



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

PROSPECÇÃO DA INOVAÇÃO: UM ESTUDO DA DIFUSÃO DE PROCESSOS DE BIODESSULFURIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO.

Gláucia Moreira Barros¹, José Vitor Bomtempo², Fábio Barboza Passos²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Centro de Tecnologia, Bloco E, Ilha do Fundão – CEP: 21949-900, Rio de Janeiro/RJ, glabarros@bol.com.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Centro de Tecnologia, Bloco E, Ilha do Fundão – CEP: 21949-900, Rio de Janeiro/RJ, vitor@eq.uff.br

² Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Química, Rua Passo da Pátria, 156 – CEP: 24210-240, Niterói/RJ, fbpassos@engenharia.uff.br

Resumo – O trabalho explora a difusão de processos biotecnológicos de biodessulfurização na indústria de Petróleo. Com base nos indicadores propostos por Watts e Porter (1997), foi escolhido inicialmente trabalhar com o indicador do ciclo de vida da tecnologia relacionado ao perfil de P&D, onde foram utilizadas bases de dados para artigos científicos, patentes e de aplicação comercial, para avaliação da perspectiva de inovação do processo de biodessulfurização. Os resultados indicaram que o processo de dessulfurização utilizando microrganismo já existe há muitos anos, porém passou a ser explorado ainda mais no final dos anos 80 e principalmente no começo dos anos 90 com relação aos artigos científicos e principalmente com relação as patentes. As universidades publicam mais artigos científicos do que patentes com 45% do total, enquanto as empresas fazem mais depósito de patente em relação as outras organizações com 73%, como já esperado. Entretanto a empresa com o maior índice de depósito em patente é Enchira Biotechnology. Com base nos indicadores levantados, conclui-se a biodessulfurização ainda se encontra na fase inicial do seu ciclo de vida.

Palavras-Chave: biodessulfurização; petróleo; prospecção; inovação;

Abstract – This work investigates the diffusion of biotechnological processes for desulfurization of petroleum fractions (biodesulfurization). Based on the indicators proposed by Watts and Potter (1997), the technological life cycle indicator for R&D was evaluated using the scientific articles, patents and commercial application databases. The results indicated the microorganism based desulfurization process is known for quite a long time, but it was explored only in the end of 80's and mainly in the beginning of the 90's, in terms of publication of scientific papers and patents. As previously expected, the universities publish more scientific papers with 45% of the total of articles, while the companies are responsible for 73% of the patents deposited. However, one company (Enchira Biotechnology) concentrates the majority of patents deposited. The analysis of the indicators investigated points out the biodesulfurization is in its initial life cycle.

Keywords: biodesulfurization, petroleum, innovation.

1. Introdução

A existência de uma base de conhecimento, refletida em patentes, artigos científicos e esforços de desenvolvimento, mesmo que justifique a viabilidade técnica e econômica do produto ou processo, não garante a concretização de uma inovação e sua difusão pelo mercado. Justifica-se assim a necessidade de um trabalho de prospecção da inovação incluindo dimensões que considerem a posição no ciclo de vida da tecnologia, o contexto de receptividade da inovação e perspectivas de mercado e da cadeia de valor do produto.

O objetivo deste trabalho é propor indicadores que permitam avaliar as perspectivas de concretização de uma inovação, tomando como ponto de partida o método proposto por Watts e Porter, 1997. O trabalho explora em particular alguns indicadores de posição no ciclo de vida da tecnologia que refletem a evolução do perfil de P&D.

Desenvolve-se como aplicação a análise da difusão de processos biotecnológicos na indústria do petróleo, estudando-se a dinâmica de desenvolvimento e difusão da biodessulfurização. Há uma preocupação crescente com a presença de compostos de enxofre no petróleo. Isso afeta a qualidade do produto e provoca problemas ambientais. A remoção do enxofre através de processos biotecnológicos surge como uma nova opção tecnológica para a produção de combustíveis que atendam os padrões ambientais atuais e futuros. A biodessulfurização é um processo que utiliza microrganismos para remover o enxofre ligado covalentemente às matrizes orgânicas, sem afetar os hidrocarbonetos aromáticos presentes no petróleo. Isso se faz com menor utilização de energia que os processos convencionais de remoção de enxofre.

Este trabalho avalia as perspectivas da biodessulfurização como inovação por meio de indicadores que permitem mapear a evolução da publicação de artigos científicos, patentes e artigos de interesse comercial. Assim, são propostos indicadores que procuram avaliar a evolução do conhecimento no assunto, os principais atores envolvidos e a natureza de suas participações, com o objetivo de mapear as perspectivas da biodessulfurização como inovação.

A seção 2 apresenta uma breve introdução sobre o processo de biodessulfurização. Na seção 3 são anunciadas as bases teóricas consideradas para prospecção da inovação. A metodologia utilizada é apresentada na seção 4. Segue-se a avaliação dos resultados. Finalmente, a conclusão encontra-se na seção 6.

2. Biodessulfurização

Tendo em conta a utilização crescente dos combustíveis fósseis, devido principalmente às necessidades dos países industrializados, a emissão de enxofre para atmosfera constitui, assim, um dos problemas ambientais da atualidade. Este problema poderá agravar-se ainda mais se não forem tomadas as devidas precauções, tendo em vista a diminuição das reservas em combustíveis fósseis com baixo teor de enxofre (Konishi, 1997)

O hidrotreatamento é a tecnologia convencional por remover enxofre de combustíveis. Na hidrodessulfurização (HDS), as frações de petróleo são submetidas a elevadas temperaturas e pressão, na presença de um catalisador inorgânico e hidrogênio. Moléculas de enxofre orgânico são convertidas a gás sulfídrico, que é processado para produzir enxofre elementar mais adiante. Os processo HDS tornam-se crescentemente caros e menos eficientes, principalmente se a remoção deve atingir níveis mais baixos de enxofre (Oil & Gas Journal, 1999b).

A biodessulfurização (BDS) é um processo baseado em bactérias aeróbicas que podem remover naturalmente enxofre orgânico, presente em heterociclos, com degradação mínima do valor da matriz de hidrocarbonetos do combustível. Enzimas da bactéria oxidam seletivamente o enxofre, separando a união carbono-enxofre. Os processos BDS operam a temperatura ambiente e pressão atmosférica e assim requerem substancialmente menos energia que os processos convencionais, apresentando potencialmente custos mais baixos (Oil & Gas Journal, 1999b).

Os processos HDS constituem o projeto predominante nas refinarias, e utilizam catalisadores químicos sob condições extremas. Assim, pode-se partir da premissa de que é desejável avaliar outras alternativas de tratamento para o enxofre que tornem o processo menos custoso e/ou ambientalmente aceitável.

3. Bases para Prospecção da Inovação.

A prospecção da inovação tem como ambição avaliar em que medida uma possível inovação pode vir a se concretizar comercialmente. Desde Schumpeter, ficou claro que a concretização de uma inovação exige um conjunto complexo de iniciativas e realizações que permitem ultrapassar o mero estágio da invenção. Assim, torna-se importante identificar e analisar o processo de construção do conhecimento, a evolução do patenteamento e finalmente as iniciativas de aplicação comercial.

O processo de mudança tecnológica é resultado do esforço das empresas em investir em atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e na incorporação posterior de seus resultados em novos produtos, processos e formas organizacionais. Quando uma empresa produz um bem ou um serviço ou usa um método ou insumo que é novo para ela, está realizando uma mudança tecnológica. Sua ação é denominada inovação (Hasenclever e Ferreira, 2002).

Watts e Porter (1997) usam três indicadores para prospecção da inovação. O primeiro é o indicador do ciclo de vida da tecnologia que determina como, ao longo da sua trajetória, avançou o desenvolvimento da tecnologia, sua taxa de crescimento e as condições de dependência da tecnologia. O segundo indicador trata do contexto de receptividade da inovação, incluindo as dimensões econômicas e não econômicas ligadas ao desenvolvimento da tecnologia estudada. O

terceiro indicador avalia as perspectivas de mercado e da cadeia de valor do produto. O presente trabalho explora apenas os indicadores de ciclo de vida da tecnologia.

Segundo Watts e Porter, o ciclo de vida da tecnologia pode ser avaliado tentando situar a tecnologia em uma curva típica de ciclo de vida. A medida mais simples para delinear esta curva é contar o número de referências sobre a tecnologia em várias bases de dados que enfatizem os diferentes estágios do perfil de P&D. As bases de dados a serem explorados dependerão da disponibilidade e da natureza da tecnologia alvo.

4. Metodologia

No indicador do ciclo de vida da tecnologia, foram exploradas três bases de dados utilizadas na busca para análise do perfil de P&D. A primeira, com relação à pesquisa pura, utilizando a base científica ISI Web of Science no período compreendido de 1945 a 2001; a segunda sobre patentes, utilizando a base US Patent & Trademark Office (USPTO) no período de 1790 a 2001. A terceira base, para avaliar o perfil de aplicação comercial, utilizando a base de dados Chemical Business News no período 1985 a 2001. Nas três bases utilizadas o campo de busca foi restrito apenas a palavras-chave.

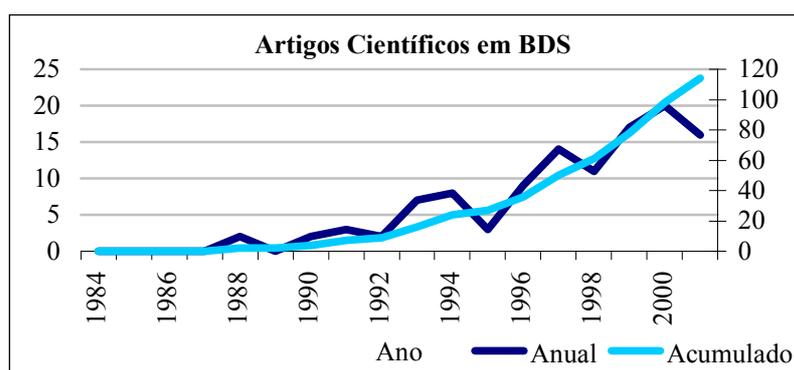
O passo seguinte foi verificar a citação dos documentos; buscar as organizações que estão contribuindo para inovação; verificar os segmentos da pesquisa; traçar o perfil da trajetória da inovação através dos principais atores no assunto.

Na pesquisa realizada para este trabalho utilizou-se apenas a palavra chave *biodesulfurization*. Esta palavra difundiu-se a partir dos anos 1980 para designar os processos de remoção de enxofre por meio de microorganismos. Na presente etapa do trabalho, a pesquisa está delimitada pelo uso da palavra *biodesulfurization*. Outras palavras-chave testadas como *desulfurization* e *sulfur removal* produziram um número excessivo de resultados, em grande parte sem relação com o tema da pesquisa. Um refinamento da busca deve ser realizado nas próximas etapas da pesquisa.

5. Resultados e Discussão

5.1. Artigos Científicos

A figura 1 relaciona o número de artigos encontrados no base de dados ISI Web of Science, que é considerada como base de referência para artigos científicos nas diversas áreas do conhecimento (Watts and Porter, 1997). Foram encontrados 120 artigos sobre o assunto. Feitas exclusões de certos artigos por não conterem informações suficientes, restaram para serem analisados 114 artigos, publicados de 1988 a 2001, no entanto esse número é relativamente pequeno devido ao uso limitado da palavra chave. Como a palavra chave biodesulfurização é relativamente nova é possível que existam publicações sobre o tema que não foram detectadas na busca, por ainda não adotarem a palavra chave utilizada. As publicações sobre o processo de biodesulfurização começam a ocorrer no final dos anos 80, com crescimento significativo até o ano de 2001. Comparando-se o número de artigos no final do período, em 2001, com o início dos anos 1990 pode-se verificar uma taxa média de crescimento anual, bastante expressiva, de cerca de 20%.



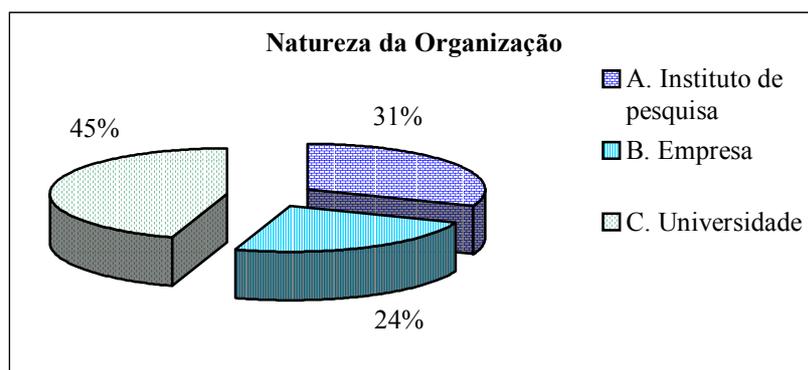
Fonte: Web of Science

Figura 1. Evolução do número de artigos científicos sobre biodesulfurização.

Na figura 2 apresenta-se o perfil das instituições que publicaram artigos científicos durante o período estudado, num total de 154 organizações. Como já esperado, as universidades lideraram o desenvolvimento das pesquisas de natureza científica com 45% dos artigos publicados. Os institutos de pesquisas foram responsáveis por 31% dos artigos, enquanto as empresas apresentaram 24% do total.

A empresa que mais publicou foi a Enchira Biotechnology, anteriormente Energy BioSystems Corp, com participação em 10 artigos que representa 9% de participação no total de artigos publicados e 27% em relação ao número de artigos publicados pelas empresas. Trata-se de uma empresa de base tecnológica criada para explorar aplicações

industriais de biotecnologia, portanto sem participações no mercado de petróleo. Deve ser ressaltado que foi pouco expressiva a publicação de artigos científicos pelas empresas de petróleo.



Fonte: Web of Science

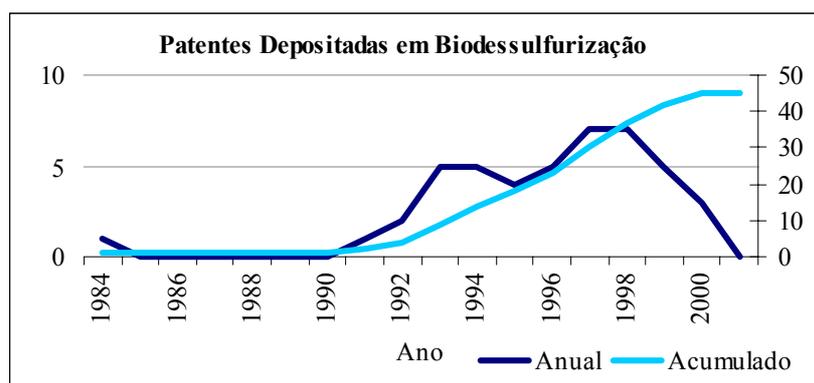
Figura 2. Distribuição da natureza da organização responsável pelos artigos científicos sobre biodessulfurização entre 1988 e 2001.

5.2. Patentes Depositadas.

A figura 3 apresenta a evolução do número de patentes depositadas sobre a biodessulfurização no período estudado. O total acumulado de patentes foi de 45, no período de 1984 a 2001, porém esse número é relativamente pequeno devido a palavra chave limitar a busca. Além do que, a patente não é a única forma de apropriação para o processo na indústria, existindo outras formas como segredo e etc.

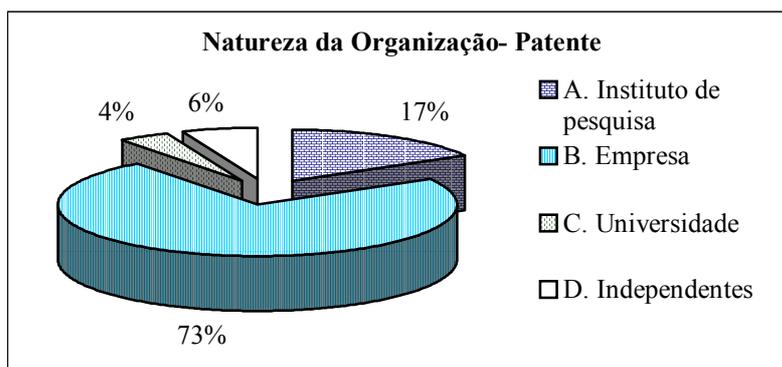
Apesar de a primeira patente ter sido depositada em 1984, apenas nos anos 90 é que se observa um número maior de patentes sobre o assunto, em especial nos anos de 1993, 1994, 1997 e 1998. A partir de 1999 houve uma forte queda no número de patentes depositadas. As empresas aparecem em primeiro lugar com 73% dos depósitos em patentes, os institutos de pesquisa com 17%, os independentes aparecem em terceiro com 6% e as universidades aparecem com 4% (figura 4). Entre as empresas, deve ser sublinhado o predomínio quase absoluto da Enchira Biotechnology que concentra 83% das patentes das empresas. A participação das grandes empresas de petróleo no patenteamento é, portanto, pouco expressiva.

Pode-se observar que a evolução do patenteamento contrasta de forma interessante com a evolução da publicação de artigos científicos. Enquanto o interesse científico pelo tema, refletido no número de artigos publicados, parece crescer de forma sustentada, a busca à obtenção de proteção de patentes mostra sinais de esgotamento nos últimos três anos. A simples observação do número de artigos e de patentes é certamente insuficiente para concluir sobre os rumos da pesquisa em biodessulfurização. Uma análise do conteúdo dos artigos e patentes, que não é feita neste trabalho, poderia traçar elementos adicionais para avaliar as tendências da pesquisa básica e do patenteamento.



Fonte: USPTO

Figura 3: Evolução dos números de patentes depositadas em biodessulfurização.



Fonte:USPTO

Figura 4: Distribuição da natureza da organização responsável pela patente sobre biodessulfurização entre 1984 e 2001.

5.3. Indicadores de Aplicação Comercial

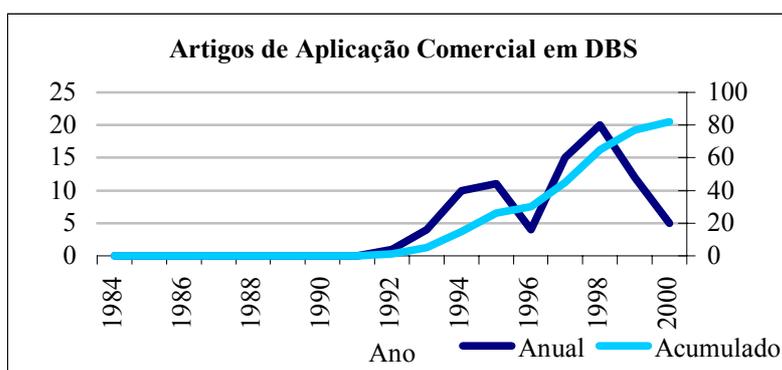
O terceiro grupo de indicadores sugeridos por Watts e Porter para avaliar a posição da inovação no ciclo de vida da tecnologia do perfil de P&D é o de aplicação comercial.

Na busca realizada na base de dados Chemical Business News, observou-se, no período de 1991 a 2000, a presença dominante das iniciativas da Enchira Biotechnology com vistas à difusão comercial da BDS. Concentrando-se nas referências à Enchira, pode-se observar pela figura 6 que a empresa foi particularmente ativa no período de 1993 a 1998 na busca de aplicações comerciais. Foi anunciado projeto para construção de planta piloto, a da Petro Star empresa americana de petróleo localizada no Alaska. Entretanto, é notável a dramática queda do número de referências comerciais à Enchira a partir de 1998, sugerindo dificuldades na difusão da tecnologia.

Este resultado não seria esperado se a tendência de difusão dos processos de BDS tivesse se consolidado. Na seção seguinte, apresenta-se uma breve evolução sobre a trajetória da Enchira Biotechnology.

No que se refere às empresas de petróleo, apesar das indicações limitadas obtidas nas bases consultadas, foi possível detectar algumas iniciativas, com frequência envolvendo a participação de organismos como o DOE (Departament of Energy). Isso sugere que os processos de BDS ainda se encontram numa fase pré-comercial.

Devem ser mencionadas as referências que têm sido feitas ao sistema de remoção de enxofre de gás natural, utilizando bactérias, desenvolvida pela Shell International Oil Products e Paques Bio Systems BV. As empresas anunciaram que o processo seria economicamente viável e que sua ampliação para escala comercial não deveria apresentar dificuldades (Oil & Gas Journal, 1999a).



Fonte: Chemical Business News

Figura 6. Evolução do processo de biodessulfurização desenvolvido pela Enchira Biotechnology.

5.4. Avaliação da Trajetória da Enchira Biotechnology

A Enchira Biotechnology (antiga Energy BioSystems Corp) é uma empresa de pesquisa na área biotecnológica, criada em 1989, que se especializou em processo biocatalíticos como o processo de biodessulfurização, tendo em vista aplicações na indústria de petróleo. A avaliação da trajetória dessa empresa é interessante para verificar a evolução do processo de biodessulfurização e identificar sua possível aplicação comercial.

Como evidenciado nas seções anteriores, esta empresa destacou-se nos anos 90 na publicação de artigos científicos e principalmente no depósito de patentes em biodessulfurização. Na base de patentes no USPTO, a posição da Enchira é de bastante destaque em relação às demais instituições, reunindo 83% das patentes atribuídas a empresas que, no

seu conjunto são responsáveis por 73% do total de patentes. Isso quer dizer que cerca de 60% de todas as patentes depositadas no USPTO sobre biodessulfurização pertencem à Enchira.

Em consequência dessa posição, a empresa adquiriu durante os anos 90 conhecimento acumulado para passar à fase comercial de exploração do processo de biodessulfurização.

Em 1992, a Enchira Biotechnology uniu-se à Petrolite Corp para desenvolver e comercializar um processo biotecnológico que seria capaz de reduzir o nível de enxofre no processo de refino sem alterar os hidrocarbonetos componentes. Em 1995, foi anunciado um investimento para construir uma planta piloto na Petrolite, em St Louis. E posteriormente, em 1998, a Enchira Biotechnology licenciou para a pequena empresa de petróleo Petro Star a utilização de sua tecnologia de biodessulfurização (DBS). No mesmo ano, a empresa recebeu um financiamento do Department of Energy (DOE) dos EUA que equivalia a 79% do total do custo do projeto de biodessulfurização. Em 2000, a empresa trocou de nome de Energy BioSystems para Enchira Biotechnology, e modificou o seu foco de atuação.

A Enchira Biotechnology concentrou todos os seus esforços no desenvolvimento de uma tecnologia de biodessulfurização durante 10 anos. Estes esforços permitiram à empresa acumular conhecimentos importantes na área de engenharia genética, já que a empresa explorou por muito tempo obtenção de microrganismos capazes de remover enxofre em condições ótimas. Atualmente está concentrando seus esforços em processos de recombinação de DNA in-vitro para acelerar o desenvolvimento de proteínas para área farmacêutica, agrícola e para outras aplicações comerciais (Enchira, 2000). A mudança de foco da Enchira Biotechnology indica as dificuldades da empresa para efetivamente implementar uma unidade industrial de biodessulfurização.

6. Conclusões

O trabalho explorou os indicadores do ciclo de vida da tecnologia para se fazer uma prospecção da difusão do processo de biodessulfurização. Os resultados obtidos entretanto devem ser tomados dentro dos limites da metodologia utilizada, em especial o uso apenas da palavra chave *biodesulfurization*. Esses resultados são portanto iniciais e devem ser refinados nas etapas seguintes da pesquisa. Apesar disso, podem ser identificados alguns elementos interessantes para a compreensão do processo de inovação em estudo.

O processo de dessulfurização utilizando microrganismos começou a ser explorado para remoção de enxofre em petróleo no final dos anos 80 e principalmente no começo dos anos 90, como demonstra a evolução de artigos científicos e principalmente de patentes. Entretanto, a partir de 1999 começa a decrescer o número de patentes depositadas.

O perfil de P&D em relação às patentes, como esperado, se concentra nas empresas. Entretanto, as patentes estão fortemente concentradas, cerca de 60%, numa única empresa, a Enchira

Apesar dos esforços empreendidos pela Enchira na comercialização do processo, os resultados obtidos, até agora, parecem limitados. A própria empresa, ao reduzir o fluxo de geração de patentes e, logo depois, modificar o seu foco de atuação, parece indicar a existência de dificuldades na difusão comercial da tecnologia.

A presença das grandes empresas de petróleo nas bases utilizadas foi muito pequena. Apesar de alguns registros de desenvolvimento na área, esses esforços encontram-se aparentemente em estágio pré-comercial e não se refletiram em artigos publicados e nem mesmo em patentes depositadas.

A conclusão final sugere, com base nos indicadores levantados, que a biodessulfurização ainda se encontra na fase inicial do seu ciclo de vida. Cabe examinar, em seguida, as razões que têm dificultado a difusão da inovação e as perspectivas de remoção ou não dessas dificuldades.

7. Agradecimentos

Ao CENPES/Petrobrás pela bolsa de mestrado concedida para realização deste trabalho.

8. Referências Bibliográficas

- FERREIRA, P. M. e HASENCLEVER, L. *Estrutura de mercado e inovação*. In Economia Industrial, Kupfer D e Hasenclever L,org, Campus, Rio de Janeiro, p. 129-147, 2002.
- KONISHI, J.; ISHII, Y.; ONAKA, T.; OKUMURA, K.; SUZUKI, M. Thermophilic carbon-sulfur-bond-targeted biodesulfurization. Appl. Environ Microbiol, 63:3163-3169, 1997.
- OIL & GAS JOURNAL, *Shell unveils gás biodesulfurização process: Oil & Gas Journal*, v. 97, nº 41, p.32, October1999a.
- OIL & GAS JOURNAL, *Enzyme-based diesel desulfurization process offers energy, CO2 advantages*, Fev. de 22, 1999b.
- WATTS, R., PORTER A., *Innovation Forecasting, Technological Forecasting and Social Change*, 56, 25-47, 1997.
- EBC (ENERGY BIOSYSTEMS CORPORATION). *Annual Report 2000 ited States and Exchange Comission Report Forma 10 - K*. 2001. Disponível na [URL:http://www.sec.gov](http://www.sec.gov). Arquivo consultado em 01 de dezembro de 2002.