente ferramenta para proteção do meio ambiente, a P+L tem mostrado a sua capacidade de diminuir a poluição ambiental, preservar os recursos naturais de descarga excessiva e, geralmente, para limitar o impacto ambiental negativo das atividades econômicas (LI et al., 2011). Sua aplicação como instrumento do desenvolvimento sustentável, proporciona às empresas, maior competitividade devido à economia alcançada, bem como à valorização da marca pela associação ao respeito pelo meio ambiente (PNUMA, 2004). A sua integração pode proporcionar sinergias, alargando o âmbito da sua aplicação, dando resultados mais eficazes, tanto ambientais como econômico (UNEP, 2004).

3 Metodologia

Este trabalho apresenta uma análise dos resultados econômicos e ambientais decorrentes da implantação dos conceitos da P+L em uma ETE, dentro de uma empresa atuante no setor metal mecânico, da região metropolitana de São Paulo, por meio de um estudo de caso de origem exploratória, sendo, assim, possível criar as condições adequadas para a compreensão da situação analisada (YIN, 2010).

Os instrumentos utilizados para coleta de dados foi a observação, caracterizada como qualitativa e quantitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1992). As vantagens ambientais e econômicas foram calculadas mediante estudo dos investimentos efetuados pela empresa na implantação e manutenção da ETE, além dos resultados ambientais, no que se referem à redução dos impactos alcançados. Os ganhos ambientais foram mensurados por meio do método desenvolvido pelo Instituto Wuppertal, que avalia as mudanças ambientais associadas à extração de recursos dos ecossistemas com base

no Mass Intensity Factor (MIF). Nesse cálculo, uma quantidade de material é previamente processada em vários compartimentos ambientais, sendo tais compartimentos classificados em: abiótico, biótico, água e ar.

Segundo Odum (1998), o ecossistema é composto de compartimentos bióticos e abióticos com interação entre si, o compartimento biótico consiste no conjunto de todos os organismos vivos, tais como plantas e decompositores; o abiótico é o conjunto de fatores não vivos de um ecossistema, mas que influenciam no meio biótico, formado por: temperatura, pressão, pluviosidade de relevo, entre outros.

A quantidade total de material de cada compartimento que foi processado para suprir um dado elemento denomina-se intensidade de material, e, para determiná-la, o fluxo de entrada de massa (expresso nas unidades correspondentes) é multiplicado pelo fator MIF, que corresponde à quantidade de matéria necessária para produzir uma unidade de fluxo de entrada (OLIVEIRA NETO et al., 2010).

Os valores MIF, apresentados na Tabela 1, correspondem aos valores utilizados para os cálculos neste trabalho, conforme fundamento o instituto Wuppertal (2008).

4 Estudo de caso

A empresa estudada foi classificada como de pequeno porte. Conta, atualmente, com 60 funcionários diretos. Suas instalações são localizadas na cidade de São Paulo, sendo distribuídas em um terreno de 15 mil m², e seus produtos atendem o mercado automotivo, linha branca e grandes revendas. Especialista em sua área, fabrica elementos de fixação pelo processo de conformação a frio, em materiais, como aço carbono, aço inox, alumínio, cobre e latão, podendo ser pintados, zincados ou com acabamento natural.

Para caracterizar a carga poluidora dos efluentes industriais gerados pela empresa, é necessário o conhecimento prévio do processo industrial para a definição do programa de amostragem. As informações importantes a serem obtidas são: lista de matérias-primas, principalmente aquelas que de alguma forma possam ser transferidas para os efluentes; fluxograma do processo industrial, indicando os pontos nos quais são gerados efluentes contínuos ou intermitentes; identificação dos pontos de lançamento de efluentes; definição do sistema de medição de efluentes e sua instalação. A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de fabricação dos fixadores, tendo em destaque a ETE instalada depois da implantação da P+L.

Tabela 1: Fatores de MIF utilizados no trabalho

Substâncias químicas	Fórmulas moleculares	Material abiótico	Material biótico	Água	Ar
Alumínio	Al	0,85		30,74	0,95
Cloreto de alumínio	AlCl ₃	8,61		110,63	1,15
Chumbo	Pb	15,6			
Cobre	Cu	2,38		85,51	1,32
Níquel	Ni	141,29		233,34	40,83
Estanho	Sn	8.468,00		10.958,00	149
Água	H ₂ O	0,01		1,3	0
Cal	CaO	1,44		5,56	0,03
Energia elétrica	—	2,67		37,92	0,64
Cloro	Cl ₂	3,84		100,9	1,09

Fonte: Wuppertal (2008).

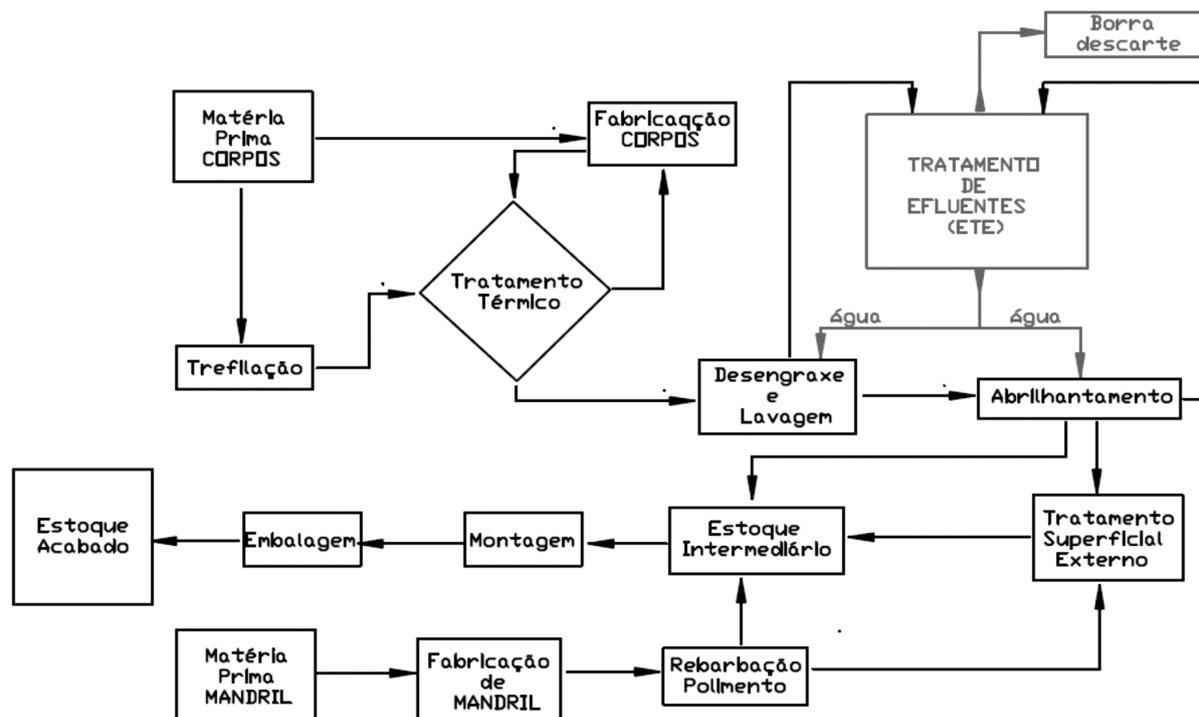


Figura 1: Visão geral do processo de fabricação

Fonte: Os autores.

Em seu processo de fabricação, a empresa utiliza vários produtos químicos, como desengraxantes, abrillantadores, óleos, etc., e, pensando no meio ambiente, além de atender a legislação ambiental, procurou uma maneira de eliminar o descarte de efluentes contaminados na rede pública implantando uma ETE.

Os parâmetros escolhidos para a caracterização dos efluentes devem: ser representativos da carga poluidora; servir para a definição do processo de tratamento; servir para o dimensionamento da estação de tratamento; atender ao programa de monitoramento estabelecido para o atendimento à legislação ambiental.

A caracterização físico-química das águas, efluentes industriais e também dos resíduos industriais (resíduos sólidos industriais – RSI), consiste em serviços de determinação no campo e a utilização do controle analítico de laboratório relativo aos parâmetros sanitários e ambientais. Em

virtude dos diferentes tipos de poluentes lançados nos corpos receptores, são necessários diversos parâmetros de controle analítico. Os normalmente utilizados são os de natureza física, química e biológica, além da medição de vazão associada à coleta de amostras, análises laboratoriais e comparação com a legislação ambiental.

As análises das amostras dos efluentes brutos servem para quantificar a carga poluidora, verificar a sua variabilidade, definir o processo de tratamento, dimensionar os sistemas de tratamento e constatar sua eficácia e eficiência.

Os parâmetros e limites a ser obedecidos, tanto para padrão de emissão (efluentes líquidos), como para padrão de qualidade (corpos hídricos receptores), constam do regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, do Estado de São Paulo, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 (SÃO PAULO, 1976), e também da Resolução Federal nº 357 (BRASIL, 2005).

uma caixa separadora de água e óleo, na qual este último é separado em recipiente apropriado para destinação, enquanto a água é direcionada para a elevatória. O sistema é operado por batelada e, devido ao baixo volume, não é necessário que o processo seja contínuo e automatizado.

Um controlador de nível instalado na elevatória, quando ativado, transfere via bomba centrífuga o efluente para o tanque de armazenagem. Um operador abre a válvula que alimenta este tanque com um volume determinado de 2000 litros.

No tanque de mistura, é realizado o acerto de pH para 8 – 8,5, em seguida, são dosados os coagulantes e flocantes, ocasionando precipitação dos sólidos que estão dissolvidos.

A homogeneização é realizada com ar comprimido, após um período pré-determinado de agitação, a bomba pneumática é ativada manualmente, transferindo o efluente para o tanque decantador, em que o lodo é precipitado, e a água tratada é separada.

No decantador o efluente permanecerá por um período mínimo de três horas e, após esse período, a água será enviada para o tanque de água tratada.

O efluente tratado que esta no tanque, quando necessário, é bombeado pela centrífuga, passando pelo filtro misto e, finalmente, sendo armazenado no tanque para reuso ou descarte.

O lodo gerado será enviado por gravidade para o leito de secagem, depois de seco, deverá ser descartado.

5 Resultados e discussão

5.1 Avaliação ambiental da aplicação da P+L na ETE

Os dados utilizados para o cálculo de intensidade material são os valores encontrados nas análises realizadas nas amostras de efluente bruto. Os valores apresentados na Tabela 2 foram calculados com base na geração mensal de borra na ETE da empresa, que é de 1040 kg por mês.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados do impacto ambiental que os valores encontrados na coluna “Res. Anual (kg)” da Tabela 2 produz, quando multiplicados à Tabela 1, de Intensidade de Material. Os resultados apontam que a redução do impacto ambiental por meio da implantação de P+L na ETE anual mensura redução de poluição de 22811,16 kg, na água; 6746,24 kg, no compartimento abiótico, que são representados pelos fatores que influenciam o nível biótico no ecossistema, tais como pressão atmosférica, aquecimento global, pluviosidade, e 238,85 kg de minimização de emissões no ar.

Tabela 2: Análise do efluente bruto

Substâncias químicas	Fórmulas moleculares	Unidade	Resultado	Res. Mensal (kg)	Res. Anual (kg)
Alumínio	Al	mg/kg	0,3	0,000312	0,003744
Cloreto de alumínio	AlCl ₃	mg/ kg	0,3	0,000312	0,003744
Chumbo	Pb	mg/ kg	9,68	0,0100672	0,1208064
Cobre	Cu	mg/ kg	17	0,01768	0,21216
Níquel	Ni	mg/ kg	11	0,01144	0,13728
Estanho	Sn	mg/ kg	36	0,03744	0,44928
Água	H ₂ O	m ³ /mês	100	100	1200
Cal	CaO	kg /mês	140	140	1680
Energia elétrica	—	kW/mês	15	15	180
Cloro	Cl ₂	mg/ kg	0,05	0,00052	0,00624

Fonte: Os autores.

Tabela 3: Redução do impacto ambiental

Substâncias químicas	Fórmulas moleculares	Material abiótico	Material biótico	Água	Ar	Soma por substância
Alumínio	Al	0,00319		0,1151	0,0036	0,12189
Cloreto de alumínio	AlCl ₃	0,0323		110,63	0,4142	111,0765
Chumbo	Pb	1,885				1,885
Cobre	Cu	0,505		18,141	0,28	18,926
Níquel	Ni	19,396		32,033	5,605	57,034
Estanho	Sn	3812,59		4.923,21	66,943	8802,743
Água	H ₂ O	12		1560	0	1572
Cal	CaO	2419,2		9340,8	50,4	11810,4
Energia elétrica	—	480,6		6825,6	115,2	7421,4
Cloro	Cl ₂	0,024		0,63	0,0068	0,6608
Soma dos compartimentos		6746,24		22811,16	238,85	29796,25
Redução do impacto total			59592,50			

Fonte: Os autores.

Como resultado final, o cálculo do impacto ao meio ambiente, conforme apresentado na Tabela 3, foi o de 59592,50 kg por ano.

5.2 Avaliação econômica

Os gastos com a manutenção da ETE envolveram a utilização de produtos químicos, para o tratamento do efluente bruto; consumo de energia elétrica, para acionamento das bombas; mão de obra, para a limpeza do sistema e manipulação dos produtos químicos, além da retirada e armazenagem da borra gerada ETE para descarte; análises laboratoriais e documentação, para transporte e destinação da borra, como, por exemplo, os Cadris, que são os certificados de autorização de destinação de resíduos industriais sólidos. Os valores referentes aos gastos médios mensais para manutenção da ETE são apresentados na Tabela 4.

Como pode ser observado na Tabela 6, a empresa tinha um gasto médio mensal de manutenção da ETE, antes da implantação do reuso da água, de R\$ 1.451,34 e, depois, com o reuso da água, passou a R\$ 2.388,39, verificando-se um aumento de R\$ 937,65, por mês, nos gastos. Porém, com a

Tabela 4: Gastos mensais

Itens	Gasto mensal sem reuso da água	Gasto mensal com reuso da água
Produtos químicos	R\$ 100,00	R\$ 235,00
Cal	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Carvão ativo	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Areia	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Energia elétrica	R\$ 80,00	R\$ 135,00
Mão de obra	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Análises laboratoriais	R\$ 250,00	R\$ 997,05
Cadris	R\$ 83,34	R\$ 83,34
Transporte dos resíduos	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Destinação	R\$ 208,00	R\$ 208,00
Total	R\$ 1.451,34	R\$ 2.388,39

Fonte: Os autores.

aplicação da P+L, para a organização, este gasto mensal se reverteu em ganho com o reuso da água tratada para fins não potáveis, em seu processo de fabricação.

Enquanto o tratamento de efluente convencional tem por objetivo atender os padrões de lançamento, a motivação da empresa para a implantação da P+L foi a de obter ganho econômico reduzindo o consumo de água pelo seu reuso.

5.3 Confrontando vantagens econômicas com vantagens ambientais

Com a P+L na ETE, o consumo mensal de água da empresa reduziu de 360 m³/mês para 200 m³/mês, representando uma diminuição de 42% deste, o que gerou uma economia de R\$ 3.700,00, ao mês. Deduzindo-se este montante do valor de R\$ 2.388,39, referente aos gastos com manutenção, observa-se que houve um ganho de R\$ 1.311,61, projetando o retorno do investimento inicial, feito na implantação da ETE, num prazo aproximado de três anos.

Em relação às vantagens ambientais, destacam-se a redução do impacto do descarte de substâncias no ambiente – de acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, tem-se clara visão do tamanho do impacto que os descartes gerados no processo da organização causavam ao meio ambiente antes da implantação da P+L na estação de tratamento de efluentes, algo em torno de 59,5 toneladas/ano –, e a substancial economia de água alcançada, por meio do seu reuso, no processo de fabricação da empresa.

6 Considerações finais

A redução de custos e impactos ambientais são os mais importantes benefícios que se obtém com a implantação da P+L, o menor consumo de água, a maior eficiência energética ou a redução da necessidade de entrada materiais resultam em menores despesas operacionais, além disso, a P+L estabelece poderosas estratégias que reduzem os custos e geram lucros pela redução resíduos.

Tratar de forma eficiente os efluentes gerados tornou-se imprescindível ao setor industrial, que procura aliar a boa aceitação de seus produtos no mercado em conformidade com a legislação am-

biental vigente. Toda água contaminada na indústria precisa ser tratada, as impurezas devem ser eliminadas ou reduzidas para certos valores antes de sua descarga no emissário, a fim de não prejudicar o receptor e não comprometer a sua reutilização.

Reutilizar as águas de processo torna-se igualmente fundamental à realidade das indústrias, na medida em que este procedimento possibilita a diminuição dos custos gerais, conforme foi apresentado neste estudo, no qual se observaram resultados expressivos das ações tomadas pela empresa na implantação da P+L em sua ETE, demonstrando que é possível conquistar vantagem econômica e ambiental, e que embora a implantação de ações de prevenção à poluição requeira algum recurso de entrada por parte da empresa, ela pode lucrar, obtendo ganhos econômicos como resultado destas ações.

Uma limitação deste trabalho consiste na impossibilidade de generalização dos dados por se tratar de aplicação em estudo de caso único, sendo possível sugerir novas pesquisas para gerar comparações dos resultados.

Referências

- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. *Qualitative Research for Education: an Introduction to Theory and Methods*. 2nd ed. Boston: Allyn and Bacon, 1992.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 357 de 17 março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- GIANNETTI, B. F. et al. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 10, p. 1106 -1117, 2008.

HARCEAG, V. *Water pollution prevention actions in Romanian industry*. S. l.: Springer Netherland. Modern Tools and Methods of Water Treatment for Improving Living Standards. NATO Science Series: IV Earth and Environmental Sciences, v. 48, n. 4, p. 315-323, 2005.

JABBOUR, C. J. C. Non-linear path ways of corporate environmental management: a survey of ISO 14001-certified companies in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 12, p. 1222-1225, 2010.

LI, Z. et al. Evaluation of cleaner production audit in pharmaceutical production industry: case study of the pharmaceutical plant in Dalian, P. R. China. *Clean Techno Environ Policy*, v. 13, n. 1, p. 195-206, 2011.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CHAVES, E. C. C.; VENDRAMETTO, O. Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha, *Exacta*, v. 8, n. 1, p. 65-80, 2010.

OURA, M. M.; SOUSA, T. S. A evolução das tecnologias *end-of-pipe* às tecnologias limpas em indústrias de torrefação de café. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007. Foz do Iguaçu, PR. *Anais...* Foz do Iguaçu: Enegep, 2007.

PETROESC, V.; MORARU, R. I. Industrial pollution and control measures in Romanian foundries. In: *Annals of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering*, v. 9, n. 4, p. 211-216, nov. 2011.

PNUMA. *A produção mais limpa e o consumo sustentável na América Latina e Caribe*, São Paulo, 2004. 134 p. Disponível em: <http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/AProducaoMaisLimpaeoConsumoSustentavelNaALeC.pdf>. Acesso em: 15 out. 2013.

SÃO PAULO (Estado). Decreto N. 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, art.18. *D. O. E. Executivo*, São Paulo, 9 set. 1976. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/legislacao/Decreto_Estadual_8468_76.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

STRUGARIU, M. L.; HEPUT, T. Monitoring results on industrial wastewater pollutants in steel Industry. *Acta Technical Corviniensis – Bulletin of engineering*, v. 5, n. 4, p. 33-36, 2012.

UNEP. *Cleaner production energy efficiency e manual*. Oxford: United Nations Publication, 2004.

UNIDO/UNEP. *Manual (a). Cleaner Production Assessment Manual. Part One. Introduction to Cleaner Production. Draft*, 1995.

VAN BERKEL, R. et al. Cleaner production and eco-efficiency. In: MARINOVA, D.; ANNANDALE, D. PHILIMORE, J. (Eds.) *Handbook on Environmental Technology Management*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publications, 2006. p. 67-92.

VAN BERKEL, R. Cleaner Production and Eco-efficiency initiatives in Western Australia. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 8-9, p. 741-755, 2007.

WUPPERTAL. Institute. Calculating MIPs, resources productivity of products and services. Wuppertal. 2008. 12 p. Disponível em: <http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiberitrag/MIT_v2.pdf>. Acesso em: nov. 2013.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2010. 212 p.

Recebido em 9 abr. 2014 / aprovado em 27 mar. 2014

Para referenciar este texto

OLIVEIRA NETO, G. C.; LEITE, R. R.; BAPTISTA, E. A. Avaliação econômica e ambiental da aplicação da produção mais limpa na estação de tratamento de efluentes de uma empresa do ramo metal mecânico. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 33-42, 2014.