

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
E REGULAÇÃO AMBIENTAL
NA INDÚSTRIA DE REFINO DE PETRÓLEO:
O CASO DA REFINARIA DE PAULÍNIA**

**Adalberto Mantovani Martiniano de Azevedo
Newton Müller Pereira**

2

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E REGULAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA DE REFINO DE PETRÓLEO: O CASO DA REFINARIA DE PAULÍNIA

**Adalberto Mantovani Martiniano De Azevedo¹
Newton Müller Pereira²**

RESUMO

O artigo discute a influência da regulação ambiental na adoção de novas técnicas produtivas e na modificação de técnicas existentes na indústria de refino de petróleo, particularmente na Refinaria de Paulínia (REPLAN). Para isso, são caracterizadas as técnicas adotadas para adequar os processos de refino à regulação que controla impactos locais (relacionados à proteção de recursos como água, ar e solo) e as técnicas adotadas para produzir diesel e gasolina menos poluentes, outra exigência dos órgãos de regulação ambiental. O artigo se baseou em pesquisa bibliográfica e dados coletados na REPLAN e no CENPES, que permitiram caracterizar as tecnologias adotadas na REPLAN no final da década de 90 e as ações regulatórias relacionadas à sua adoção. 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 com rentabilidade econômica, sendo um fator determinante da adoção de novas técnicas na indústria de refino. Conclui-se, assim, que na REPLAN a regulação ambiental trouxe a necessidade de significativos investimentos para a adequação de processos e produtos aos padrões estabelecidos.

¹Msc, Departamento de Política Científica e Tecnológica, IG/Unicamp

²Dsc, Departamento de Política Científica e Tecnológica, IG/Unicamp



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 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 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 incorpora de maneira crescente a preocupação com o desenvolvimento de tecnologias limpas. Para FURTADO E MÜLLER (1994), 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 adequarem 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 adaptar as refinarias aos padrões exigidos pela legislação.

O refino de petróleo é particularmente sensível com relação à regulação ambiental. 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 (ARAFA, 2001). 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 naquele mesmo ano 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). ARAFA (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, entendida como um elemento do ambiente institucional que leva à adoção desse tipo de tecnologia.



Para o estudo de caso apresentado foi levantada a regulação pertinente, consultada a bibliografia especializada e realizadas entrevistas na REPLAN e no Centro de Pesquisas da Petrobras, o CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello). As entrevistas visaram descobrir como a temática ambiental vem sendo incorporada no desenvolvimento e adoção das tecnologias de refino, e quais as principais características das tecnologias adotadas na REPLAN desde o final da década de 90.

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.

2 - INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E MEIO AMBIENTE SOB A ÓTICA EVOLUCIONISTA

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 ambientalistas.

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, 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 às 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.

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. 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 (KEMP E SOETE, 1990).

Entre as alternativas técnicas disponíveis, a escolha de uma 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:

- Tecnologias de controle de poluição, 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, tais como filtros.
- Tecnologias de gerenciamento de resíduos, incluem o manejo,

tratamento e disposição final de resíduos, pelo próprio produtor ou por firmas especializadas.

- Tecnologias limpas, de caráter preventivo, envolvem mudanças na produção integradas ao processo, reduzindo os resíduos gerados.
- Tecnologias de reciclagem, para minimizar a geração de resíduos reutilizando materiais aproveitáveis nesses resíduos.
- Tecnologias de geração de produtos limpos, geram menores impactos ambientais durante seu ciclo de vida (desenho, produção, uso e descarte).
- Tecnologias limpadoras, incluem técnicas de remediação como purificadores de ar e tratamento de solos contaminados.

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 tem 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 sobre o 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 problemas relacionados aos impactos locais sobre os recursos naturais da região das refinarias, que podem ser comprometidos por fatores como o elevado consumo de água e as emissões de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. O segundo grupo de problemas ambientais está relacionado às emissões decorrentes do consumo de derivados, especialmente as geradas por veículos 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 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 regulação do uso da água, recurso vital para as refinarias, baseia-se na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n.º 9.433/97), que regulamenta o arcabouço institucional de proteção dos recursos hídricos brasileiros e prevê que o uso de água em grandes quantidades deverá ser objeto de outorga concedida pelo órgão competente. No Estado de São



Paulo, a água é captada pelas refinarias mediante outorga do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), regulamentada pela Portaria DAEE 717/96.

A outorga tem validade máxima de 5 anos e pode ser cancelada caso torne-se danosa ao bem público e/ou em caso de descumprimento da legislação. A Resolução CONAMA n.º 357/05 estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes, e permite que o órgão ambiental acrescente padrões mais restritivos em função de condições locais (em norma específica ou no próprio contrato de licenciamento) e exija a utilização da melhor tecnologia disponível. Na REPLAN, a outorga concedida pela ANA (Agência Nacional de Águas) permite captar 1870 m³ de água por hora do Rio Jaguari (3600 m³ em caso de incêndio). O DAEE autoriza a refinaria a lançar 950m³ por hora de esgoto industrial e 30 m³ por hora de esgoto doméstico no Rio Atibaia.

As emissões de efluentes gasosos de fontes fixas são regulamentadas pela Resolução CONAMA n.º 008/90, que estabelece limites máximos para processos de combustão externa. No Estado de São Paulo, o Decreto n.º 48.523/04 define áreas saturadas ou em vias de saturação da qualidade do ar, exigindo que a adição de emissões por novos empreendimentos ou ampliação dos existentes seja compensada com a redução das emissões existentes, e estabelece que em áreas em vias de saturação empreendimentos que adicionem emissões de mais de 30 toneladas por ano compensem essas emissões em 100%; já nas áreas saturadas, essa compensação deve ser de 110%.

O instrumento de gestão mais importante para o controle das atividades industriais é o licenciamento ambiental, por estabelecer regras em função das características específicas dos empreendimentos. As atividades de refino de petróleo estão entre as atividades potencialmente poluidoras listadas na Resolução CONAMA n.º 001/86, para cuja instalação é exigido o licenciamento ambiental, um processo conduzido pelas agências estaduais de meio ambiente, criado pela Lei 6.938/81 e regulamentado pelo Decreto n.º 99.274/83. O projeto de construção ou ampliação de uma refinaria passa inicialmente pelo licenciamento prévio, que atesta a viabilidade do empreendimento e define os padrões para sua instalação, exigindo informações toxicológicas e de segurança de insumos e produtos, planta de localização e de *layout* interno, descrição do projeto e alternativas



e análise de acidentes em instalações semelhantes.

A implantação do empreendimento em conformidade com o licenciamento prévio é autorizada pela licença de instalação, para a qual são exigidos documentos com a análise do risco da operação, montagem e pré-operação, a descrição e especificação dos métodos e técnicas utilizados, a análise de vulnerabilidade, a avaliação demográfica e social do espaço vulnerável e uma análise de conseqüências de acidentes. Por fim, o funcionamento da atividade é autorizado pela licença de operação, para cuja concessão exige-se a apresentação de um plano de ação emergencial, um plano de integração com autoridades públicas e empresas locais, campanhas de divulgação do plano de emergência e exercícios simulados de emergência (MENEZELLO, 2000). Antes destes procedimentos são exigidos Estudos de Impactos Ambientais (EIA); após o início das operações, exigem-se Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA).

O Decreto n.º 47.397/02 classifica as atividades passíveis de licenciamento no Estado de São Paulo e cria taxas e prazos de validade diferenciados (máximo de 5 anos). As atividades são classificadas segundo um fator de complexidade W, que varia de 1 a 5. Este fator, além de definir o tempo da licença, determina o valor a ser cobrado, diretamente proporcional ao fator W e à área do empreendimento. O refino de petróleo inclui-se entre as atividades com fator W igual a 5, com prazo de licença de 2 anos, pelo qual é pago um valor que traz embutido o esse máximo multiplicador.

A Resolução CONAMA n.º 306/02 estabeleceu procedimentos para auditorias ambientais em plataformas e instalações de apoio, instalações portuárias e refinarias, e determina que as auditorias devem ser realizadas a cada dois anos, quando devem ser entregues ao órgão ambiental (no caso da REPLAN, a CETESB) um relatório de auditoria ambiental e um plano de ação. A Resolução CONAMA n.º 306/02 é suplementar à Resolução CONAMA n.º 265/00, editada logo após acidentes ambientais de grande porte ocorridos em instalações da Petrobras, mas que não estabelecia os requisitos mínimos de auditoria.

A legislação específica para as atividades da indústria de petróleo está baseada na Lei n.º 9.478/97, que coloca entre os objetivos da política energética nacional a proteção do meio ambiente e a conservação de energia. A lei cria e regulamenta a Agência Nacional do Petróleo, cujas

regras são publicadas em Portarias, e cumpridas através da fiscalização de atividades produtivas e produtos e da aplicação das sanções administrativas previstas na legislação. Para isso, a ANP possui Superintendências de Processos Organizacionais, que atuam em diversas áreas da indústria do petróleo. A regulamentação e fiscalização da indústria de refino estão a cargo da Superintendência de Refino e Processamento de Gás Natural. O controle de qualidade de derivados e gás natural está a cargo da Superintendência de Qualidade de Produtos, que determina as especificações destes produtos e os métodos de análise a serem utilizados (MENEZELLO, 2000).

A construção, ampliação e operação de refinarias e unidades de processamento de gás natural é regulamentada pela Portaria ANP n° 28/99, que exige a adequação dos projetos a critérios de segurança e preservação ambiental, ao sistema brasileiro de certificação e prevê a revisão periódica das autorizações. Anexo a esta Portaria, o Regulamento Técnico ANP n° 01/99 define as normas para os pedidos de autorização, onde deverão estar descritas as atividades a serem desenvolvidas. Também é obrigatória a comunicação à ANP de acidentes operacionais e da liberação acidental de poluentes, conforme a Portaria ANP n° 14/2000 (MENEZELLO, 2000).

A Resolução CONAMA n.º 18/86 instituiu o PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores),¹ inspirado nas políticas implementadas nos Estados Unidos e elaborado através da colaboração entre a ANFAVEA, a CETESB, o INMETRO, o DNC (Departamento Nacional de Combustíveis), a Petrobras, o DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) e o IBAMA. Cabe ao PROCONVE analisar parâmetros de engenharia dos veículos relacionados à emissão de poluentes e definir testes para quantificar as emissões. Os métodos utilizados nesses testes são definidos em Portarias do CONAMA e efetuados em laboratórios da CETESB, que possui um convênio com o IBAMA para atuar no programa. Também cabe ao PROCONVE definir combustíveis de referência utilizados nos testes, que representam os combustíveis comerciais.

¹ As emissões de veículos ciclomotores são controladas no âmbito do Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), criado pela Resolução CONAMA n° 297/02 e atualizado pela Resolução CONAMA n° 342/03.



Atualmente, a Resolução CONAMA nº 315/02 define os limites máximos de emissões para motores Otto fabricados no Brasil, bem como os prazos para que os fabricantes coloquem os veículos no mercado. De acordo com a Resolução, cabe à ANP garantir o fornecimento de combustíveis comerciais adequados, fixando suas especificações. A Resolução CONAMA 321/2003 determina as especificações para o diesel comercial, bem como suas regiões de distribuição, em conformidade com a nova etapa do PROCONVE definida na Resolução 315/02. A Resolução define quatro tipos de diesel, cuja maior diferença são os teores de enxofre: tipo A (0,1% de S), B (0,2% de S), C (0,35% de S) e D (0,5% de S). Também é proposto um novo cronograma para a implantação do programa de melhoria do diesel. As especificações do óleo diesel comercializado no Brasil estão na Resolução ANP n.º 12/05, que inclui a especificação do Diesel S500, com 0,05% de enxofre (abaixo do exigido pela legislação atual). A regulação mais recente relacionada à gasolina automotiva comercializada no Brasil é a Resolução ANP n.º 6/05.

Verifica-se que o PROCONVE atingiu resultados significativos na redução de emissões. As emissões de veículos leves novos são em média 94% menores do que as verificadas nesses veículos no início do programa, em 1986 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005). Com relação aos veículos a diesel, os limites fixados pelo programa permitem prever que nas suas etapas finais essas emissões serão cerca de quatro vezes menores do que as emissões geradas por esses veículos quando do início do programa.

4 - REGULAÇÃO AMBIENTAL E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA REPLAN

Entre 1999 e 2002, foram investidos para a solução de problemas ambientais locais na Replan cerca de R\$ 52 milhões. Os quadros a seguir listam os principais investimentos realizados para minimizar problemas ambientais locais alvos de medidas regulatórias, identificando os valores dos investimentos, empresas fornecedoras e resultados obtidos.



Quadro 1. Investimentos em conservação dos recursos hídricos, REPLAN, 1999-2002.

Investimento	Valor (R\$)	Resultados	Origem da tecnologia
Nova subestação para ETDI.	1.716.000	Novos equipamentos elétricos, ampliação da capacidade.	Petrobras
Novo resfriador de salmoura.	192.000	Redução da temperatura da carga da ETDI.	Petrobras
Flotador para ETDI.	4.250.000	Redução da graxa e sólidos totais no efluente.	Monosep (EUA)
Ejetores nas bacias de aeração da ETDI.	990.000	Menos odores no sistema de lodo ativado do que nos aeradores de superfície.	Körting Hannover AG (Alemanha)
Interligação do canal da bacia de águas contaminadas para a bacia de aeração.	1.200.000	Evita o transbordamento da bacia de águas com óleo para o sistema de águas pluviais.	Petrobras
Adaptação de tanques de petróleo para receber efluente das dessalgadoras e posterior tratamento.	3.200.000	Estabilização da vazão e redução do óleo no efluente; desativação a bacia de águas oleosas, responsável por 90% das emissões de HCs da REPLAN.	Petrobras
Sistema de lodo ativado na ETDI.	4.800.000	Decompõe a amônia do efluente em nitrogênio gasoso.	Veolia Water Systems do Brasil
Impermeabilização da bacia secundária da ETDI com manta de polietileno de alta densidade.	580.000	Evita vazamentos para o solo e lençóis freáticos.	Petrobras
Ejetores na bacia secundária da ETDI.	753.000	Facilita o tratamento ao aumentar a aeração do efluente e reduzir sua temperatura.	Petrobras
Tratamento de água fenólica de tanques na unidade de águas ácidas.	295.000	Efluente em melhores condições para a ETDI.	Petrobras
Adequação do sistema de dosagem e preparação de barrilha e fosfato.	380.000	Melhorias na dosagem e preparação de nutrientes para os agentes de tratamento biológico, maior estabilidade no processo.	Petrobras
Unidade de desidratação de lodo na estação de tratamento de águas.	1.544.000	Permite desidratar e remover o lodo gerado no tratamento da água captada, evitando o assoreamento da ETDI e reaproveitando a água obtida.	Petrobras
Total	19.900.000		

Fonte: REPLAN

Para reduzir emissões aéreas foram investidos entre 1999 e 2002 cerca de R\$ 21 milhões. Os principais investimentos estão listados no quadro 2.



Quadro 2. Investimentos em conservação do ar, REPLAN, 1999-2002.

Investimento	Valor (R\$)	Resultados	Origem da tecnologia
Incinerador de gás amoniacal das unidades de retificação de águas ácidas.	8.500.000	Gás amoniacal, antes queimado na tocha, é convertido em nitrogênio, evitando a emissão de óxidos de nitrogênio.	John Zink (EUA)
Estação de monitoramento da qualidade do ar.	580.000	Cedida à CETESB, possibilita adquirir dados <i>on-line</i> .	Phillips Environmental Products (EUA)
Estação meteorológica.	50.000	Levanta dados meteorológicos.	AG Solve (Brasil)
Equipamentos para monitorar qualidade do ar.	170.000	Permite monitorar a concentração de partículas totais em suspensão e de partículas inaláveis.	Energética (Brasil)
Terceiro estágio de ciclones em uma das unidades de craqueamento catalítico. ²	11.500.000	Redução de 40% das emissões de particulados da unidade.	Marsulex (Canadá)
Total	20.800.000		

Fonte: REPLAN

Com relação à conservação do solo, foram aplicados cerca de R\$ 11 milhões de reais entre 1999 e 2002, em investimentos listados no quadro 3.

Quadro 3. Investimentos em conservação do solo, REPLAN, 1999-2002

Investimento	Valor (R\$)	Resultados	Origem da tecnologia
Biotratamento da borra oleosa acumulada na mina de argila (processo Terraferm)	9.964.000	Borra oleosa descartada na mina de argila, terreno altamente impermeável, para posterior disposição em aterro.	Sapotec (Brasil)
Ampliação do aterro para resíduos Classe I.	750.000	Adição de duas células para disposição de resíduos Classe I.	Petrobras
Melhorias no pátio de armazenamento temporário de resíduos.	200.000	Possibilita o armazenamento temporário de "resíduos especiais", até o desenvolvimento de alternativas aprovadas pelo órgão ambiental para reutilização, tratamento ou disposição final.	Petrobras
Recuperação do sistema de esgoto oleoso.	600.000	Recuperação e melhorias na selagem dos dutos.	Petrobras
Total	11.514.000		

Fonte: REPLAN

² A tecnologia do terceiro estágio de ciclones da unidade de craqueamento catalítico foi adotada após a assinatura de um Termo de Ajustamento de Conduta com a CETESB, em que a refinaria se comprometia a reduzir as emissões da UCC.

Dos investimentos para melhorar a qualidade do diesel e gasolina produzidos na refinaria, destaca-se a entrada em operação, em 1998, de uma unidade de hidrodessulfurização (HDS) de diesel, com capacidade de 5 mil m³ de carga por dia. Essa unidade foi construída através de um contrato do tipo EPC (*Engineering, Procurement, Construction*), a um custo de US\$ 130 milhões. Junto às unidades de geração de hidrogênio e de recuperação de enxofre, essenciais para a operação da HDS, foram investidos US\$ 200 milhões. Em 2004 foi inaugurada uma segunda unidade de HDS de diesel, a um custo de US\$ 175 milhões. As unidades de geração de hidrogênio utilizam tecnologia da Petrobrás, e produzem hidrogênio a partir da reforma catalítica a vapor de gás natural (podendo também utilizar nafta).

A tecnologia das unidades de HDS da REPLAN é de propriedade da Petrobrás, desenvolvida no CENPES, a partir do licenciamento de tecnologias do IFP (Instituto Francês do Petróleo), parte de um programa específico para o desenvolvimento de unidades de HDT adaptadas a diversos tipos de petróleo, especialmente aqueles produzidos nas bacias brasileiras. O desenvolvimento desta tecnologia envolveu testes em unidades de bancada e piloto com diversas correntes de crus 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 Petrobrás na operação de outras plantas da empresa, como hidrodessulfurização de naftas, querosene de aviação e diesel e hidrotratamento profundo de destilados médios.

A tecnologia de hidroprocessamento da Petrobrás 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, design de trocadores de calor e válvulas de pressão, reduzindo custos de capital e de manutenção. Apesar do domínio da tecnologia dos reatores e de sua operação a Petrobrás importa todos os catalisadores usados no HDT de empresas como Akzo Nobel, Criterium, Albermale e Axens. São utilizados catalisadores de Cromo-Molibdênio, com vida útil de quatro anos,



regenerados na empresa química brasileira Oxiteno, proprietária do processo de regeneração HDTR. Dentro da carteira da gasolina, está prevista a implantação na REPLAN de duas unidades de HDS com tecnologia Prime-G+ da Axens, visando produzir gasolina com 50 ppm de enxofre (0,005%).

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada permite concluir que a regulação ambiental é um fator da maior importância sobre a dinâmica inovativa no refino de petróleo. 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, melhorias incrementais e aquisição de tecnologias padronizadas. No caso e período estudados foram identificadas vinte e uma mudanças técnicas efetuadas com o objetivo de minimizar problemas locais, sendo doze desenvolvidas pela Petrobrás e nove desenvolvidas por empresas especializadas. Apesar de representar apenas 22% do total investido, a participação da Petrobras nesses investimentos é relativamente alta (especialmente na área de recursos hídricos, com 50% dos investimentos), considerando que envolve áreas de atuação que não são estão no foco de negócios da empresa. Esse desempenho se deve à experiência acumulada nessa área dentro da REPLAN e à existência de um programa tecnológico específico, o PROAMB, que atende a demandas ambientais de todos os segmentos da indústria de petróleo em que a Petrobras atua.

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, exigiu uma intensa interação entre as equipes de pesquisa do CENPES e os operadores da refinaria, uma vez que os processos e equipamentos são desenvolvidos sob medida para a REPLAN.

Entre os fatores apontados por KEMP E SOETE (1990) que facilitam o desenvolvimento e difusão de tecnologias ambientais pode-se destacar no caso da REPLAN, o controle ambiental cada vez mais intenso, com o aperfeiçoamento e aumento do rigor das regras relacionadas a impactos locais e à qualidade dos combustíveis. KEMP E SOETE (1990) também destacam o conhecimento acumulado nas empresas, fator fundamental para



o sucesso na adoção de processos de tratamento de combustíveis pela Petrobras, que possuía experiência acumulada em processos de hidrogenação. Já as respostas tecnológicas da REPLAN a pressões “verdes” identificadas podem ser enquadradas como defensivas e inovativas. As estratégias defensivas incluem melhorias incrementais, e as inovativas podem ser verificadas nas patentes de tecnologias ambientais geradas pela empresa (por exemplo, nitrificação de águas residuais) e na adaptação de processos de ponta adquiridos em contratos de licenciamento às condições operacionais das refinarias nacionais, gerando processos de propriedade da empresa, tal como o hidrotreatamento de diesel.

6 - 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.

ARAFA, H. *U.S. Petroleum Industry's Environmental Expenditures 1990-1999*. American Petroleum Institute, Washington, DC, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2004. São Paulo: Cetesb, 2005. 128 p.

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. *Environmental policy and technical change: a comparison of the technological impact of policy instruments*. Cheltenham: Edward Elgar, 1997.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. *Survey Indicators for Environmental Innovation. Paper series 8*, IDEA, 1998.

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.

NELSON, R. e WINTER, S. *An Evolutionary Theory of Economic Change.* Harvard University Press, 1982.

Visite o site da SBPE

www.sbpe.org.br