



## Oportunidade para a Contínua Implantação da Produção Mais Limpa com o Novo Paradigma de Engenharia Sustentável

L. C. da Silva <sup>a</sup>

*a. Agência de Meio Ambiente de Resende, Rio de Janeiro, dasilvalc2@gmail.com*

---

### Resumo

Desde o surgimento e da ampla discussão sobre sustentabilidade, vários exemplos concretos de iniciativas a fim de conduzir as questões ambientais dentro da engenharia, podem ser encontrados na literatura como, por exemplo, a Produção mais Limpa – P+L. Este artigo visa fornecer uma estrutura teórica-conceitual, a partir da revisão da literatura sobre as duas temáticas, com o objetivo de identificar e estabelecer uma interrelação dos conceitos, princípios e práticas de Produção mais Limpa e do novo paradigma da Engenharia Sustentável, visando construir a sustentabilidade.

**Palavras-chave:** P+L; Engenharia Sustentável; Sustentabilidade.

---

### 1 Introdução

O paradigma da sustentabilidade trouxe grandes desafios para as sociedades, principalmente, para o setor produtivo atual. Neste contexto, já há preocupação com as questões ambientais, como o desperdício de matérias-primas e energia, incluindo a geração de resíduos e emissões.

Em 1989, a United Nation Industrial Development Organization (UNIDO) e a United Nation Environmental Program (UNEP) apresentaram o conceito de Produção mais Limpa – P+L como sendo uma alternativa de caráter estratégico que aborda as dimensões: econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos. Desde então, a P+L tem sido aplicada com o objetivo de aumentar a eficiência na utilização de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo.

A sua aplicação ainda é necessária para manter os sistemas produtivos e de consumo sustentáveis (SHIN et al, 2008). Complementando, Rossi e Barata (2009) afirmam, no contexto brasileiro, que a P+L é capaz de reduzir os impactos identificados nos processos e na atividade de uma empresa, além de proporcionar benefícios financeiros e em sua imagem.

De acordo com Taylor (2006), a P+L pode gerar melhorias sócio-ambientais de curto e longo prazo, bem além daquelas a serem obtidas pelo simples atendimento à legislação, mesmo embora as vantagens de sua implantação, como a redução de resíduos, de custos e a melhoria da eficiência do processo, frequentemente, não são suficientes para que sejam adotadas as práticas de P+L.

Portanto, frente aos diversos desafios da sustentabilidade, a P+L deve ser uma condição *sine qua non* para que as sociedades estabeleçam e mantenham sistemas de produção e consumo sustentáveis (SHIN et al, 2008); sendo que a engenharia se apresenta como uma das principais disciplinas de transformação para uma sociedade sustentável (BROMAN et al 2002; SHIN et al, 2008; BONILLA et al, 2010).

Desponta-se, assim, um novo rumo da engenharia, chamado de Engenharia Sustentável – ES (CAREW; MITCHELL, 2001; ABRAHAM, 2004; 2005a; CAREW; MITCHELL, 2008; ALLENBY et al, 2007; 2009), que demanda soluções para os problemas atuais surge para que as futuras gerações possam ter pelo menos as mesmas oportunidades que as gerações atuais têm experimentado.

Neste contexto, no qual a sociedade deverá realizar avanços positivos em direção a sustentabilidade e abarca a implementação da P+L, esta pesquisa busca responder à seguinte questão: A Engenharia Sustentável se apresenta como uma oportunidade para se difundir práticas de P+L?

Como contribuição na busca da resposta desta questão, este artigo propõe apresentar uma estrutura teórica-conceitual, que combina conceitos, princípios e propostas analisadas e sintetizadas, com o objetivo de identificar e estabelecer uma interrelação de P+L e engenharia sustentável. Apresentando na seção 2, uma análise da P+L no contexto da sustentabilidade. Na seção 3, uma análise da dinâmica e das inter-relações entre a P+L e a engenharia sustentável e por fim, a seção 4 apresenta as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas.

## **2 Produção mais Limpa e Sustentabilidade**

A UNIDO-UNEP conceitua a P+L como uma aplicação contínua de uma estratégia de prevenção ambiental integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência global e reduzir os riscos aos humanos e ao meio ambiente. No entanto, a P+L tem sido utilizada como prevenção da poluição, minimização de resíduos, produtividade verde e ecoeficiência (UNEP, 2001).

É consenso entre os pesquisadores, que a P+L é um modo de pensar, uma ferramenta e um programa, que envolve os desafios: políticas de governo, tecnologia ambiental, redução de desperdício, medida de desempenho, segurança do trabalho, desenvolvimento econômico e consumo (GEISER, 2001).

A P+L deve ser um processo contínuo, que envolve mudanças organizacionais, tecnológicas, consciência e mudanças de atitudes (FRESNER, 1998; KJAERHEIM, 2005), atuando preventivamente e promovendo uma visão holística dos recursos, produção, economia e meio ambiente, capaz de melhorar a utilização de material e reduzir o consumo de energia e os níveis de emissão.

Na prática, espera-se que a P+L resulte em conservação de energia e recursos naturais; sendo economicamente eficiente; não poluente, ao contrário, segura e saudável aos trabalhadores, consumidores e comunidades; e gratificante para todos os envolvidos (HAMED; MAHGARY, 2004).

### *2.1 A Sustentabilidade da P+L*

A disseminação dos conceitos e princípios da P+L tem sido difundida para vários países pelos Centros Nacionais de Produção mais Limpa – CNPLs, assim como a difusão dos princípios da sustentabilidade na indústria e sociedade (VAN BERKEL, 2010). As atividades de conscientização ambiental realizadas por estes centros tem resultado em programas nacionais de governo, centros nacionais de assistência

técnica, pesquisa acadêmica e programas de ensino, suporte às organizações não-governamentais – ONGs e uma série de manuais, livros e revistas voltadas para P+L (GEISER, 2001).

Em todo o mundo, entretanto, evidencia-se algumas barreiras à implementação da P+L, que podem comprometer a sua sustentabilidade. Barreiras relacionadas com os aspectos de conhecimento, financeiros e gerenciais, como uma consciência limitada das questões de gestão ambiental no processo de tomada de decisão; falta de especialistas em P+L e ausência de tecnologias prontamente disponíveis e a indisponibilidade de capital para a modernização de plantas industriais (SHIN et al, 2008).

Estudo de um grupo de empresas brasileiras revelou que as prováveis barreiras podem ser agrupadas em cinco categorias, sendo que três são essencialmente barreiras externas, relacionadas com política, mercado e economia/ finanças, que estão além do controle das empresas, enquanto as outras duas são barreiras internas, associadas às características de cada empresa, como de informação/ técnicas e gerenciais/ organizacionais (ROSSI; BARATA, 2009).

A remoção das barreiras à implementação da P+L está condicionada, principalmente, às mudanças de comportamento, a utilização das leis ou regulamentações e de programas de incentivos que encorajem os empresários (TAYLOR, 2006).

Entretanto, no contexto organizacional, a P+L contribui para o desenvolvimento sustentável (FRESNER, 1998; HAMED; MAHGARY, 2004; HICKS; DIETMAR, 2007) e deve ser caracterizada por uma economia que não admite a destruição do capital natural, o desperdício de recursos e a utilização de fontes de energias não renováveis (FRESNER, 1998).

Tanto a P+L como a Ecologia Industrial - EI deve beneficiar a economia, o meio ambiente, conduzindo a uma sociedade sustentável (NIELSEN, 2007). Uma sociedade caracterizada pelo uso mais eficiente e consciente de matérias-primas, de tecnologias energéticas e fontes de energias renováveis e não renováveis; pela redução de emissões e impactos; pela ampliação da implementação de sistemas de circuitos fechados de materiais, entre e dentro das empresas e a rápida integração de fontes renováveis para um maior número de processos possíveis (BONILLA et al, 2010).

A construção desta sociedade sustentável requer a integração de três tipos de conhecimento: contextual, tecnológico e reconciliatório (SHIN et al, 2008). Sendo que estes tipos de conhecimento dão suporte a um programa de P+L eficaz, onde o conhecimento contextual é representado pela demanda e lacunas de sustentabilidade da comunidade; o conhecimento tecnológico, do relatório de avaliação tecnológica da indústria a respeito da iniciativa; o conhecimento reconciliatório, de cenários de mitigação das lacunas de sustentabilidade em nível de governo e por fim, baseado no ciclo triangular destes conhecimentos, um plano estratégico de longo prazo para a gestão das lacunas de sustentabilidade.

A P+L sustentável exigirá que as empresas e governos tenham acesso a consultores e especialistas qualificados e a programas de financiamento (HICKS; DIETMAR, 2007). No entanto, para a implementação de uma política de sustentabilidade da P+L, é necessário a utilização de princípios-orientadores, como por exemplo, os baseados em uma abordagem integrada do conhecimento (SHIN et AL, 2008), apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Princípios-orientadores para implementação da P+L Sustentável

Princípio	Estratégia
Aspiração	Uma estrutura motivacional equilibrada e sólida deve complementar o processo evolutivo de implementação de P+L em uma sociedade sustentável.
Adaptação	As políticas governamentais devem adaptar os estágios evolutivos da sustentabilidade em suas jornadas de implementação da P+L.
Ciclo triangular de conhecimento	Os três tipos de conhecimento devem ser integrados para assegurar uma comunicação mútua e juntos trabalhar para promover o nível de implementação da sustentabilidade existente ao seu nível mais elevado.
Programa	Os programas de implementação de P+L devem ser diversificados de acordo com as diversas lacunas de sustentabilidade no tempo e espaço.
Sustentabilidade	O governo com suporte do conhecimento reconciliatório deve ajudar a estabelecer um programa de P+L sustentável de longo prazo, norteado pelo paradigma da sustentabilidade.

Na busca da sustentabilidade da P+L, a UNIDO-UNEP estabeleceu objetivos para pelos próximos cinco anos, tais como a redução da poluição ambiental e consumo de recursos naturais das indústrias participantes e acesso crescente às indústrias verdes aos mercados globais por meio da produção eficiente (ALHILALI, 2008). Além disto, outras prioridades foram identificadas por estas instituições, como a implementação de programas combinando a P+L com a eficiência de recursos, eficiência energética, aplicações de produtos e gestão ambiental de resíduos e substâncias perigosas.

### 3 Contextualizando Produção mais Limpa e Engenharia

A engenharia e seus diversos ramos profissionais sempre buscaram a melhoria do bem-estar humano e desempenha um papel importante em atender as satisfações e aspirações de hoje e de amanhã (VANEGAS, 2006).

No contexto atual da sustentabilidade, torna-se fundamental que os engenheiros apropriem de conhecimentos sobre EI, P + L e Avaliação de Ciclo de Vida e para que eles possam atuar na concepção, construção, gestão e operação das instalações produtivas de forma eficiente e sustentável (BOYLE, 1999).

Sendo o profissional da engenharia, em sua essência, um solucionador de problemas (ALLENBY et al, 2007), ele deve ser capaz de promover sistemas sustentáveis, que sejam autônomos, auto-suficientes, auto-regenerantes, completamente independentes de recursos não renováveis e de combustíveis fósseis e, contra o consumismo descontrolado (PEREIRA, 2009).

Além disto, suas decisões devem estar pautadas nas limitações de materiais e energia, assim como na necessidade de reduzir os descartes de resíduos (DAVIDSON et al, 2010).

#### 3.1 Subdivisão da Engenharia: Processos, Produtos e Produção Sustentável

Os desafios que têm sido apresentados à engenharia, principalmente nas indústrias de transformação, serão melhores enfrentados pela compreensão da engenharia de processos e de produtos (WINTERMANTEL, 1999).

A engenharia de processo possui abordagem sistêmica e uma vasta literatura sobre o tema, formada por um conjunto de ferramentas e técnicas para o redesenho dos processos existentes e criação de soluções inovadoras para os processos frente aos desafios do desenvolvimento sustentável (BATTERHAM, 2006).

Uma outra área é a engenharia de produto; uma área mais recente, que dá mais ênfase ao produto do que ao processo de fabricação, sendo que na maioria das vezes parte do projeto do produto é finalizada antes mesmo de sua fabricação (CUSSLER; MOGGRIDGE, 2001). Nesta abordagem, os desafios são bem maiores do que o da engenharia de processos, onde o desenvolvimento de processos para produzi-los exige especialistas em engenharia de processo e de produto (WINTERMANTEL, 1999).

No entanto as melhorias na eficiência dos processos, produção e produtos são enfatizadas pela P+L (HILSON, 2003; GAVRILESCU, 2004). No caso de processos, a P+L resulta em conservação de matérias-primas, eliminação de substâncias tóxicas e perigosas, redução do consumo de água, energia e da quantidade e toxicidade de todas as emissões e resíduos na fonte. Quanto aos produtos, ela busca reduzir os impactos ambientais à saúde e segurança dos produtos em todo o seu ciclo de vida, da extração de matérias-primas à sua disposição final (VAN BERKEL, 2000).

Vários conceitos sobre abordagens de desenvolvimento de produtos sustentáveis têm surgido, contudo todas têm evidenciado a identificação, redução e eliminação dos impactos ambientais de um produto por todo o seu ciclo de vida (MAXWELL; VAN DER VORST, 2003). A P+L é, em essência, uma produção sustentável (HAMED; MAHGARY, 2004), que pode ser definida como a produção que utiliza eficientemente os recursos.

Recentemente, a UNIDO criou o Programa de Produção mais Limpa e Sustentável para apoiar os CNPLs na promoção e adaptação de métodos, tecnologias e sistemas de P+L e Eficiência de Recursos pelas organizações. No setor industrial, de acordo com, os CNPLs desempenham um papel fundamental para que a produção sustentável não aborde apenas as dimensões: prosperidade econômica e proteção ambiental, mas também justiça social (GRUTTER; EGLER, 2004).

### *3.2 Engenharia Sustentável: um novo paradigma*

Na prática, a incorporação do conceito de sustentabilidade (BOYLE, 1999) é uma importante mudança que deverá ocorrer na engenharia, onde indubitavelmente está englobada a P+L.

Assim, um grande desafio para a engenharia será a de propor soluções para os problemas atuais, a fim de que as futuras gerações possam ter pelo menos as mesmas oportunidades que as gerações atuais têm experimentado. Esta nova abordagem tem sido denominada de Engenharia Sustentável – ES (CAREW; MITCHELL, 2001; ABRAHAM, 2004; 2005a; CAREW; MITCHELL, 2008; ALLENBY et al, 2007; 2009) e o seu desenvolvimento é um grande desafio conceitual e prático para a maioria dos campos da engenharia (ALLENBY et al, 2009), devido à necessidade de compreensão das implicações ambiental, econômica e social de suas decisões.

Como uma nova concepção, ela consiste do desenvolvimento e implementação de sistemas, processos e produtos viáveis, tanto tecnologicamente como economicamente, que considera a proteção da biosfera, como critério a ser considerado nas soluções, enquanto promove o bem-estar humano e protege a saúde humana (ABRAHAM, 2005a).

Também denominada Engenharia Verde, os projetos devem considerar os impactos ambientais dos processos/produtos e suas correlações com os impactos na saúde humana (ABRAHAM, 2004; 2005b), sendo que a eficiência energética, a minimização dos resíduos perigosos, a redução do uso de solventes, seja por substituição ou aumento da reciclagem e muitas outras estão relacionadas com a sustentabilidade (ABRAHAM, 2004).

Diversas instituições têm estabelecido um conjunto de princípios e necessidades para o aprendizado dos porvindouros engenheiros sustentáveis. O Instituto de Engenheiros Profissionais da Nova Zelândia – IPENZ, no intuito de fornecer às futuras gerações, uma direção e escolhas que possibilitarão a sobrevivência da humanidade em longo prazo, estabeleceu três princípios: manter a viabilidade do planeta, proporcionar a igualdade das gerações atuais e futuras e solucionar os problemas holisticamente (BOYLE; COATES, 2005).

A Royal Academy of Engineering - RAENG publicou um conjunto de doze princípios orientadores para a engenharia para o desenvolvimento sustentável (DODDS; VENABLES, 2005), resumidos em ações como: olhar além de sua localidade e no futuro imediato; inovar e ser criativo; buscar uma solução equilibrada e o engajamento de todos os interessados; estar certo das necessidades e desejos; planejar e gerenciar de forma eficaz; conceder sustentabilidade ao benefício de qualquer dúvida, também conhecido como princípio da precaução; se poluir, paga; adotar uma abordagem holística: do berço ao túmulo; fazer as coisas certas desde a primeira vez; ser cauteloso com as reduções de custos; praticar o seu discurso.

Essas diretrizes demonstram que um engenheiro precisará de uma educação holística, que inclua o conhecimento de metodologias da EI, tais como avaliação do ciclo de vida; a contabilidade do fluxo de material; a análise da matriz de processo e produto para determinar os aspectos sócio-ambientais relevantes e ainda utilizar os métodos de engenharia e projeto existentes (ALLENBY et al, 2009).

Já Boyle (2004) amplia esta lista de conhecimentos, ao incluir ética, recursos ambientais, contexto social e cultural, legislação e regulamentações sócio-ambientais, poluição, toxicologia, aquecimento global/destruição da camada de ozônio.

Então, na formação de uma nova proposta epistemológica, engenharia sustentável, é fundamental a aprendizagem e o conhecimento do conceito e das práticas de P+L.

### *3.3 Desafios educacionais da Engenharia Sustentável*

Os desafios globais, que atualmente a sociedade tem enfrentado, demonstram a necessidade de que os estudantes de engenharia e de tecnologia sejam educados e desenvolvam competências em sustentabilidade, a fim de solucionar os problemas atuais e futuros.

Desde o reconhecimento da educação como um dos maiores desafios da sustentabilidade (ORR, 2002), da criação da Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável – DESD e da Declaração de Barcelona surgiu a necessidade de integração total da sustentabilidade nos currículos dos cursos de engenharia (GLAVIC, 2006).

A incorporação da sustentabilidade no ensino de engenharia requer o entendimento do conceito e princípios da sustentabilidade, além de como e quando eles devem ser incorporados no programa de ensino de engenharia (BOYLE, 2004). Talvez por isto, ainda seja recente, nas faculdades e universidades, a inclusão de tópicos de

engenharia sustentável nos currículos, como energias renováveis, técnicas de redução de resíduos e avaliação do ciclo de vida (DAVIDSON et al, 2010).

Este novo paradigma de engenharia representa um difícil desafio para os educadores de engenharia, pois a implementação de mudanças nos cursos de engenharia possui barreiras práticas, como uma grande quantidade de matérias, o receio de que será necessário abrir mão de algumas matérias fundamentais e necessárias à compreensão das bases da engenharia; os professores não terão tempo suficiente para se atualizar e reescrever os cursos; a pesquisa tem maior prioridade do que o ensino; a falta de casos práticos ou exemplos a serem ensinados (ALLENBY et al, 2009); e a falta de livros sobre o assunto de engenharia da sustentabilidade (BOYLE, 1999; 2004).

Como metas de longo prazo para uma engenharia sustentável, Allenby et al (2007) recomenda a necessidade de se institucionalizá-la, de modo que ela seja entendida não como mais uma especialidade, mas simplesmente como uma condição essencial da engenharia.

#### **4 Considerações Finais**

Toda engenharia, na busca do desenvolvimento sustentável, precisa reconhecer a importância do papel de seus profissionais, tanto no presente quanto no futuro. Entretanto, na prática pode se evidenciar que estes profissionais estão se tornando cada vez mais conscientes da necessidade de se utilizar eficientemente os recursos e incorporar a sustentabilidade em suas atividades (BOYLE, 1999).

A necessidade de mudanças na forma de se ensiná-la, contudo, não implica em uma alteração radical do currículo atual da engenharia. A evolução do currículo existente dar-se-á pela inclusão de matérias, tais como projetos que busquem a sustentabilidade e que considerem a P+L, estudos de casos sobre a utilização de tecnologias mais limpas e processos que utilizam fontes renováveis.

É necessário que se desenvolvam novas temáticas de ensino ou se estabeleça uma interrelação com as já existentes como, por exemplo, eficiência energética, biotecnologia, análise de ciclo de vida e avaliação dos impactos ambientais. De fato, os diversos ramos de engenharia, provavelmente, irão propor diferentes e novas contribuições para o ensino de engenharia sustentável, o que contribuirá significativamente para a transformação e criação de uma teoria mais consistente deste novo paradigma de engenharia.

Além da aplicação dos princípios da engenharia sustentável na concepção de um projeto, a inserção de questões como a reciclagem de materiais, P+L e a utilização de energias renováveis poderão contribuir para a efetividade destes projetos na prática.

O desenvolvimento do paradigma de engenharia sustentável poderá fornecer uma estrutura que engloba muitos conhecimentos e métodos que já estão sendo praticados na indústria, além de inovar e gerar novas soluções que constroem a sustentabilidade. Assim, indubitavelmente, ela se torna uma grande oportunidade para se difundir práticas de P+L.

Esta análise ainda é embrionária e longe de ser conclusiva. Além disto, a estrutura teórica-conceitual apresentada generaliza o desafio de entender a interrelação de P+L e engenharia sustentável, o que se sugere a necessidade de mais reflexões e estudos mais específicos.

## 5 Referências

- Abraham M. Sustainable Engineering: An Initiative for Chemical Engineers. *Environmental Progress* 2004; 23, 4, 261-263.
- Abraham M. Sustainable Engineering for Engineers. *Environmental Progress* 2005a; 24, 1, 10-11.
- Abraham M. Sustainable Education. *Environmental Progress* 2005b; 24, 4, 343-344.
- Alhilali S. The UNIDO–UNEP Cleaner Production Programme. Conference on Resource Efficiency 2008, Paris, France.
- Allenby BR, Allen DT, Davidson CI. Teaching Sustainable Engineering. *Journal of Industrial Ecology* 2007; 11 (1), 8-10.
- Allenby B, Murphy CF, Allen D, Davidson C. Sustainable engineering education in the United States. *Sustainability Science* 2009; 4, 7–15.
- Batterham RJ. Sustainability - The next chapter. *Chemical Engineering Science* 2006; 61, 4188 – 4193.
- Bonilla SH, Almeida CMVB, Giannetti BF, Huisingh D. The roles of cleaner production in the sustainable development of modern societies: an introduction to this special issue. *Journal of Cleaner Production* 2010; 18, 1–5.
- Boyle C. Education, sustainability and cleaner production. *Journal of Cleaner Production* 1999; 7, 82-87.
- Boyle C. Considerations on educating engineers in sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 2004; 5 (2), 147-155.
- Boyle C, Coates GTK. Sustainability Principles and Practice for Engineers. *IEEE Technology and Society Magazine* 2005; 32-39.
- Broman GI, Byggeth SH, Robeárt K-H. Integrating Environmental Aspects in Engineering Education. *International Journal Engineering Education* 2002; 18 (6), 717-724.
- Carew AL, Mitchell CA. What do Engineering Undergraduates need to Know, Think or Feel to Understand Sustainability? Proceedings of the 6th World Congress of Chemical Engineering 2001, Melbourne, Australian.
- Carew AL, Mitchell CA. Teaching sustainability as a contested concept: capitalizing on variation in engineering educators' conceptions of environmental, social and economic sustainability. *Journal of Cleaner Production* 2008; 16, 105–115.
- Cussler EL, Moggridge GD. *Chemical Product Design*. Cambridge University Press, Cambridge, UK; 2001.
- Davidson CI, Hendrickson CT, Matthews HS, Bridges MW, Allen DT, Murphy CF, Allenby BR, Crittenden JC, Austin S. Preparing future engineers for challenges of the 21<sup>st</sup> century: Sustainable engineering. *Journal of Cleaner Production* 2010; 18, 698–701.
- Dodds R, Venables R. (eds). *Engineering for Sustainable Development*. RAEng - The Royal Academy of Engineering 2005, London, UK.



Fresner J. Cleaner production as a means for effective environmental management. *Journal of Cleaner Production* 1998; 6, 171–179.

Gavrilescu M. Cleaner production as a tool for sustainable development. *Environmental Engineering Management Journal* 2004; 3 (1), 45–70.

Geiser K. Cleaner production perspectives 2: integrating CP into sustainability strategies. *Industry & Environment* 2001; January–June, 33–36.

Glavic P. Sustainability Engineering Education. *Clean Technology Environmental Policy* 2006; 8, 24-30.

Grutter JM, Egler HP. From cleaner production to sustainable industrial production modes. *Journal of Cleaner Production* 2004; 12, 249–256.

Hamed MM, El Mahgary Y. Outline of a national strategy for cleaner production: The case of Egypt. *Journal of Cleaner Production* 2004; 12, 327–336.

Hicks C, Dietmar R. Improving cleaner production through the application of environmental management tools in China. *Journal of Cleaner Production* 2007; 15 395-408.

Hilson G. Defining “cleaner production” and “pollution prevention” in the mining context. *Minerals Engineering* 2003; 16, 305–321.

Johnston SF, Lee A, McGregor HT. Engineering as Captive Discourse. *Society for Philosophy and Technology Quarterly Electronic Journal* 1996; 1, 3-4.

Kjaerheim G. Cleaner production and sustainability. *Journal of Cleaner Production* 2005; 13, 329–339.

Maxwell D, van der Vorst R. Developing sustainable products and services. *Journal of Cleaner Production* 2003; 11, 883–895.

Nielsen SN. What has modern ecosystem theory to offer to cleaner production, industrial ecology and society? The views of an ecologist. *Journal of Cleaner Production* 2007; 15, 1639–1653.

Orr DW. Four Challenges of Sustainability. *Conservation Biology* 2002; 16 (6), 1457–1460.

Pereira T. Sustainability: An integral engineering design approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009; 13, 1133–1137.

Rossi MTB, Barata MML. Barreiras à Implementação de Produção mais Limpa como Prática de Ecoeficiência em Pequenas e Médias Empresas no Estado do Rio de Janeiro. *Proceedings of the 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production, 2009, São Paulo, Brasil.*

Shin D, Curtis M, Huisingh D, Zwetsloot GI. Development of a sustainability policy model for promoting cleaner production: a knowledge integration approach. *Journal of Cleaner Production* 2008; 16, 1823–1837.

Taylor B. Encouraging industry to assess and implement cleaner production measures. *Journal of Cleaner Production* 2006; 14, 601-609.

UNEP. Implementation Guidelines for Governments. UNEP's International Declaration on Cleaner Production 2001, France.

van Berkel R. Cleaner production in Australia: revolutionary strategy or incremental tool? *Australian Journal of Environmental Management* 2000; 7, 132–146.

van Berkel R. Evolution and diversification of National Cleaner Production Centres (NCPCs). *Journal of Environmental Management* 2010; 91 (7), 1556-1565.

Vanegas JA. A New Type of Engineer is in the Making, in Status of Engineering Education for sustainable Development in European Higher Education. *The Observatory EESD Report*; 2006.

Wintermantel K. Process and product engineering — Achievements, present and future challenges. *Chemical Engineering Science* 1999; 54 (11), 1601–1620.