

Titulo: <Inovação Tecnológica e Regulação Ambiental na Indústria de Refino de Petróleo: O Caso da Refinaria de Paulínia (Replan)>

Primer Autor: <Azevedo, Adalberto Mantovani Martiniano>

Dirección: <Departamento de Política Científica e Tecnológica/ IG/Unicamp/Rua João Pandiá Calógeras, 51, Campinas, São Paulo, Brasil, CEP 13084-970, adalba@ige.unicamp.br>

Segundo Autor: <Pereira, Newton Müller>

Dirección: < Departamento de Política Científica e Tecnológica/ IG/Unicamp/Rua João Pandiá Calógeras, 51, Campinas, São Paulo, Brasil, CEP 13084-970, newpe@ige.unicamp.br>

Resumen: <O presente artigo é parte de uma pesquisa realizada em suporte à dissertação de mestrado desenvolvida pelos autores, intitulada “Regulação ambiental e mudança técnica na indústria de refino de petróleo: o caso da Refinaria de Paulínia (Replan)”, que investiga a relação entre a regulação ambiental e a adoção de técnicas para reduzir os impactos ambientais causados por processos e produtos da indústria de refino. Sob a ótica da economia evolucionista, que considera que a tecnologia evolui conjuntamente ao contexto sócio-econômico, a regulação ambiental é apresentada como um elemento contextual determinante da busca e seleção de tecnologias que permitam atender à regulação sem perder rentabilidade econômica. No artigo é descrita a regulação ambiental brasileira que exige soluções técnicas no refino (relacionadas à qualidade de combustíveis e ao impacto local das refinarias) e são apresentadas e caracterizadas as inovações adotadas para atendê-las. A partir da revisão da bibliografia e de dados obtidos em visitas à Replan e ao CENPES, conclui-se que a regulação ambiental é um forte estímulo para a adoção de inovações na indústria de refino de petróleo, caracterizada por ser tecnologicamente madura, mas que frente à legislação ambiental cada vez mais restritiva enfrenta novos desafios de desenvolvimento tecnológico.>

Eje Temático: < Tecnología-Sociedad>

Código:< 4BRS053>

País:<Brasil>

Palabras clave: <Políticas Públicas, regulação ambiental, refino de petróleo, mudança técnica>

Proyectos de investigación asociados: <Dissertação de Mestrado defendida em agosto de 2005 pelo autor>

Período de investigación:<2003>; *Finalización:*<2005>

Texto Completo

1. Introdução

Os esquemas de refino de petróleo, que consistem na organização dos diversos processos de transformação do petróleo bruto dentro das refinarias, visam atender a demandas quantitativas e qualitativas do mercado de derivados, expressas no perfil de derivados consumidos no país e nas características de qualidade exigidas. Mudanças no perfil de demanda (e também no tipo de petróleo processado) determinam adaptações nos esquemas de refino, o que freqüentemente exige o desenvolvimento de atividades tecnológicas, tais

como a adoção de novas técnicas, melhorias incrementais, licenciamento de tecnologias, *design* de equipamentos e pesquisas de novas rotas de processos. Além dos aspectos relativos à demanda, a regulação sobre os impactos ambientais das atividades de refino de petróleo também impõe a necessidade de adoção de técnicas para adequar processos aos padrões colocados pela legislação.

Os investimentos em tecnologias de refino menos agressivas ao meio ambiente possuem dois objetivos, que envolvem a utilização de processos e equipamentos diferentes. O primeiro objetivo é diminuir os impactos ambientais locais das refinarias, utilizando técnicas para redução de efluentes sólidos, líquidos e gasosos, bem como para a racionalização do uso de insumos, principalmente água e energia. O segundo objetivo é implementar processos físico-químicos de refino de petróleo que produzam combustíveis com menores teores de poluentes. Em ambos os casos, melhorias incrementais e a introdução de equipamentos são necessárias para adaptar os processos às novas exigências.

A análise do desenvolvimento tecnológico da indústria de petróleo mostra que esta indústria incorpora de maneira crescente a preocupação com o desenvolvimento de tecnologias limpas (Rovere e Cantarino, 2003). Para Furtado e Müller (2003), a indústria de petróleo é tecnologicamente madura, mas enfrenta desafios como o desenvolvimento de tecnologias de refino adequadas à regulação ambiental, especialmente para produzir derivados mais leves e com menores teores de enxofre. A aplicação de recursos neste tipo de tecnologia pode ser entendida como uma reação a mudanças no meio contextual, introduzidas pela criação de regulamentos cuja finalidade é controlar processos produtivos e produtos, minimizando seus impactos negativos sobre o ambiente natural. Esses regulamentos são elaborados por uma ou mais organizações sociais, formalmente instituídas, que possuem o poder de tornar a regulamentação compulsória, de fiscalizar a adequação dos agentes econômicos às suas determinações e de aplicar sanções aos agentes que não adequem produtos ou processos. A indústria de refino reage a estas mudanças realizando processos de busca e seleção de tecnologias adequadas e economicamente viáveis, que permitam a adequação das refinarias aos padrões exigidos pela legislação.

O refino de petróleo é particularmente sensível com relação à regulação ambiental. De acordo com Arafá (2001), entre 1990 e 1999, do total de gastos ambientais em todos os segmentos da indústria de petróleo nos EUA, 53% estavam relacionados às operações de refino de petróleo, totalizando US\$ 46,9 bilhões. Ainda nos EUA, entre 1972 e 1996, a API (1997) enumera mais de 120 regras federais incidentes sobre a indústria de refino, no âmbito dos atos regulatórios *Clean Water Act*, *Clean Air Act*, *Oil Pollution Act*, *Resource Conservation and Recovery Act*, *Safe Drinking Water Act*, *Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act* e *Toxic Substances Control Act*. A implementação do *Clean Air Act*, em 1990, fez com que os investimentos da indústria do petróleo relacionados à qualidade do ar passassem de cerca de US\$ 2,3 bilhões em 1990 para US\$ 4,5 bilhões em 1995, aumento que em grande parte se relacionou à introdução de equipamentos nas refinarias para adequação dos derivados combustíveis (API, 1997). Além disso, Arafá (2001) observa que esse ato regulatório deslocou o foco dos investimentos ambientais da indústria de petróleo estadunidense, fazendo com que os investimentos em melhorias ambientais relacionadas à água caíssem de cerca de US\$ 2,7 bilhões, em 1990, para US\$ 1,9 bilhões, em 1995, mostrando a preocupação da indústria em se adequar ao *Clean Air Act*.

O presente artigo analisa a influência da regulação ambiental na adoção de novas tecnologias pela indústria de refino de petróleo, considerada aqui um fator determinante da substituição de processos e produtos por outros considerados mais limpos. Parte-se da premissa de que a regulação ambiental vem influenciando diversas atividades econômicas, especialmente aquelas consideradas mais poluidoras, como a indústria de petróleo. A partir daí, busca-se relacionar a adoção de tecnologias específicas no segmento de refino de petróleo (tecnologias “verdes”) com a regulação ambiental, esta entendida como um elemento do ambiente institucional que leva as refinarias a adotarem esse tipo de tecnologia.

Além da análise enunciada, é estudada a relação entre o desenvolvimento tecnológico da indústria de refino de petróleo brasileira e sua relação com a variável ambiental, realizada a partir da caracterização do ambiente institucional atual, destacando-se a regulação brasileira e suas instituições de execução.

Para o estudo de caso sobre a Refinaria de Paulínia (Replan) foram feitas consultas à bibliografia especializada, coleta de dados estatísticos e entrevistas na refinaria e no Centro de Pesquisas da Petrobras, o CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello). Essas entrevistas visaram descobrir como a temática ambiental vem sendo incorporada no desenvolvimento e adoção das tecnologias de refino, e quais as principais características das mesmas.

O marco conceitual que dá base ao trabalho utiliza como referência autores da economia evolucionista ou neo-schumpeteriana, que enfatizam a idéia de que ocorre uma co-evolução entre a utilização de determinadas tecnologias e o contexto sócio-econômico, destacando a importância de organizações sociais, como os órgãos de regulação, na direção e intensidade da criação e adoção de mudanças técnicas. A temática ambiental, considerada como um elemento do contexto sócio-econômico, será abordada a partir da revisão de autores que analisam essa temática e sua incorporação na dinâmica inovativa em geral.

2. Inovação tecnológica e meio ambiente sob a ótica evolucionista

De acordo com Mulder *et al* (1999), a literatura econômica evolucionista analisa a tecnologia como um sistema inserido em um contexto particular, o que permite compreender a influência de fatores como a natureza da regulação na adoção de determinadas tecnologias. Assim, a mudança técnica está ligada a mudanças institucionais e sociais, como novas filosofias regulatórias e pressões de ambientalistas. Por exemplo, empresas que durante os anos 70 e 80 utilizavam predominantemente tecnologias de controle da poluição passaram a utilizar, no final dos anos 80, técnicas preventivas e de reuso de materiais, devido a políticas governamentais que visavam induzir a adoção de ações preventivas e instrumentos de gestão ambiental, substituindo as técnicas de remediação. Assim, sob a ótica evolucionista, a variável ambiental é “...um novo elemento decisivo na evolução dos ambientes seletivos que vêm condicionando as rotinas de busca das firmas” (Romeiro e Salles Filho, 1997: 119).

Os conceitos de busca, rotina e seleção são utilizados por Nelson e Winter (1982) para explicar o comportamento inovativo das empresas, determinando sua capacidade de adaptação a mudanças no ambiente institucional. As rotinas consistem em capacitações e regras de decisão particulares, que se modificam ao longo do tempo tanto por iniciativas deliberadas como por eventos externos. Os processos de busca podem modificar essas rotinas, e ocorrem devido a modificações no ambiente em que as empresas estão inseridas, como a regulação de processos produtivos ou a introdução de produtos “verdes” no mercado. A busca termina com a seleção de uma determinada tecnologia que modificará o processo produtivo e determinará o sucesso ou fracasso na adaptação às novas condições institucionais. A analogia com a teoria biológica de Lamarck, característica do evolucionismo econômico, pode ser colocada nos seguintes termos: no ambiente em constante modificação, “sobrevivem” e “crescem”, em uma “população” de empresas aquelas que possuem maior habilidade para se adaptar às mudanças. Para os autores citados, os processos de busca são determinados pela “carga genética” das empresas, que são as rotinas que definem suas características competitivas, como a capacidade inovativa; estas características, como a carga genética dos seres vivos, persistem ao longo do tempo e determinam, junto ao ambiente, o comportamento das empresas. A evolução das empresas consiste na busca de novas rotinas, isto é, na adaptação a mudanças de longo prazo, que se somam às rotinas utilizadas até a adaptação. Como no mundo natural, o sucesso destas buscas depende da situação contingencial e das atividades deliberadamente realizadas pelas empresas.

Para Romeiro e Salles Filho (1997), a tomada de decisões sob restrição ambiental ocorre em um universo controvertido, em que predomina a construção científica e social dos problemas a partir da percepção dos agentes. As teorias científicas que representam visões de mundo e de futuro competem entre si, formando comunidades epistêmicas que defendem seus pontos de vista. Esses pontos de vista podem direcionar a ação do poder público, que influencia significativamente o quadro institucional e econômico em que as empresas estão inseridas ao instituir convenções construídas a partir da articulação entre as representações científicas do meio ambiente, a seleção de tecnologias e a estruturação dos espaços econômicos do mercado, originando regimes de regulação e mecanismos de estímulo econômico que modificam as agendas dos agentes econômicos na busca por inovações.

As pressões que levam à adoção de inovações ambientais variam entre países, atividades econômicas, tipos de tecnologia e produto (Romeiro e Salles Filho, 1997). Essas pressões decorrem do grau de percepção do problema, da criação de instituições reguladoras dos impactos ambientais das atividades produtivas, das especificidades dos problemas (mais ou menos evidentes) e dos avanços na identificação de soluções. Considerando esses fatores, a regulação pode atuar sobre os ambientes seletivos em que ocorrem os processos de busca através da instituição de regras e convenções que criam medidas coercitivas, como taxas e multas, operacionalizadas por órgãos formais de regulação e fiscalização. Por outro lado, a legitimação das mudanças propostas, através da informação e sensibilização dos consumidores, pode gerar oportunidades tecnológicas, como a criação de mercados “verdes”. Os dois mecanismos interferem nos processos de busca e seleção das empresas, e sua efetividade depende das especificidades do problema e da legitimação do problema na sociedade.

A inclusão da variável ambiental no ambiente seletivo em que ocorre a busca por inovações cria trajetórias tecnológicas particulares, em que se procura a adequação à

regulação ambiental ou a exploração de oportunidades tecnológicas (Romeiro e Salles Filho, 1997). Inicialmente, a variável ambiental é introduzida na dinâmica inovativa através de medidas coercitivas, que tendem a aumentar os custos de produção; em um segundo momento, a adoção espontânea de inovações ambientais pode ocorrer para se explorar oportunidades de negócios. Assim, além das medidas coercitivas, o aproveitamento de oportunidades tecnológicas também explica o desenvolvimento e a adoção de tecnologias ambientais. Apesar da influência da opinião dos consumidores sobre a adoção de tecnologias ambientais, os autores reconhecem que não existe uma “solução de mercado” para os problemas ambientais. A intervenção do Estado nessa área é sempre necessária, definindo problemas ambientais, formulando mecanismos de controle e lançando mão de instrumentos que estimulem a geração e uso de tecnologias menos impactantes.

As interpretações econômicas de viés neoclássico consideram os problemas relacionados à questão ambiental como externalidades ou falhas de mercado, passíveis de correção pela intervenção estatal. Para Kemp e Soete (1990), na perspectiva evolucionária as externalidades não são consideradas definitivas e passíveis de categorização, por estarem relacionadas a contextos históricos particulares e específicos. Os problemas ambientais são em larga medida, aspectos relacionados à mudança econômica, que gera novas estruturas econômicas que continuamente produzem externalidades. Tais externalidades não são tratadas de maneira adequada pelas leis e políticas prevalecentes, tornando necessária sua modificação ou a instituição de novas políticas. Assim, sob a ótica evolucionista, o problema das externalidades, bem como sua solução, são historicamente determinados.

“Inseticidas persistentes não eram um problema oitenta anos atrás. Esterco de cavalo poluía as cidades, mas as emissões de automóveis não. O problema canônico da “externalidade” da teoria evolucionista é a geração, pelas novas tecnologias, de custos e benefícios que as antigas estruturas institucionais ignoram.” (Nelson & Winter, 1982: 368)

Para Kemp e Soete (1990), as externalidades produzidas pela mudança técnica que causam impactos negativos no ambiente natural tornam necessário rearranjar continuamente os custos e benefícios da mudança, através de adaptações e experimentações em instituições reguladoras, o que se torna uma tarefa mais complexa à medida em que são descobertos novos efeitos negativos decorrentes do crescimento de longo prazo.

Para os autores, a necessidade de criar técnicas redutoras de impactos ambientais em empresas poluidoras e firmas especializadas, ao se difundir pela economia como um todo, cria uma indústria do meio ambiente, para cuja consolidação é fundamental a ação do governo, criando políticas como o financiamento da P&D na área, o uso de mecanismos de controle e a criação de instrumentos econômicos de estímulo à adoção de tecnologias ambientais.

A adoção de tecnologias ambientais tem motivações significativamente diferentes das motivações para a introdução de tecnologias tradicionais, na maioria das vezes adotadas para aumentar o faturamento da empresa. As inovações ambientais, em geral, dependem da regulação do governo e representam um aumento de custos. Eventualmente, a adoção desse tipo de inovação pode ser compensada pelo melhor aproveitamento de matérias-primas e energia (especialmente em grandes escalas de produção), melhorias na qualidade do produto e promoção da imagem da empresa junto ao público.

Entre as alternativas técnicas disponíveis, a escolha de uma determinada tecnologia ambiental depende do seu preço e desempenho, do conhecimento do usuário sobre suas características e do risco percebido sobre sua adoção. Também é importante o conhecimento disponível na empresa, o que torna a adoção da tecnologia muitas vezes dependente de programas de pesquisa e treinamento.

Kemp e Arundel (1998) propõem uma classificação de inovações ambientais que utiliza como critérios as motivações principais para seu desenvolvimento e suas finalidades ou maneiras de utilização, definindo seis categorias de tecnologias ambientais:

1. Tecnologias de controle de poluição, que previnem a emissão direta de emissões danosas ao ar, água ou solo. Envolvem tipicamente tecnologias *end of pipe* ou *add on*, adicionadas ao processo produtivo, como filtros.
2. Tecnologias de gerenciamento de resíduos, que incluem o manejo, tratamento e disposição final de resíduos, pelo próprio produtor ou por firmas especializadas.
3. Tecnologias limpas, de caráter preventivo, que envolvem mudanças na produção integradas ao processo, reduzindo os resíduos gerados.
4. Tecnologias de reciclagem, que possibilitam minimizar a geração de resíduos reutilizando materiais aproveitáveis nesses resíduos.
5. Tecnologias de geração de produtos limpos, que geram menores impactos ambientais durante seu ciclo de vida (desenho, produção, uso e descarte).
6. Tecnologias limpadoras, incluem técnicas de remediação como purificadores de ar e tratamento de solos contaminados.

A partir dessas categorias, Kemp e Arundel (1998) desenvolvem uma tipologia de inovações ambientais, com ênfase aos fatores que motivaram sua criação (Quadro 1), auxiliando assim a identificação de fatores que afetam a criação e desenvolvimento das inovações ambientais.

Quadro 1. Tipologia de inovações ambientais

Desenvolvida em resposta a:	Método de uso	
	<i>End of pipe</i>	Tecnologia limpa
Regulação	Controle de poluição; reciclagem; tratamento de resíduos; remediação.	Tecnologias mais limpas; reciclagem; tratamento de resíduos; produtos limpos.
Outros objetivos	Nenhuma	Tecnologias mais limpas; reciclagem; produtos limpos.

Fonte: Kemp e Arundel (1998)

De acordo com Kemp (1997) a regulação ambiental pode estimular a difusão de tecnologias existentes ou levar ao desenvolvimento de inovações incrementais em processos, à reformulação ou substituição de produtos e ao desenvolvimento de novos processos. As respostas mais comuns das empresas à regulação são as inovações

incrementais e a difusão de tecnologias já existentes, na forma de soluções *end of pipe* e na substituição não inovativa de substâncias existentes; já o desenvolvimento de inovações radicais é uma resposta à regulação que ocorre mais raramente. O autor considera que a regulação frequentemente modifica ou acelera processos de mudança, e traz ganhos para as empresas quando as ações de adequação ambiental trazem também uma maior conservação de energia e materiais.

3. Regulação ambiental e a indústria de refino de petróleo no Brasil e no Estado de São Paulo

A regulação ambiental é um tipo de política pública que fixa padrões aceitáveis de geração de poluição por processos de produção e pelo uso de produtos, efetivada através de instrumentos econômicos e de comando e controle que fazem com que as empresas se adequem aos padrões fixados. Essa política têm como característica marcante a controvérsia relacionada às suas motivações e efeitos; segundo o modelo de universo controvertido de Godard descrito por Corazza (2001), as tomadas de decisão em matéria ambiental ocorrem em meio a permanentes conflitos em que estão presentes diversas interpretações sobre as causas dos problemas ambientais, incertezas sobre a eficácia das soluções propostas e interesses econômicos conflitantes. Esse modelo pressupõe a co-evolução entre objetivos de proteção ambiental, organização da sociedade e desenvolvimento tecnológico, reconhecendo as limitações de percepção dos agentes sobre o impacto das atividades, a desigualdade na expressão de suas preferências, a instabilidade do conhecimento científico em temas controversos, a diversidade de interesses e visões de mundo, o caráter de construção científica e social dos problemas tratados, a incerteza relacionada ao desenvolvimento tecnológico e a importância das soluções negociadas em diversas instâncias decisórias.

A regulação ambiental incidente sobre as atividades de refino de petróleo no Brasil visa minimizar dois tipos de problemas. O primeiro grupo de problemas diz respeito aos impactos locais das atividades sobre os recursos naturais da região onde são desenvolvidas as atividades, que podem ser comprometidos por fatores diretamente ligados aos processos produtivos das refinarias, como o elevado consumo de água e as emissões de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. A limitação no consumo de recursos e o controle mais rigoroso das emissões geradas exige frequentemente a adoção de novas técnicas nas refinarias, não sendo incomum que o órgão ambiental competente exija a melhor técnica disponível no mercado.

O segundo grupo de problemas ambientais que leva a mudanças técnicas nas refinarias está relacionado às emissões decorrentes do consumo de derivados, especialmente aquelas geradas por veículos automotores movidos a gasolina e óleo diesel, o que exige que sejam adotados novos processos para produzir combustíveis menos poluentes. Para gerenciar o problema das emissões automotivas, os órgãos reguladores estabelecem padrões máximos de emissões para os veículos, o que exige a adaptação dos motores e dos combustíveis oferecidos no mercado, que devem ser compatíveis com os padrões de emissões determinados. A necessidade de integrar esforços dos fabricantes de veículos e refinadores para diminuir as emissões veiculares faz com que esses padrões e o tempo exigido para sua

implementação sejam negociados entre esses agentes e os órgãos reguladores, visando conciliar viabilidade econômica, defesa do interesse do consumidor e diminuição de emissões, além da adaptação gradual dos fabricantes.

A execução das atividades de refino de petróleo no Brasil está sujeita a toda a legislação ambiental incidente sobre a atividade industrial em geral, respondendo também ao órgão regulador do setor de petróleo e gás, a ANP (Agência Nacional do Petróleo). Silva e Tavares (2003) definem o regulamento técnico como um documento que estabelece regras compulsórias emitidas por uma autoridade governamental, onde são definidos procedimentos obrigatórios, normalmente relacionados à metrologia, segurança industrial, meio ambiente, prevenção médica e produtos comercializados internacionalmente. Esses regulamentos nortearam os projetos das refinarias do Brasil, e foram elaborados considerando o conjunto das normas nacionais, elaborados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) com base em normas de associações dos EUA (ANSI, ASME, ASTM etc.), e complementadas por normas dos próprios agentes econômicos.

As atividades de refino e processamento de petróleo e gás natural estão incluídas entre as atividades listadas na Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 001/1986, para cuja instalação é exigido o licenciamento ambiental. O licenciamento ambiental é um processo conduzido pelas agências estaduais de meio ambiente, com a finalidade de autorizar a realização de atividades potencialmente poluidoras. Adicionalmente, foram publicadas as resoluções CONAMA 306/02, que exige auditorias ambientais a cada 24 meses em instalações portuárias, plataformas e refinarias, e 313/02, que exige que as refinarias forneçam a cada 24 meses informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte e destinação de resíduos.

No Estado de São Paulo, o registro de atividades poluidoras junto ao órgão estadual de meio ambiente (CETESB)¹ foi criado com a Lei nº 997/76. O Decreto nº 47.397/02 define as classes de atividades que devem obter licenças e seu prazo de validade, que varia de 2 a 5 anos. As atividades são classificadas por um fator de complexidade “W”, que varia de 1 a 5, e define o prazo da licença e o valor cobrado pela mesma (que também depende da área do empreendimento). O refino de petróleo inclui-se entre as atividades com fator W igual a 5, que possuem um prazo de licença menor (2 anos) para a qual é pago um valor sobre o qual incide o máximo multiplicador.

Na regulação do uso da água, recurso vital para as atividades das refinarias, destaca-se a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos pela Lei nº 9.433/97. Essa lei regulamenta o arcabouço institucional relacionado à proteção dos recursos hídricos brasileiros, e prevê que o direito de uso de água para atividades que demandam grandes quantidades do recurso, como o refino de petróleo, deverá ser objeto de outorga concedida pelo órgão competente, que autorizará a utilização de uma quantidade determinada de água ou o lançamento de um certo volume de efluentes em corpos d’água existentes.

No Estado de São Paulo, a água utilizada pelas refinarias é captada mediante outorga do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), e seu uso é regulamentado pela Portaria DAEE 717/96, que disciplina o uso de recursos hídricos. Tanto a captação como o lançamento de efluentes nos corpos d’água dependem dessa

¹ O Decreto nº 8.468/76 define a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) como o órgão estadual de controle ambiental, encarregado de definir padrões aceitáveis de poluição da água, solo e ar, indicar as atividades obrigadas ao licenciamento ambiental e os procedimentos para a obtenção das licenças, bem como aplicar penalidades em caso de descumprimento das normas.

autorização, que tem validade máxima de 5 anos. A outorga pode ser cancelada caso torne-se danosa ao bem público e/ou em caso de descumprimento da legislação.

A Lei nº 9.433/97 também prevê a cobrança aos outorgados pelo uso da água, efetuada pelos Comitês de Bacias Hidrográficas,² órgãos encarregados da gestão regional de recursos hídricos, a quem cabe definir valores, horizonte temporal e forma de aplicação da cobrança, além do uso dos recursos arrecadados. Esse instrumento se diferencia das políticas de comando e controle tradicionais, como multas e outras sanções, podendo ser caracterizada como um instrumento econômico de gestão ambiental, baseado no princípio do poluidor/usuário pagador, que se apóia em uma mistura de regulamentos e incentivos econômicos com a finalidade de promover a proteção dos recursos naturais (Motta *et al*, 1996).

A Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes, determinando a carga máxima de contaminantes permitida nos efluentes gerados pelas diversas indústrias. De acordo com a resolução, o órgão ambiental competente pode acrescentar padrões mais restritivos, em função de condições locais e exigir a utilização da melhor tecnologia disponível. A fixação pelos órgãos locais pode ser por norma específica ou no próprio contrato de licenciamento.

As emissões de efluentes gasosos por fontes fixas é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 008/90, que estabelece limites máximos para emissões de processos de combustão externa, considerados pela Resolução as maiores fontes fixas de poluentes. A regulação incide sobre empresas que utilizam caldeiras, geradores de vapor, centrais para a geração de energia elétrica, fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica, incineradores e gaseificadores.

A legislação específica para as atividades relacionadas à indústria de petróleo e gás natural está baseada na Lei nº 9.478/97, que define a política geral a ser adotada pelo setor após o fim do monopólio da Petrobras. A lei coloca entre os objetivos da política energética nacional a proteção do meio ambiente e a conservação de energia. A mesma lei cria e regulamenta a ANP, uma autarquia do Governo Federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que regula as atividades relacionadas a petróleo e gás natural no Brasil. As regras da ANP são publicadas em Portarias, cujo cumprimento é garantido pela ANP através da fiscalização de atividades produtivas e produtos e da aplicação das sanções administrativas previstas na legislação (Menezello, 2000).

Para o exercício de suas funções a ANP possui Superintendências de Processos Organizacionais, que atuam em diversas atividades relacionadas à indústria do petróleo. A regulamentação e a fiscalização da indústria de refino estão a cargo da Superintendência de Refino e Processamento de Gás Natural; já o controle da qualidade de derivados e gás natural está a cargo da Superintendência de Qualidade de Produtos, que determina as especificações destes produtos bem como os métodos de análise a serem utilizados nos testes de qualidade (Menezello, 2000).

A Lei nº 9.847/99, que trata da fiscalização das atividades relacionadas ao abastecimento nacional de combustíveis, considera o refino uma atividade econômica de interesse

² Por exemplo, o Comitê responsável pela Bacia do rio Paraíba do Sul definiu uma taxa de R\$ 0,008/m³ para empresas que devolverem efluentes tratados ao rio, e de R\$ 0,02/m³ para as empresas que não fizerem nenhum tratamento (Petro e Química, 2002).

público, o que implica em uma fiscalização e regulação mais severa; as sanções administrativas e pecuniárias por parte da ANP e outros órgãos públicos incluem multas, apreensão de bens, cancelamento de registro junto à ANP, suspensão do funcionamento da instalação e revogação da autorização para o exercício da atividade. Também cabe à ANP emitir a autorização para o funcionamento de novas refinarias privadas e para a ampliação das refinarias já existentes, que só podem ser concedidas a empresas constituídas sob leis brasileiras e com sede e administração no Brasil (Menezello, 2000).

A construção, ampliação e operação de refinarias e unidades de processamento de gás natural é regulamentada pela Portaria ANP nº 28/1999. As regras estabelecidas pela ANP incluem a adequação dos projetos a critérios de segurança e preservação ambiental, o monitoramento da conformidade das plantas ao sistema brasileiro de certificação e a revisão periódica das autorizações. Anexo a esta Portaria, o Regulamento Técnico ANP nº 01/99 define as normas formais para os pedidos de autorização, onde deverão estar descritas as atividades a serem desenvolvidas (Bandeira, 2003). Também é obrigatória a comunicação à ANP de acidentes operacionais e da liberação acidental de poluentes, conforme procedimentos contidos na Portaria ANP nº 14/2000 (Menezello, 2000). A Portaria ANP nº 3/03 estabelece o procedimento para a comunicação de incidentes, a ser adotado por todos os segmentos da indústria de petróleo.

No âmbito do PROCONVE³, a Lei 8.723/93 estabelece que os fabricantes de combustíveis devem tomar providências para reduzir os níveis de emissão de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes nos derivados comercializados no País, enquadrando-os nos limites legais. Cabe à ANP, após negociações com os agentes envolvidos, determinar as especificações dos combustíveis produzidos nas refinarias, através de portarias que contêm regulamentos técnicos e as obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade destes produtos, a partir de normas da ABNT e da ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Além de definir as especificações, a ANP fiscaliza a adequação das atividades produtivas e dos produtos aos padrões estabelecidos e aplica as sanções administrativas previstas na legislação.

As especificações são definidas em reuniões com os diversos agentes interessados, de maneira a permitir a adaptação dos processos produtivos das partes interessadas, como fabricantes de motores e refinadores, que precisam de um certo tempo para se adequar às novas especificações. A Resolução ANP nº 5/04 regulamenta a realização de audiências públicas prevista na Lei nº 9.478/97, que estabelece que a ANP deverá convocar e dirigir audiências públicas quando ocorrerem “...*iniciativas de projetos de lei ou de alteração de normas administrativas que impliquem afetação de direito dos agentes econômicos ou de consumidores e usuários de bens e serviços da indústria do petróleo...*”. De acordo com a Resolução, a audiência pública é um instrumento de apoio e deve ser formulada com o objetivo de recolher informações para o processo decisório, permitir que os agentes econômicos e consumidores encaminhem suas sugestões, identificar os aspectos relevantes à matéria que é objeto da audiência pública da maneira mais ampla possível e dar publicidade, transparência e legitimidade às ações da ANP. A Portaria também determina que a audiência pública poderá ser precedida de consulta pública, aberta mediante aviso

³ Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, criado pela resolução CONAMA 18/1986, define diretrizes, prazos e padrões legais de emissão admissíveis para as diferentes categorias de veículos automotores, nacionais e importados. Atualmente, a Resolução CONAMA nº 315/02 define os limites máximos de emissões para motores comercializados no Brasil.

próprio de audiência e por meio do portal da ANP na internet. Um exemplo de utilização desse mecanismo foi a definição das especificações do diesel metropolitano e das regiões onde deveria ser comercializado, definidas por uma Câmara Técnica de Energia, que consistiu em um grupo de trabalho com representantes do CONAMA, Petrobras, IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo), refinarias privadas, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química), cujas decisões foram publicadas sob a forma de resoluções do CONAMA.

A regulação mais recente relacionada à gasolina automotiva comercializada no Brasil é a Resolução ANP Nº 6/2005, à qual está anexo o Regulamento Técnico ANP nº 2/2005, que define as especificações das gasolinas A (máximo de 0,05% de enxofre) e C (0,04% de enxofre, misturada a 22% de álcool anidro), bem como os métodos para a determinação dos itens especificáveis e normas para os produtores.

A Resolução ANP Nº 12/2005 define as novas especificações do diesel adequado a novas tecnologias de motores utilizadas. A Resolução define três categorias de diesel: Óleo Diesel S500, com 0,05% de enxofre em sua composição, Metropolitano, com 0,2% de enxofre, e Interior, com 0,35%. A Resolução também define as regiões⁴ onde o diesel deverá ser comercializado, determinando que o Diesel S500 deverá ser comercializado nas maiores e mais poluídas Regiões Metropolitanas do país. O lançamento desse produto exigiu investimentos significativos nas refinarias da Petrobras, conforme pode ser verificado no caso da Replan, exposto na sessão seguinte.

4. Regulação ambiental e inovação tecnológica na Replan

A Replan, criada em 1972, é a maior refinaria do Brasil, produzindo cerca de 22% do total de diesel, 18% da gasolina e 19% do GLP refinados no país em 2003. Em função do volume de sua produção, os investimentos para atender à regulação ambiental são de grande monta, o que leva à necessidade de adotar novas tecnologias para melhorar a qualidade dos derivados produzidos, para controlar emissões de efluentes e para racionalizar o uso de recursos hídricos.

Os principais investimentos para melhorar a qualidade dos combustíveis na Replan foram a implantação de duas unidades de hidrotreamento de destilados médios (HDT), com capacidade para processar 5.000 m³ de carga por dia. Essas unidades são utilizadas para remover enxofre e compostos nitrogenados do diesel, operando em altas temperaturas e pressões. O hidrotreamento é um processo de tratamento que reduz o conteúdo de enxofre e nitrogênio de uma corrente através de reações de hidrogenação de aromáticos, enxofre e nitrogênio. O processamento dos gases ácidos oriundos dessas reações viabiliza a obtenção de enxofre elementar, que é comercializado.

A primeira unidade de Hidrotreamento de destilados médios da Replan iniciou suas operações em 1998, junto a uma unidade de geração de hidrogênio e uma unidade de

⁴ Os municípios onde será obrigatória a comercialização do Diesel S500 e Metropolitano estão enumerados em um anexo da Resolução.

recuperação de enxofre, com investimentos de cerca de U\$\$ 200 milhões; na segunda unidade que começou a operar em 2004 foram investidos US\$ 175 milhões.

A tecnologia das unidades de HDT da Replan é de propriedade da Petrobras, desenvolvida no CENPES, com apoio do IFP (Instituto Francês do Petróleo), a partir de um programa específico para o desenvolvimento de unidades de HDT adaptadas a diversos tipos de petróleo, especialmente aqueles produzidos nas bacias brasileiras, que possuem alto teor de nitrogênio e características naftênicas. O desenvolvimento desta tecnologia envolveu testes em unidades de bancada e piloto com diversas correntes de petróleos de difícil refino, permitindo o conhecimento de diversas variáveis de operação, gerando dados necessários para o *design* e o *scale up* do processo. Paralelamente ao desenvolvimento das unidades, foram criadas redes neurais internas para a previsão de exigências relativas a quantidade e qualidade dos derivados e da performance dos processos, dando suporte ao projeto e à operação dos reatores de HDT da Petrobras. Para o desenvolvimento das HDT de destilados médios, foi fundamental a experiência da Petrobras na operação de outras plantas da empresa,⁵ como hidrodessulfurização de naftas, querosene de aviação e diesel, hidroacabamento de parafinas e lubrificantes e hidrotreatamento profundo de destilados médios. A tecnologia de hidroprocessamento da Petrobras é completada com um pacote de engenharia básica baseado em dados previamente desenvolvidos para cada serviço. São utilizadas técnicas informatizadas para executar cálculos como balanço de materiais e calor e outros cálculos de equipamentos, como o *design* de trocadores de calor e das principais válvulas de pressão, reduzindo custos de capital e custos de manutenção. Apesar do domínio da tecnologia dos reatores e de sua operação a Petrobras importa todos os catalisadores usados no HDT das empresas *Akzo Nobel* e *Axens*.

Atualmente, a Petrobras desenvolve um projeto de desenvolvimento de unidades HDT para tratamento da nafta craqueada, visando melhorar a qualidade da gasolina. A implantação das unidades nas refinarias está prevista para 2009, incluindo duas unidades na REPLAN. O projeto básico está sendo desenvolvido na empresa francesa *Axens*, e conta com a participação de técnicos da Petrobras.

Com relação aos investimentos para diminuição de impactos locais, destacam-se os realizados para racionalizar o uso de água, recurso vital para a refinaria⁶, e para diminuir as emissões aéreas, uma cobrança freqüente dos órgãos ambientais locais. As tecnologias adotadas nesse sentido são, em sua maioria, do tipo *end of pipe*, em geral adquiridas de fontes externas à empresa, uma vez que não se incluem entre as tecnologias *core* da refinaria. Os valores envolvidos nos investimentos em melhorias ambientais locais entre 1999 e 2002 estão na casa dos R\$ 44 milhões.

Durante esse período foram tomadas medidas que permitiram reduzir a vazão de efluentes de 785 m³ por hora, em 1999, para 537 m³ por hora em 2002. Entre essas medidas está a instalação de novos equipamentos elétricos, ampliação de instalações como as ETDI (Estação de Tratamento de Despejos Industriais), novos resfriadores, flotores e ejetores nas ETDI, implantação de sistema de lodo ativado na ETDI, possibilitando decompor a amônia em nitrogênio gasoso, e construção de uma unidade de desidratação de lodo na ETDI. Também foram trocados os antigos aeradores de superfície do sistema de lodos

⁵ A primeira unidade de hidrotreatamento da Petrobras foi inaugurada em 1982 na refinaria de Mataripe, para o tratamento de n-parafinas.

⁶ A REPLAN utiliza diariamente cerca de 36 milhões de litros de água, retirada do Rio Jaguari.

ativados por ejetores que geram menos emissões gasosas, comercializados pela empresa alemã *Körting*.

Para reduzir emissões aéreas as medidas tomadas durante esse período incluem a instalação um incinerador de gás amoniaco na unidade de águas ácidas, reduzindo a emissão de nitrogenados, e a instalação de um terceiro estágio de ciclones na unidade de craqueamento catalítico (UCC), reduzindo em 40% as emissões dessa unidade. A tecnologia de ciclones foi fornecida pela empresa canadense *Marsulex*, e foi adotada após a assinatura de um Termo de Ajustamento de Conduta com a Cetesb, em que a empresa se comprometia a reduzir as emissões da UCC. Merece destaque também o início de operação, em 2005, de uma Unidade de Tratamento de Gás Residual (UTGR), que recebeu investimentos de R\$ 45 milhões. A unidade trata o gás originado da unidade de recuperação de enxofre, aumentando a recuperação do material, que passou de 96% para 99,5%, diminuindo significativamente as emissões de gases ácidos nos queimadores de gases. A UTGR da REPLAN foi a primeira unidade desse tipo adotada na América Latina.

A aplicação de grandes investimentos em tecnologias de minimização de impactos, todavia, não eliminou os problemas ambientais da refinaria. Na relação de áreas contaminadas divulgada pela Cetesb (2004), existe uma área contaminada pela Replan, com remediação em andamento, cujas fontes de contaminação identificadas são o tratamento de efluentes, descarte e disposição de resíduos e acidentes. Os meios contaminados são o solo superficial e subsolo, bem como as águas superficiais e subterrâneas. Os contaminantes identificados são combustíveis líquidos, metais, solventes aromáticos e PAHs,⁷ exigindo ações de isolamento da área, monitoramento ambiental e remoção de contaminantes, utilizando-se, no processo de remediação, remoção de solo e resíduo, recuperação da fase livre e barreira física.

4. Conclusões

A regulação ambiental é um fator da maior importância sobre a atividade de refino de petróleo, exigindo investimentos em duas áreas principais: a redução de impactos ambientais locais e a produção de combustíveis menos poluentes. No caso da Replan, verifica-se que as tecnologias utilizadas para diminuir os impactos locais, segundo a classificação de Kemp e Arundel (1998) incluem a adoção de tecnologias *end of pipe* e de gerenciamento de resíduos, através de melhorias incrementais e aquisição de tecnologias padronizadas. A adoção de processos para melhorar a qualidade dos combustíveis pode ser classificada como uma tecnologia de geração de produtos limpos, e além dos altos investimentos requeridos, exige uma intensa interação entre as equipes de pesquisa do CENPES e o pessoal da refinaria, uma vez que os processos e equipamentos são desenvolvidos sob medida para a Replan. A diferença principal entre esses dois grupos de tecnologias reside no fato de que as tecnologias ambientais para processamento de petróleo estão entre as tecnologias *core* da Replan, nas quais existe uma grande carga de conhecimento acumulado, tanto na área de pesquisa como na área de operação. Ademais, o

⁷ Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, mais resistentes que outros aromáticos à degradação microbiológica, persistem mais tempo no ambiente por serem absorvidos profundamente pelos sedimentos.

investimento requerido na adoção de unidades de melhoria da qualidade de derivados é significativamente maior do que os requeridos para a diminuição de impactos locais.

Conclui-se que a regulação do setor de refino gera efeitos positivos, pois ainda que relações de causa e efeito globais (como por exemplo a relação entre queima de combustíveis e efeito estufa) não sejam objeto de consenso científico, é inegável que uma redução na emissão de efluentes decorrentes da produção e consumo de combustíveis terá um efeito positivo na dimensão local. Esta melhoria já justifica as restrições, além de promover o avanço tecnológico nacional na área de tecnologias limpas, cujo domínio é uma necessidade estratégica, haja vista a crescente participação dos Partidos Verdes nas decisões de política energética dos países desenvolvidos.

8. Referências Bibliográficas

API. *Cumulative Impact of Environmental Regulations on the U.S. Petroleum Refining, Transportation and Marketing Industries*. API Committee on Refinery Environmental Control, Washington, DC, 1997. Disponível: <http://api-ep.api.org/filelibrary/Cumulative%20Impact%20of%20Environmental%20Regulation.doc> Acesso em 21/9/2004.

ARAFA, H. *U.S. Petroleum Industry's Environmental Expenditures 1990-1999*. American Petroleum Institute, Washington, DC, 2001. Disponível: <http://api-ec.api.org/filelibrary/FinalEES01.pdf> Acesso em 21/9/2004

CETESB. *Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo*. Disponível: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/areas_cont_alfab_nov_04.zip Acesso em 10/03/2004

CORAZZA, R.I. *Políticas públicas para tecnologias mais limpas: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente*. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências, Campinas, 2001.

FURTADO, A. e MÜLLER, N. *Competitividade da Indústria de Extração e Refino de Petróleo*. Nota Técnica Setorial do Complexo Químico, IE/UNICAMP-IEI/UFRJ-FDC-FUNCEX, Campinas, 1994.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. Survey Indicators for Environmental Innovation. *Paper series 8*, IDEA, 1998. Disponível: <http://www.step.no/old/Projectarea/IDEA/Idea8.pdf>. Acesso em 9/8/2004.

KEMP, R. e SOETE, L. Inside the 'green box': on the economics of technological change and the environment. In: FREEMAN, C. & SOETE, L. (eds). *New explorations in the economics of technological change*. Londres: Pinter Publishers, 1990. p. 245-257

MENEZELLO, M. C. *Comentários à Lei do Petróleo: lei federal n. 9.478, de 6-8-1997*. São Paulo, Atlas, 2000.

- MOTTA, R. S., RUINTENBEEK, J. e HUBER, R. Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações, *Texto para Discussão 440*, IPEA, outubro de 1996.
- MULDER, P. RESCHKE, C. E KEMP, R. (1999), Evolutionary Theorising on Technological Change and Sustainable Development. *OCFEB Research Memorandum 9912*, 'Environmental Policy, Economic Reform and Endogenous Technology', working paper series 2.
- NELSON, R. e WINTER, S. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press, 1982
- PETRO & QUÍMICA. Reuso de água torna-se meta para indústrias. *Revista Petro & Química* nº 236. Editora Valete, São Paulo, abril de 2002, p.50-62.
- ROMEIRO, A. R. ; SALLES-FILHO, S. . Dinâmica de Inovações Sob Restrição Ambiental. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L.. (Org.) *Economia do Meio Ambiente*. Campinas, 1997, p. 84-122.
- ROVERE, E.L.L. e CANTARINO, A.A. *Tendências tecnológicas da indústria de O & G ditadas por condicionantes regulatórios ambientais*. Nota técnica 11, Projeto Tendências/LIMA/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003. Disponível: <http://www.tendencias.int.gov.br/arquivos/textos/NT11.zip> Acesso em 17/3/2004
- SILVA, G.R. e TAVARES, M.E.E. Regulação do refino de petróleo no Brasil e a norma ISO14000: o voluntário pode tornar-se compulsório? *Conjuntura e Informação*, ANP, Rio de Janeiro, Novembro/02-Janeiro/03