

# **TECNOLOGIAS LIMPAS COMO ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL SUSTENTÁVEL**

Ivan Vieira de Melo, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco  
Rua Acadêmico Hélio Ramos S/N – Cidade Universitária - Recife – Pernambuco  
CEP : 50740-400 e-mail: [melo@demec.ufpe.br](mailto:melo@demec.ufpe.br)

Maurílio José dos Santos, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco  
Rua Acadêmico Hélio Ramos S/N – Cidade Universitária - Recife - Pernambuco  
CEP : 50740-400 e-mail: producao@ufpe.br

**Palavras-Chave:** tecnologias limpas; produção mais limpa; ecoeficiência.

## **Resumo:**

A compreensão de que o atendimento das necessidades da geração atual não deve comprometer o direito das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades consolida-se como Desenvolvimento Sustentável. Ao longo da última década, vários conceituados Relatórios sobre esse assunto (como, por exemplo, os publicados pela UNIDO - Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – e pela UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente -) evidenciam o crescente esforço mundial, nos setores público e privado, no sentido de criar sistemas de produção e de consumo capazes de promover esse novo estilo de desenvolvimento. Em face desse novo contexto, todos aqueles grupos de interesse que respondem (formulação e implementação) pelas estratégias de C&T (Ciência e Tecnologia) e de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), estão desafiados a contribuir para a transformação dos atuais processos de produção. Observa-se, assim, o crescimento daqueles que defendem a abordagem ao desenvolvimento industrial sustentável através da Ecoeficiência, da Responsabilidade Ambiental Corporativa, do Portafólio de Sustentabilidade, da Ecologia Industrial e do ZERI, entre outras estratégias (Melo, 2002). Em bases ecoeficientes, por exemplo, a intenção é aumentar o valor agregado dos produtos através do robusto aproveitamento de matérias primas, da eliminação de rejeitos, da redução do consumo de energia e do reaproveitamento de produtos e sobras industriais, ao longo do ciclo de vida do produto. Em muitos casos, vê-se que é possível uma brutal redução de custos na produção e avanços na criação da competência necessária para atuar em mercados globalizados. O pressuposto é que esses mercados são cada vez mais reféns da interdependência entre as questões econômicas, sociais e ambientais. O artigo proposto aborda toda essa problemática com foco no desenvolvimento de bases para a formulação e implementação de estratégias de difusão das tecnologias limpas para o setor produtivo.

## **1. INTRODUÇÃO**

A compreensão de que o atendimento das necessidades da geração atual não deve comprometer o direito das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades consolida-se como Desenvolvimento Sustentável (CNUMAD, 1996). Ao longo da última década, vários conceituados relatórios sobre esse assunto (como, por exemplo, os publicados pela UNIDO - Organização das

Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – e pela UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente –) evidenciam o crescente esforço mundial, nos setores público e privado, no sentido de criar sistemas de produção e de consumo capazes de promover esse novo estilo de desenvolvimento.

Em face desse novo contexto, todos aqueles que respondem (formulação e implementação) pelas estratégias de C&T (Ciência e Tecnologia) e de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), estão desafiados a contribuir para a transformação dos atuais processos de produção em bases ecoeficientes. A intenção é aumentar o valor agregado aos produtos através, por exemplo, do robusto aproveitamento de matérias primas, da eliminação de rejeitos, da redução do consumo de energia e do reaproveitamento de produtos e sobras industriais, ao longo do ciclo de vida do produto. Em termos de competitividade, o resultado é uma brutal redução de custos na produção e na criação da competência necessária para atuar em mercados globalizados e, por isso mesmo, cada vez mais reféns da interdependência entre as questões econômicas, sociais e ambientais. Toda essa transformação tem um de seus focos estratégicos no processo de criação e difusão de Tecnologias Limpas. Nesse sentido, a atual ênfase nas competências para promover relações sinérgicas entre a Universidade e o Setor Produtivo torna-se ainda mais oportuna e fundamental. Esse entendimento fica ainda mais patente quando se considera o recente direcionamento do Governo Federal Brasileiro com a criação dos Fundos Setoriais (MCT), a atual tramitação no Congresso Federal de legislação disposta sobre a pesquisa e a inovação tecnológica, os esforços em quase todos os níveis da sociedade organizada no sentido de valorizar estratégias de empreendedorismo com base em inovações tecnológicas e a implementação de Políticas e Programas, com base na Ag 21, nos níveis nacional, estadual e municipal.

As atuais lideranças da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) compartilham a visão de que essa instituição não está à margem daquele contexto e entendem que as universidades (como um todo) passam por transformações, no sentido de formar profissionais com visão empreendedora e capazes de transformar conhecimento em inovação. Nessa linha de atuação, a UFPE estreita cada vez mais suas relações com o setor industrial do Estado (iniciativas conjuntas com o apoio do Sebrae, do IEL, do Banco do Nordeste e da Caixa Econômica). No que diz respeito à criação de conhecimento voltado às tecnologias limpas, a UFPE já demonstra um elevado potencial através dos trabalhos em desenvolvimento por muitos dos seus grupos de pesquisa ([www.propsq.ufpe.br](http://www.propsq.ufpe.br)). Um exame da natureza das pesquisas nas diversas áreas de conhecimento onde esses grupos atuam mostra claramente essa tendência. Dentre esses estudos destacam-se aqui aqueles das engenharias, desenvolvidos na área de Energias Renováveis e Alternativas, Mecânica dos Fluidos Ambiental, Recursos Hídricos, Saneamento Ambiental, e Engenharia Ambiental e da Qualidade.

Diante desse quadro, torna-se oportuno a condução de pesquisas com o objetivo de desenvolver bases sobre as quais seja possível a formulação e implementação de estratégias de difusão de tecnologias limpas nas relações entre a UFPE e o Setor Industrial do Estado de Pernambuco, a exemplo das iniciativas similares em outros estados (USP, IPT e IPEN, através da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, entre outros). O presente artigo é um dos primeiros documentos no contexto das pesquisas ora em andamento sobre o assunto, liderada pelos seus autores na UFPE.

## **2. CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL SUSTENTÁVEL**

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (criada pela ONU no início da década de 80), publicou em 1987 o seu documento final conhecido como Relatório Brundtland reconhecido como marco da nova visão civilizatória conceituada como desenvolvimento sustentável (DS) (Brundtland, G. H. et al., 1991). Central a esse conceito está a idéia de que, até então, vimos construindo sistemas de produção insustentáveis. Os estudos do movimento ambientalista mostram que o mesmo apresenta diferentes tendências em relação à condução do processo de desenvolvimento sustentável (Leis, 1996). Por essa via é possível compreender que os grupos de interesse (*stakeholders*) fundamentais, sujeitos desse processo, orientam-se segundo três correntes

básicas: Estatista, Societalista e Mercadista. A corrente Estatista funda-se no pressuposto de que a eficiente qualidade ambiental depende da atuação normativa, reguladora e promotora do Estado, posto que a natureza é um bem de natureza pública. A corrente Societalista, por sua vez, funda-se no pressuposto de que atingir uma sociedade sustentável é antes uma questão de equidade, a qual precede à eficiência alocativa, e exige que as organizações de base da sociedade civil subordinem o Estado e o Mercado, como poder condutor da mudança. A corrente Mercadista, por sua vez, pressupõe legitimidade na privatização dos recursos naturais e a eficiência alocativa como eixos de uma sociedade sustentável, através dos quais (pela lógica do sistema de livre mercado), os produtores protegerão o ambiente de acordo com a demanda (dos consumidores “verdes”).

No Relatório Brundtland há referência específica ao setor industrial (corrente Mercadista) no sentido de um Desenvolvimento Industrial Sustentável. Trata-se de uma proposta para que desenvolvamos estratégias de produção de bens e serviço sob os seguintes pontos de vista:

- Estabelecimento de metas, regulamentações, incentivos e padrões ambientais;
- Uso mais eficaz dos instrumentos econômicos;
- Avaliações ambientais;
- Estímulo à ação industrial;
- Desenvolver conhecimento para lidar com riscos industriais referentes a:
  - substâncias químicas;
  - rejeitos perigosos;
  - acidentes industriais; e
- Fortalecimento das ações internacionais de apoio a países em desenvolvimento.

O processo de construção do desenvolvimento sustentável acelerou-se, sobretudo, quando passou a servir de estilo de gestão para a ação executiva. Nesse contexto, o relatório denominado “Mudando o Rumo” (*Changing Course*) (Schmidheiny, 1992), é marco da iniciativa ambientalista empresarial. Tal documento é resultado do trabalho de um grupo de 50 líderes mundiais desse setor (com expressiva participação de empresas multinacionais), que formaram o *Business Council for Sustainable Development (BCSD)* - atualmente *World Business Council on Sustainable Development (WBCSD)* -, em 1990. Como o próprio título do referido Relatório sugere, este contingente da classe empresarial coloca-se como sensibilizado pelo rumo conflitante dos negócios atuais com o desenvolvimento sustentável e propõe mudança. O argumento é que, no contexto do livre mercado, o desenvolvimento sustentável é uma questão de auto-regulação da indústria pela promoção da ecoeficiência (Schmidheiny, 1992). Essa posição otimista, entretanto, mostra-se tremendamente desafiadora especialmente quando se observa os muitos e freqüentes contra-exemplos.

Ricas observações da relação entre corporações transnacionais e o desenvolvimento sustentável advêm das pesquisas realizadas pela Comissão Econômica para América Latina e o Caribe (CEPAL) (CEPAL/ONUDI, 1991). Esses estudos concluem, entre outros pontos, que os executivos daquelas empresas já desenvolveram políticas efetivas para a proteção ambiental e que muitos estavam determinados à ampliar tais políticas, adotando critérios de desenvolvimento sustentável. Essa mesma pesquisa também conclui, contudo, que ainda existem várias barreiras à transformação organizacional, indicando inconsistências de comprometimento por parte dessas mesmas corporações. Em uma linha radical, porém como que corroborando os achados da referida pesquisa da CEPAL, vários renomados autores têm dirigido severas críticas ao setor empresarial. Essas põem em questão as intenções estratégicas explicitadas por aquelas organizações, em relação ao comprometimento com princípios de desenvolvimento sustentável, no atual contexto da globalização dos mercados (Finger e Kilcoyne, 1997; Goldsmith, 1997).

A argumentação desenvolvida converge para a compreensão do ambientalismo mercadista como um processo de transformação organizacional na intenção do desenvolvimento industrial sustentável (Melo, 2002). Contribui, nesse sentido, a idéia amplamente difundida de que a corrente mercadista está cada vez mais pressionada pelas demais, através de regulamentação / legislação ambiental, ações cíveis, boicotes, etc.. Por essa via, mostra-se paradigmático o esforço estratégico de um amplo e significativo contingente da classe empresarial (âmbito global), para capitaneiar a

orientação do processo de desenvolvimento sustentável, ao tomar a iniciativa para traduzi-lo do ponto de vista de uma profunda transição no rumo atual dos negócios. A natureza da mudança pretendida pela corrente de pensamento ambientalista de mercado, contudo, é posta em dúvida à medida que leva, ou não leva, em conta a complexa interdependência entre a transição civilizatória em curso e os difusos conflitos existentes no contexto sócio-conjuntural. Como exemplo dessa situação basta citar o atual impasse daqueles que, reféns da visão funcional ao vigente paradigma de mercado, abordam àquela problemática de mudança pela sua simples redução à oportunidade de negócio. A rica diversidade das estratégias de mudança já disponíveis na literatura especializada no assunto sugere, por isso mesmo, uma busca criteriosa por modos de transformação organizacional orientados ao desenvolvimento sustentável. Além disso, ela põe em evidência a necessidade do exame das atuais propostas delineadoras do pensamento e das ações atuais em Ciência, Tecnologia e Inovação - C&T&I -, em face da complexa problemática suscitada pelo movimento ambientalista aos sistemas de produção.

### **3. ESTRATÉGIAS DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL SUSTENTÁVEL**

Pesquisas recentes demonstram que as estratégias da produção industrial sustentável podem ser sistematizadas em oito matizes, a saber (Melo, 2002): Ecoeficiência, Abordagem Baseada no Valor, Responsabilidade Ambiental Corporativa, Qualidade Ambiental e a Série ISO 14000, Abordagem de Sistema Total, Portfólio de Sustentabilidade, Ecologia Industrial e as Iniciativas de Pesquisa em Zero Emissões.

O matiz da Ecoeficiência é uma proposta do *WBCSD (World Business Council for Sustainable Development)* que funda-se em uma mudança de visão sob o pressuposto de que as empresas mais competitivas são aquelas capazes de produzir bens e serviços de excelente qualidade e, ao mesmo tempo, reduzir o consumo de recursos e a poluição. O conceito de ecoeficiência, porém, não orienta apenas para a mudança tecnológica, novos instrumentos e práticas gerenciais, mas, sobretudo, para uma mudança de pressupostos e objetivos organizacionais.

A Abordagem Baseada no Valor propõe que as questões ambientalmente relevantes sejam classificadas segundo os domínios estratégico, operacional e técnico / organizacional. Trata-se de um modelo de decisão fundado na premissa de que a prioridade associadas às questões ambientais deve se basear em dois critérios: o "valor criado para os acionistas (*shareholder value*)" e a "autonomia" executiva para lidar com a problemática em causa. A unidade de medida, portanto, é o valor criado para os acionistas, antes que o grau de atendimento à legislação ambiental, as emissões, ou o custo.

O matiz da Responsabilidade Ambiental Corporativa fundamenta-se em três princípios de ação básicos: legitimidade (nível institucional), responsabilidade pública (nível organizacional) e autonomia executiva (nível do indivíduo). O foco está nas decisões (escolhas), nas oportunidades e na responsabilidade pessoal de cada executivo, respeitados os limites das responsabilidades estabelecidos. A implementação é feita através de um processo de internalização dos aspectos ambientais de modo eficiente e consistente com os objetivos de longo prazo dos negócios. Essa consistência está voltada para a visão estratégica da organização. De um modo mais detalhado, os aspectos ambientais são tratados de modo especial porque constituem um complexo peculiar de características técnicas, éticas, sociais e competitivas. Os passos básicos para a ação executiva são: identificação das questões ambientais relevantes atuais e futuras, decisão (para cada tipo genérico de questão ambiental identificada) sobre os interesses de longo prazo da empresa e em qual nível de responsabilidade ambiental corporativa esse resultado se insere e, por fim, a transformação dos resultados em programas ambientais viáveis do ponto de vista operacional.

O matiz da Gestão pela Qualidade Ambiental Total (*Total Quality Environmental Management - TQEM*), está fundamentado nos processos de qualidade já consolidados cujo escopo é ampliado de modo a incluir as questões ambientalistas. Esse matiz tem sua extensão natural nas normas da série ISO 14000 e a preocupação central é apoiar os executivos das empresas a atingir e eventualmente demonstrar um desempenho ambiental supostamente correto. Isso é feito através de um Sistema de

Gestão Ambiental que controla o impacto ambiental das atividades da empresa, em relação aos produtos e serviços, com base no auto-estabelecimento de sua política e objetivos ambientais. O pressuposto é que um sistema de gestão concebido nesse padrão mobilize qualquer empresa a considerar a implementação da melhor tecnologia disponível, quando apropriado e economicamente exequível. Essa orientação funda-se em que a mudança tecnológica é condição básica para o desenvolvimento sustentável.

A Abordagem de Sistema Total (*Total Systems Approach*) funda-se na visão de que o tratamento da complexidade do mundo atual requer a Gestão pela Ética Total (*total ethical management*). Por essa via, qualquer empresa envolve-se com o processo de desenvolvimento sustentável à medida que identifica e trata das interações existentes entre as novas funções que desafiam os negócios na atualidade e as já tradicionais funções organizacionais. As seis novas funções identificadas são: Ambientalismo (*Environmentalism*), Gestão de tópicos críticos (*Issues Management*), Gestão de Crises (*Crisis Management*), Gestão pela Qualidade Total (*Total Quality Management*), Globalismo (*Globalism*) e Ética (*Ethics*). A nova função ambientalismo proposta trata, primariamente, da avaliação das ameaças que os produtos e os processos de manufatura e distribuição impõem ao ambiente e às comunidades locais. Por essa via confere-se especial ênfase ao design e re-design de produtos e processos de manufatura com a intenção de torná-los benéficos ao ambiente e criar oportunidades potenciais de negócios lucrativos.

O matiz do Portfólio de Sustentabilidade fundamenta-se em estudos sobre poluição e consumo de recursos e está voltado para o reconhecimento de um supostamente grande potencial de oportunidades de negócios associados. Esse reconhecimento é feito sob perspectiva estratégica e desenvolvimento de tecnologias específicas. O pressuposto é que a Prevenção de Poluição, o Acompanhamento de Produto (*product stewardship*), a Tecnologia Limpa e a Visão de Sustentabilidade, são estágios estratégicos genéricos necessários a qualquer empresa interessada no desenvolvimento sustentável. O essencial, entretanto, está em compreender que a mencionada "Visão de Sustentabilidade" é um quadro de referência que direciona de modo coeso aquelas três estratégias genéricas.

A Ecologia Industrial (E.I.) é, em essência, uma abordagem ao design de produtos e processos industriais que avalia as atividades produtivas através das perspectivas de competitividade dos produtos e interações com o ambiente". A implementação da E.I. dá-se através do estudo das relações empresa / ambiente nos espaços compartilhados e de acordo com os regimes local (p. ex., água de consumo na cidade), regional (p. ex., água das bacias) e global (p. ex. oceanos). A metodologia proposta compreende uma família de métodos denominados de Avaliação de Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment -LCA*), os quais apoiam uma estratégia de melhoria contínua genericamente denominada de Design Orientado para o Ambiente (*Design for Environment - DFE*). Um dos principais pressupostos desse Matiz é que as corporações multinacionais, com suas operações globalizadas, têm o potencial para difundir a E.I. à medida que transferem tecnologias avançadas e forçam os seus fornecedores locais a adotarem práticas ambientalmente responsáveis. Por outro lado, as barreiras mais sérias à implementação da E.I. não são técnicas, mas mudanças culturais e organizacionais. Desse modo, o problema da E.I. não estaria na resistência à mudança por conta do desenvolvimento de tecnologia, mas pela necessidade de implementar aquelas mencionadas mudanças nas empresas.

O matiz denominado *ZERI* é um processo de Eco-Reestruturação voltado para: Zero defeito, Zero inventário, Zero perda de clientes e Zero emissão. Esse processo tem como base as filosofias de defeito zero e de inventário zero, atualmente já difundidas em todo mundo acadêmico e empresarial, através do TQC (*Total Quality Commitment*) e do JIT (*Just In Time*), respectivamente. A novidade da proposta *ZERI*, porém, reside na estratégia de eliminação de todas as formas de desperdícios de matérias-primas e, em essência, nada mais é do que um esforço persistente para reduzir custos com foco na produtividade da matéria-prima, tendo em vista que ela sempre foi negligenciada. Ela é implementada através da utilização de um sistema de processos (numa mesma empresa ou em conglomerado de empresas) com os quais tende-se a fechar o ciclo do aproveitamento total das matérias-primas. Esse fechamento é conseguido fazendo-se com que todas

as saídas de um processo produtivo qualquer sejam utilizadas como recursos para outro(s), com base na lógica “berço ao berço”, em contraste com lógica de “berço ao túmulo” dos enfoques contemporâneos de Avaliação do Ciclo de Vida de produtos. A via *ZERI* questiona todas as formas de produção já consolidadas, de modo que os processos de produção e os sistemas de processamento e tecnologias aplicadas, até então estabelecidos, serão reestudados tendo a Emissão Zero como meta. O compromisso é com um processo de longo prazo (mínimo cinco anos), que combina interesses estratégicos associativos com uma visão de como garantir a competitividade no futuro, com base no desenvolvimento de tecnologias ecologicamente sustentáveis condicionadas às normas culturais.

Essa síntese dos matizes da estratégia da produção industrial sustentável serve aqui para mostrar que o desenvolvimento tecnológico é talvez o tema comum mais central para a transformação dos sistemas de produção em vista do desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, fornecer pistas importantes dos principais conflitos sobre como implementar essa transformação. Entre esses conflitos destaca-se aquele da interdependência entre tecnologia e cultura, o qual remete a busca das bases para uso das tecnologias limpas como estratégia de produção industrial sustentável ao Sistema de Ciência & Tecnologia & Inovação do País. A compreensão dessa questão é facilitada quando se tem em conta a perspectiva dos múltiplos atores que compõem o referido Sistema, a saber: o Governo, a Academia e a Indústria.

## 4. DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS LIMPAS PARA O SETOR PRODUTIVO

### 4.1. Bases em Ciência, Tecnologia e Inovação

O amplo e crescente diálogo sobre os desafios e oportunidades colocados pela visão civilizatória do desenvolvimento sustentável ao sistema Ciência, Tecnologia e Inovação (C&T&I), coloca em evidência a importância da compreensão da cadeia da criação de conhecimento nas relações entre sociedade e natureza. Os marcos mais recentes desse diálogo são as duas Conferências Mundiais sobre o Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro (ano de 1992) e Johannesburgo (ano 2002).

Os estudos publicados pela ONU, nos anos que antecederam à Conferência do Rio, têm entre seus temas estratégicos a relação entre tecnologia e sustentabilidade. Central a esse tema está a conclusão de que a internalização e a difusão do desenvolvimento tecnológico são fundamentais no sentido de compatibilizar objetivos de competitividade internacional e sustentabilidade ambiental, especialmente para os países em desenvolvimento (CEPAL/ONUD, 1991). É esclarecedor acrescentar que essa conclusão está fundamentada nas lacunas existentes no sistema de difusão tecnológica então vigentes nos países da América Latina. Entre as recomendações consideradas críticas, naquele momento, estão a formulação e a implementação de estratégia orientada a generalizar a introdução de tecnologias limpas, fortalecendo a capacidade local de desenvolvimento dessas tecnologias e realizando pesquisas direcionadas à identificação de barreiras ao acesso e a transferência das mesmas. Dez anos depois, é interessante observar que essa é uma questão que permanece exigindo aprofundamento.

No encontro regional Latinoamericano e Caribenho sobre Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável promovido pela CEPAL (ano de 2002) procurou-se por modos mais efetivos de criação e implementação de C&T aos problemas e oportunidades da região (CEPAL / ECLAC, 2003). Naquela ocasião, tratou-se principalmente de: questões científicas centrais, desafios metodológicos e conceituais, estratégias de pesquisa e inovações institucionais. O documento final apresentado reafirma que ainda não existe tradição estabelecida em C&T para o DS na atualidade e conclui pela necessidade de sua criação numa perspectiva de colaboração internacional. É esclarecedor ter em conta que esse mesmo documento também conclui pela necessidade da pesquisa para criar conhecimento - principalmente endógeno (face às diversidades ecológica e sociológica da região) -, mas ressalta que é igualmente necessário melhorar a difusão do conhecimento já disponível.

## 4.2. Bases nas Agendas 21 Global, Nacional e Estadual

Na Agenda 21 Global há referência às tecnologias limpas, especificamente no Capítulo 30, quando se trata dos papéis do comércio e da indústria no processo de implementação dos princípios e critérios do desenvolvimento sustentável (CNUMAD, 1996).

Naquela mesma linha, na Agenda 21 Brasileira (2002) são apresentados argumentos sobre as necessárias estratégias de C&T para o desenvolvimento daquelas tecnologias. Essa perspectiva funda-se no reconhecimento do crescente valor do conhecimento no atual e tendente contexto mundial, com o objetivo de criar condições capazes de possibilitar ao Brasil atingir uma produção científica e tecnológica de ponta, geradora de inovações e integradora de oportunidades, com competências em níveis nacional e regional. Nessa Agenda também são apresentadas três linhas de ação que tratam especificamente das tecnologias limpas, quais sejam: “Fortalecer o desenvolvimento tecnológico e apoiar a utilização de fontes energéticas alternativas que sejam ambientalmente seguras e limpas, de forma a ampliar sua participação na matriz energética brasileira; Buscar maior integração entre os setores público e privado nos investimentos de P&D, buscando assegurar o uso desses recursos para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e poupadouras de recursos naturais; Fomentar a cooperação internacional em C&T para o desenvolvimento sustentável, promovendo a transferência, o acesso e o desenvolvimento de tecnologias limpas.”.

De modo coerente com todo esse processo, também na Agenda 21 do Estado de Pernambuco (2002) existem diretrizes sobre as tecnologias limpas. As ações para a sustentabilidade propostas nesta Agenda estão fundamentadas em estratégias cobrindo vários eixos temáticos prioritários. Nesse documento estão apresentados argumentos em defesa da necessidade de mudança nos atuais padrões de produção e consumo, considerados insustentáveis e o desenvolvimento das tecnologias limpas é apontado como a estratégia básica. Para tanto, a alocação de recursos em C&T é considerada como uma das vertentes de apoio ao desenvolvimento e difusão daquelas tecnologias.

## 4.3. Bases a partir das Experiências Internacionais em Tecnologias Limpas

Na última década, a tendência mundial em tecnologia industrial observada especialmente nos países industrializados está voltada para a difusão das tecnologias limpas. Alguns autores tratam desse processo como estágios de mudança tecnológica com base nas ações do tipo: Redução de resíduos, rejeitos ou efluentes na fonte geradora (abrange desde a alteração de práticas operacionais até alterações tecnológicas no processo produtivo); Reutilização de resíduos (varia da simples utilização dos dois lados de uma folha de papel, passando pela reutilização de peças e componentes usados de produtos, até profundas alterações no processo produtivo); Reciclagem de resíduos (abrange reciclagem interna e externa onde, a primeira, utiliza os resíduos como matéria-prima em outro processo produtivo e, a segunda, usa os materiais contidos nos resíduos, transformando-os em outro produto); Incineração de resíduos (com aproveitamento de calor, objetivando a redução de volume e toxicidade dos resíduos, bem como o direcionamento para a Recuperação Energética dos materiais contidos no resíduo); e Implantação de Monitoramento nos locais de disposição de resíduos (prevenir e controlar a poluição ambiental). Estratégias tecnológicas como essas, voltadas para superar modos de produção e consumo insustentáveis, desdobram-se e consolídam-se como: Redução na Fonte (*source reduction*); Redução de Resíduos (*waste reduction*); Tecnologia de Baixo Resíduo (*low-waste technology*); Design Orientado ao Meio Ambiente (*desig for environment*); Desmaterialização (*dematerialization*); Ecologia Industrial (*Industrial Ecology*); Ecoeficiência (*ecoeficiency*); Tecnologias Limpas (*clean technology*) (Schmidheiny, 1992; Ayres, 1997; Melo, 2002).

## 4.4. Bases a partir das Experiências em Tecnologias Limpas no Brasil

Seguindo a tendência internacional, os setores produtivos nacionais têm recorrido com

freqüência crescente às tecnologias mais eficientes e limpas, com o objetivo de melhor aproveitar as matérias-primas, diminuir rejeitos, resíduos e efluentes, reutilizar e reciclar produtos e sub-produtos do processo industrial. A pesquisa no Brasil tem avançado bastante nos últimos anos na área das tecnologias limpas. Exemplo nesse sentido são as iniciativas de pesquisadores da USP, IPT e IPEN, através da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Oliveira, 2002). Essas pesquisas têm servido de suporte para o Programa Parceria para Inovação Tecnológica (PITE), no âmbito do qual estão sendo desenvolvidos projetos integrados com o setor industrial.

A experiência que se encontra mais difundida no Brasil, em termos de tecnologias limpas, é aquela do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL), iniciativa conjunta entre a Confederação Nacional da Indústria e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), como parte do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) (Almeida, 2002).

Nucleado no SENAI / RS, no ano de 1995, o CNTL logrou demonstrar, em pouco tempo, as vantagens de se investir em Produção Mais Limpa – instrumento de ecoeficiência -. Esse processo tem um segundo momento forte, no início do ano de 2000, com a parceria firmada entre CNTL – SENAI / RS e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), em conjunto com outras instituições, para formar a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa. Essa Rede conta, atualmente, com oito Núcleos de Produção Mais Limpa localizados em vários Estados, inclusive em Pernambuco, e tem planos para instalar pelo menos mais dez, ao longo dos próximos anos. Ressalta-se que esse processo de difusão tecnológica conta com o apoio técnico e financeiro de instituições como SEBRAE, FINEP, BNDES, Banco do Nordeste e várias Universidades Federais. Trata-se, portanto, de um processo que mobiliza e valoriza o desenvolvimento das tecnologias limpas a partir de uma perspectiva integradora de parceria entre a Academia e a Indústria.

Nesse contexto, o Núcleo de Tecnologias Limpas de Pernambuco (sediado na Universidade Federal de Pernambuco) destaca-se como instrumento de difusão dessas tecnologias no Estado, à medida que sensibiliza as comunidades dos setores Acadêmico e Industrial da Região no sentido de desenvolverem as tecnologias limpas como estratégia de produção sustentável. Como exemplo desse processo tem-se a constituição do Grupo de Pesquisas em Tecnologias Limpas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o qual está desenvolvendo estudos tratando do processo de difusão tecnológica nas relações entre essa Universidade e o setor industrial do Estado de Pernambuco.

## 5. ALGUMAS CONCLUSÕES

O presente artigo procurou contribuir sobre a questão da formulação e implementação de estratégias de difusão de tecnologias limpas para o setor produtivo. Uma das principais conclusões que se pode tirar da discussão desenvolvida é que, a despeito de todos os esforços levados a cabo nos últimos vinte anos no mundo, ainda é necessário desenvolver uma base integrada em C&T&I para sustentar o desenvolvimento daquelas tecnologias. No caso do Brasil, observa-se que as tecnologias limpas já fazem parte da Política Nacional de Ciência & Tecnologia ao mesmo tempo em que se consolidam experiências acadêmicas e industriais nesse tema. Torna-se importante observar que para além das questões básicas de financiamento da transformação tecnológica, no Brasil ainda existe uma cultura de fraca interação entre os setores acadêmico e empresarial e, nesse sentido, o papel da Rede Brasileira de Produção mais Limpa liderada pelo CNTL torna-se fundamental.

Outra conclusão de relevância para os propósitos desse artigo é que o tema "tecnologias limpas" é um rico campo de oportunidades para a integração interdisciplinar tanto entre as engenharias em si como entre elas e os demais campos do conhecimento afins ao desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, Engenharia Mecânica destaca-se em função da sua centralidade no desenvolvimento dos sistemas de produção. Essa compreensão se dá, sobretudo, quando se vê que a difusão das tecnologias limpas é uma questão estratégica para o Sistema de C&T&I brasileiro no sentido da internalização dos princípios de sustentabilidade na cadeia de criação de conhecimento.

## REFERÊNCIAS

- Agenda 21 Brasileira, MME, 2002
- Agenda 21 do Estado de Pernambuco, Secretaria de Ciência e Tecnologia E Meio ambiente do estado de Pernambuco, 2002
- Almeida, Fernando, **O bom negócio da sustentabilidade**, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- Ayres, Robert U., **Toward Zero Emissions: Is There a Feasible Path? Introduction to ZERI Phase II**. Center for the Management of Environmental Resources. INSEAD, Fontainebleau, France, August, 1997.
- Brundtland, G. H. et al., Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. da FGV, 1991, xviii, 430p.
- CEPAL / ECLAC, **Ciencia y tecnologia para el desarrollo sostenible una perspectiva latinoamericana y caribeña**, Division de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, Santiago de Chile, enero de 2003.
- CEPAL / ONUDI, **Tecnologia, Competitividad y Sustentabilidad**, LC / L.608, Santiago do Chile, 1991.
- Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21...** Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996.
- Finger, Matthias e KILCOYNE, James, Why Transnational Corporations are Organizing to “Save the Global Environment”. **The Ecologist**. 27/4, p. 138-142, July/August 1997.
- Goldsmith, Edward, Can the Environment Survive the Global Economy?. **The Ecologist**. 27/6, p. 242-248, November/ December 1997.
- Leis, H. R., **A-Ventura-Mor da Política: Uma análise das Teorias e Práticas do Ambientalismo**. Rio de Janeiro, Brasil, 1996. Tese de Doutorado - Departamento de Filosofia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 306 p.
- Melo, Ivan Vieira, : **Uma abordagem compreensiva ao processo de desenvolvimento industrial sustentável**. Florianópolis, Brasil, 2002. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 271p.
- Oliveira, Marcos de . **Eficientes Limpas e Econômicas**, Pesquisa FAPESP, Jan., 2002, 56-61.
- Schmidheiny, S., **Mudando o Rumo: uma ....** Rio de Janeiro: Editora da FGV, 1992. Iii, 372 p.

## DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído nesse trabalho.

Ivan Vieira de Melo, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco  
Rua Acadêmico Hélio Ramos S/N – Cidade Universitária - Recife – Pernambuco, Brazil  
CEP : 50740-400 e-mail: [melo@demec.ufpe.br](mailto:melo@demec.ufpe.br)

Maurílio José dos Santos, Dr. Eng.

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco  
Rua Acadêmico Hélio Ramos S/N – Cidade Universitária - Recife – Pernambuco, Brazil  
CEP : 50740-400 e-mail: producao@ufpe.br

## TITLE

## CLEAN TECHNOLOGY AS SUSTAINABLE INDUSTRIAL PRODUCTION STRATEGY

*Abstract:*

*The comprehension that the attending of the present generation necessities must not compromise the right of new generations having their own necessities attended is being consolidated as Sustainable Development. During the last decade, several important Reports on this subject (as for example, those published by UNIDO – United Nations Industrial Development Organization – and UNEP – United Nations Environmental Program) have shown the growth in the global effort, both in Public and Private Sectors, in creating systems of production and consumption that are able to promote this new development style. In face of this new context, the involved parties that answer for Science & Technology and Research & Development strategies (formulation and implementation) have the challenge to contribute for the transformation of the current production processes. Then, it is observed the growth of those who defend the approach to the industrial development through Ecoefficiency, Corporative Environmental Responsibility, Sustainability Portfolio, Industrial Ecology, and ZERI, among other strategies (Melo, 2002). On the base of ecoefficiency, for example, it is the intention to raise the value of products through the minimum waste of materials, elimination of rejects, reduction of energy consumption, and re-use of products and industrial leftovers, during the cycle of a product. Very often, it is observed a strong cost reduction in production along with advances in creation of the necessary competence to enter the global market. The current assumption is that these markets are, each day more, hostages of the interdependency between economical, social, and environmental matters. This article presents a clear approach to this problematic, focusing on the development of new bases for the formulation and implementation of strategies to spread the clean technology concept for the productive sector.*

**Keywords:** *clean technology; clean production; ecoefficiency.*