

Cenários tecnológicos para a indústria de petróleo

Luis Fernando de Oliveira Gutman

Divisão de Planejamento e Administração Tecnológica
do Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES)

Resumo

Faz-se uma reflexão sobre as vantagens e desvantagens da metodologia de cenários na elaboração do planejamento tecnológico da indústria de petróleo. A técnica consiste basicamente em observar o ambiente externo, em suas várias dimensões — política, econômica, social e tecnológica — e interpretar as relações de interdependência existentes entre as diversas variáveis que as constituem e os atores que nelas interferem.

Palavras-chave:

- cenários
- indústria de petróleo
- planejamento tecnológico
- previsão

INTRODUÇÃO

Neste trabalho discute-se a utilização da técnica de cenários como subsídio ao estabelecimento de estratégias e prioridades de desenvolvimento tecnológico, tendo como referência o caso da indústria de petróleo.

A discussão do tema baseia-se na análise de experiências concretas desenvolvidas pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás, trabalhando em conjunto com o Serviço de Planejamento (SERPLAN) na elaboração do Plano Estratégico da Petrobrás.

Apresenta-se inicialmente caracterização da atividade de elaboração de cenários tecnológicos, explicitando sua interação com outras dimensões em que está inserida a indústria de petróleo: política, econômica, social etc. A seguir, dentro da seqüência da metodologia, descrevemos as técnicas necessárias à construção dos cenários alternativos — análise estrutural, análise morfológica e de impactos cruzados —, apresentando então o caso da indústria de petróleo como referência para sua melhor compreensão.

Nas conclusões do trabalho são apontados os benefícios e algumas dificuldades da utilização desses instrumentos analíticos e enfatizadas a importância da compreensão da interação entre os fenômenos que ocorrem nas várias dimensões da indústria de petróleo, bem como a necessidade de utilização de técnicas prospectivas, objetivando melhorar a capacidade de planejamento da tecnologia.

Para discutir-se importância e forma de utilização de cenários no planejamento tecnológico na indústria de petróleo, torna-se necessário conceituar alguns aspectos da técnica de cenários.

CENÁRIOS

A antecipação do futuro é necessidade humana e prática corrente de qualquer pessoa, grupo ou organização, como forma de orientar ações e comportamentos.

A atividade de planejamento, como processo de auxílio à tomada de decisões frente ao futuro, deve aceitar a existência de incertezas, programando-se da melhor forma possível para as situações que nos preparam o amanhã. Na verdade, não se trata apenas de exercício especulativo, mas de atividade que serve para planejar a ação e construir o futuro através de análise da prática dos atores sociais interessados, sejam eles indivíduos, grupos, organizações ou países.

Ao contrário, portanto, de concepções determinísticas — o futuro já está definido, faltando apenas condições adequadas de interpretação de livros e oráculos ou de leis históricas —, a premissa básica

dos estudos de cenários é de que o futuro é incerto, indeterminado, tendo a humanidade diante de si múltiplas alternativas; a história é resultado da ação dos homens organizados que têm projetos, vontades, conflitos e certa visão do provável futuro.

Até o início da década de 70, a metodologia básica das previsões utilizava métodos extrapolativos, fundamentando-se na hipótese de poder o futuro ser antevisto mediante a análise do passado. Esses métodos têm as seguintes características principais:

- o comportamento de determinada variável é obtido extrapolando-se uma série histórica de seu passado;
- somente são consideradas as variáveis ou fenômenos passíveis de quantificação;
- o valor futuro de uma determinada variável é único e certo, admitindo-se pequena faixa de variação;
- os interesses e a influência dos vários atores não são considerados na construção das previsões.

As previsões, segundo essa abordagem clássica, deram resultados, pelo menos até o início dos anos 70, com razoável margem de acerto, fato explicável pelas condições de relativa estabilidade dos condicionantes políticos e econômicos daquele período.

A partir dos choques do petróleo (1973 e 1979), ocorreram várias descontinuidades, tanto a nível político como sócio-econômico ou tecnológico, alterando de forma dramática o comportamento das variáveis descritoras do futuro.

Surgiu, então, a necessidade de se adotar metodologia alternativa que possuísse suficiente flexibilidade para lidar com a incerteza inerente ao processo de desenvolvimento econômico, social e tecnológico. A técnica de cenários tem sido utilizada como essa alternativa para minimizar as deficiências da abordagem tradicional (extrapolativa), podendo ser assim definida: **cenário** é a descrição de futuros possíveis para um determinado sistema e do caminho ou trajetória que os conectam com a situação inicial deste sistema.

Como principais características da técnica de cenários podem ser citadas:

- adoção de visão indicativa da interdependência entre os fatores econômicos, políticos, sociais, tecnológicos, energéticos e ecológicos, interagindo entre si de modo a explicar a evolução das variáveis que definem o sistema em estudo;
- ênfase nas variáveis qualitativas, quantificáveis ou não;
- concepção das relações entre variáveis e atores como estruturas dinâmicas, que comportam mudanças qualitativas ao longo do horizonte de projeção;
- concepção do futuro como resultante do jogo de interesses entre pessoas, grupos, organizações, países ou classes sociais, que são capazes de influenciar o seu próprio destino;

- inclusão da incerteza na análise da natureza dos fenômenos considerados.

O propósito principal de um cenário não é, portanto, o de prever o futuro, mas sim identificar as incertezas, explorando diferentes rumos que determinada situação pode tomar. O caso específico dos cenários tecnológicos, objeto deste trabalho, será discutido a seguir.

Cenários tecnológicos

Descrição da evolução das variáveis tecnológicas, elaborada a partir de cenários econômicos, políticos e sociais, visando a identificar necessidades e oportunidades tecnológicas

Para a construção de cenários da evolução da tecnologia em determinado segmento, deve-se partir dos cenários sócio-econômicos e políticos. Estes, constituem a mediação do processo de propagação de conhecimentos e de tecnologias entre regiões e/ou organizações. O planejamento tecnológico é, além disso, parte do projeto de planejamento estratégico da empresa, com o qual deve ser integrado; na etapa de cenários, o objetivo é explicitar as ameaças e oportunidades do ambiente externo; posteriormente, através de análise das tendências tecnológicas do país e do avanço dos conhecimentos científicos, determinar as ações estratégicas e operacionais para enfrentar ameaças e aproveitar oportunidades.

Metodologia

O método descrito compreende basicamente cinco etapas, propondo seqüência de trabalho iniciada por estudo retrospectivo, seguido de análise estrutural, estudo dos condicionantes do futuro, desenvolvimento de cenários e escolha do mais provável.

Estudo retrospectivo

Tem como finalidade a compreensão da história do sistema, descrevendo os principais fatores de sua dinâmica. Nessa etapa, identificam-se também os atores determinantes da evolução passada, evitando-se privilegiar demasiadamente a situação atual, cujo conhecimento pode estar viesado por aspectos conjunturais.

Análise estrutural

Objetiva compreender as relações de interdependência entre as variáveis descritoras do sistema em estudo e os atores que podem influenciar sua evolu-

ção futura. A busca das variáveis mais relevantes — e suas relações de causação e dependência — é feita através da elaboração de matriz variáveis x variáveis; a influência dos atores sobre as variáveis é evidenciada através de cruzamento apresentado em matriz atores x variáveis.

A análise estrutural compreende três fases:

Caracterização do sistema

Por listagem exaustiva das variáveis consideradas relevantes para o sistema, assim como identificação dos atores, ou seja, organizações, grupos, indivíduos ou agentes econômicos que intervêm nas variáveis consideradas.

Estabelecimento de relações entre as variáveis

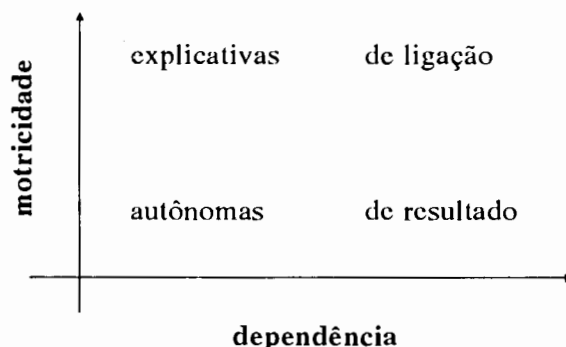
Analisadas com o apoio de matriz, na qual são dispostas em linhas e colunas. Preenchem-se as células da matriz (com 1 ou 0) através da consideração da existência ou não de relação de causação.

Após o preenchimento da matriz, somam-se os cruzamentos na **linha** da variável considerada, obtendo-se indicador da sua motricidade (número de vezes em que a variável influencia no sistema). Do mesmo modo, procede-se à soma da **coluna**, determinando-se indicador da sua dependência (número de vezes que a variável é influenciada por outras).

Essa classificação, e a hierarquização pela motricidade, considera apenas as relações **diretas**, não levando em conta as relações indiretas que se escondem na dinâmica do sistema.

A classificação indireta, que considera todas as relações entre as variáveis, é feita através de algoritmo de potenciação matricial (Godet, 1977), buscando-se convergência, definida pela manutenção da hierarquia das variáveis em termos de sua motricidade.

Podem-se, então, classificar as variáveis num plano cartesiano motricidade-dependência, categorizando-as conforme a figura abaixo:



Estabelecimento de relações entre os atores

Um segundo cruzamento importante é o das variáveis x atores, evidenciando-se através de uma matriz que atores exercem influência sobre quais variáveis.

Analisa-se, neste caso, o grau de potência de cada ator, indicado pela quantidade de variáveis sobre as quais ele exerce influência significativa.

Nesta etapa, descrevem-se também as estratégias dos atores frente às dificuldades a serem enfrentadas e os meios para suplantá-las.

Estudo dos condicionantes do futuro

Com base nos estudos retrospectivos e nas discussões da análise estrutural selecionam-se, nesta etapa, alguns elementos definidores do futuro, classificados da seguinte forma:

- **tensões:** situações resultantes de conflitos entre atores;
- **estrangulamentos:** desequilíbrios estruturais do sistema, indicando impossibilidades ou impasses;
- **invariantes:** fenômenos ou situações que se mantêm constantes até o horizonte explorado pelos cenários;
- **tendências de peso:** movimento previsível de uma variável ou ator num horizonte de longo prazo.

A finalidade desta etapa é selecionar os fenômenos-chave na determinação do futuro, os quais, em conjunto com as possíveis evoluções das variáveis relevantes e as conseqüências das estratégias dos atores, servirão para desenvolver as alternativas de cenários para o sistema.

Desenvolvimento de cenários

Esta etapa visa à construção dos cenários alternativos para o futuro do sistema considerado.

A técnica de investigação morfológica é muito útil para a geração das configurações possíveis, possibilitando o estudo de todas as combinações em termos dos diferentes estados que as variáveis do sistema podem assumir.

A hipótese básica subjacente a essa técnica é que determinado objeto pode ser dissecado em variáveis fundamentais explicativas, obtendo-se estados (quantitativos ou qualitativos) possíveis de serem assumidos pelo objeto. Com a combinação dos estados obtém-se, para o objeto, todas as formas possíveis.

Cada uma dessas formas define um cenário alternativo possível (plausível ou não) para o sistema estudado.

Escolha do cenário mais provável

A técnica dos impactos cruzados, utilizada nesta etapa, serve para analisar a plausibilidade dos diferentes cenários descritos na etapa anterior. A partir de consultas a especialistas, estimam-se probabilidades de ocorrência de combinações de estados das variáveis; através da consolidação das respostas, obtêm-se combinações possíveis ou impossíveis de trajetórias, assim como hierarquização probabilística dos diversos cenários (Godet, 1977).

A estrutura da matriz de impactos cruzados fornece as seguintes probabilidades:

$p(1)$	=	probabilidade de ocorrer o evento 1
$p(2)$	=	probabilidade de ocorrer o evento 2
$p(3), p(4), \dots$	=	probabilidade de ocorrer os eventos 3,4,...
$p(1/2)$	=	probabilidade de ocorrer o evento 1 tendo ocorrido o 2
$p(1/n2)$	=	probabilidade de ocorrer o evento 1 não tendo ocorrido o 2
$p(1/3), p(1/4), p(1/5), \dots, p(6/4), p(6/5)$	=	probabilidades condicionais

O cenário mais provável pode então ser considerado aquele de referência para a definição das estratégias a serem seguidas como, também, para a escolha das ações a serem tomadas ao nível operacional de modo a viabilizar o alcance dos objetivos da empresa. Um cenário normativo (desejado) pode também ser considerado para referência, caso a empresa se perceba como ator capaz de influenciar na probabilidade de ocorrência de futuros alternativos.

O caso do desenvolvimento tecnológico da indústria de petróleo será considerado, de maneira a ilustrar a aplicação dessa metodologia.

ESTUDO DE CASO: CENÁRIOS TECNOLÓGICOS PARA A INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

Não é preocupação nossa, neste trabalho, discutir o conteúdo dos cenários tecnológicos da Petrobrás, mas tão somente ilustrar a metodologia; os dados apresentados não esgotam o tema, servindo apenas para demonstrar dificuldades e benefícios da técnica.

Estudo retrospectivo (resumo)

O desenvolvimento tecnológico exerce papel fundamental na indústria de petróleo, considerando-se os desafios crescentes a serem enfrentados, tanto nas atividades *upstream* como nas *downstream*.

Antes do primeiro choque do petróleo (1973), o setor energético não tinha grande relevância nas políticas econômicas nacionais, já que a energia (pe-

tróleo, basicamente) era abundante e barata. Não havia também forte preocupação relacionada a inovações tecnológicas. Mesmo assim, algumas das tecnologias hoje utilizadas foram desenvolvidas naquele período, tais como: sísmica digital, perfuração no mar, cimentação, produção *offshore*, plataformas submersíveis etc.

No setor de refino as empresas já dominavam os processos de destilação e craqueamento, mas tinham suas condições operacionais e tipos de catalisador voltados apenas à produção de gasolina.

Até o início da década de 70, pode-se dizer que a universidade estava à frente da indústria de petróleo no que diz respeito a inovações tecnológicas, fato comprovado pelo grande impulso de desenvolvimento tecnológico logo após a crise de 1973, o que só foi possível graças à oferta reprimida de conhecimentos provenientes dos centros universitários.

Após os dois choques (1973 e 1979), ocorreram aumentos expressivos da atividade de exploração. As aplicações da sismoestratigrafia (1980) e da sísmica 3D (1985) são alguns dos *breakthroughs* nessa área. Muitos especialistas apontam a sísmica 3D como a tecnologia mais importante surgida nos últimos dez anos nas atividades *upstream* do setor petróleo.

A contribuição da tecnologia para melhorar a eficiência e a produtividade das operações de perfuração é evidente. Importante evolução envolveu a técnica MWD (*measurement while drilling*), dando grande impulso ao desenvolvimento da tecnologia de perfuração de poços horizontais. Apenas em 1990 mais de mil poços horizontais foram perfurados, estimando-se em torno de dois mil para o ano de 1991 (Moore, 1990).

As tecnologias submarinas estão se desenvolvendo rapidamente, à medida que a indústria de petróleo se dirige para águas mais profundas. Veículos de Operação Remota (ROV), por exemplo, apesar de já introduzidos em 1975, só tiveram sua utilização aumentada devido ao incremento das atividades exploratórias em águas profundas.

Em síntese, os desafios que a indústria de petróleo teve que vencer na área *upstream* para aumentar as reservas existentes foram:

- necessidade de aumentar o fator de sucesso de poços exploratórios;
- redução de custos de perfuração;
- aumento dos fatores de recuperação de petróleo;
- redução de custos de operações *offshore*.

Na área *downstream*, após os choques do petróleo, as tecnologias de conversão de cortes mais pesados tiveram grande impulso, assim como as tecnologias de tratamento de derivados, objetivando especificá-los com respeito a legislações ambientais mais exigentes. Nos últimos três a quatro anos, por

exemplo, 60% das patentes são da área de hidrorrefino, principalmente visando à redução do teor de aromáticos, exigência ligada à proteção ambiental.

Análise estrutural

Lista de variáveis (simplificada)

- pressões ecológicas
- política industrial
- preços de energéticos alternativos
- monopólio estatal do petróleo
- conflitos internacionais com repercussões no setor petróleo
- dívida externa
- preço internacional do petróleo
- estratégia das companhias internacionais de petróleo
- formação de blocos econômicos
- transformações nos PECPs

Lista de atores (simplificada)

- alta administração da Petrobrás
- comunidade técnica da Petrobrás
- sindicatos e associações de empregados
- governo do Brasil
- órgãos financiadores internacionais
- entidades da sociedade civil
- companhias internacionais de petróleo
- OPEP
- comunidade científica
- organizações ambientalistas
- governo dos EUA
- Congresso Nacional
- militares

Matriz variáveis x variáveis (parcialmente preenchida)

		SOBRE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DE	1			1							
	2										
	3										
	4			1							
	5							1			
	6				1						
	7										
	8										
	9									1	
	10										1

O algoritmo matricial levou à seguinte hierarquização de variáveis, em termos de sua motricidade, ou seja, a capacidade de influenciar no comportamento das outras variáveis do sistema: pressões ecológicas (1) ... preço internacional do petróleo (7) ... estratégias das companhias internacionais de petróleo (8) ... preços relativos de energéticos alternativos (3) ... formação de blocos econômicos (9) ... evolução de conflitos com repercussões na indústria de petróleo (5).

Matriz variáveis x atores (parcialmente preenchida)

		SOBRE										Variáveis									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atores	DE 1																				
	2																				
	3				1																
	4																				
	5		1				1														
	6																				
	7								1	1											
	8								1												
	9																				
	10	1									1										
	11																				
	12		1		1		1														
	13				1																

De acordo com os pesos da matriz acima, os atores considerados mais potentes, isto é, com maior grau de influência sobre as variáveis, são: companhias internacionais de petróleo (7) ... governo dos EUA (11) ... organizações ambientalistas (10) ... OPEP (8) ... Congresso Nacional (12).

Estudo dos condicionantes do futuro

- **Tensões:** ingerência do governo nas atividades da empresa; pressões para privatização.
- **Estrangulamentos:** escassez de recursos financeiros; pouca flexibilidade do parque de refino.
- **Invariantes:** monopólio estatal do petróleo; urbanização do país (êxodo rural).
- **Tendências de peso:** maior participação do gás natural; pressões ambientalistas.

Desenvolvimento dos cenários

Os estados que cada uma das variáveis mais relevantes (definidas na etapa de análise estrutural) pode assumir são apresentados a seguir:

Variável	Estado A	Estado B
Ecologia (1)	constante	crecente
Preço petróleo (7)	crece pouco	crece muito
Companhias internacionais (8)	desenvolvimento	sobrevivência
Preço alternativo (3)	aumenta	diminui
Blocos (9)	proteccionismo	sem proteccionismo
Conflitos (5)	poucos	muitos

Há, portanto, 64 (2x2x2x2x2x2x2) combinações possíveis entre os diversos estados. Algumas dessas combinações podem ser descartadas por terem certo grau de incoerência como, por exemplo:

- preço de petróleo cresce muito e preços relativos de energéticos alternativos aumenta;
- preço de petróleo se mantém constante e ocorrem muitos conflitos com repercussões na indústria de petróleo;
- preço de petróleo se mantém constante, aumentam os preços relativos dos alternativos e as companhias internacionais diversificam suas atividades.

Na próxima etapa esse número de cenários possíveis é reduzido para valor plausível de ser analisado (três ou quatro cenários).

Escolha do cenário mais provável

Alguns valores da matriz de impactos cruzados são apresentados a seguir (por questões de confidencialidade os valores da matriz são hipotéticos):

p (1A)	=	0.30
p (7A/5A)	=	0.10
p (8A/7A)	=	0.10
p (9A/3A)	=	0.60

O algoritmo que calcula a probabilidade de ocorrência de cada cenário poderia dar como resultado, para os três primeiros, a seguinte hierarquização:

Cenário	Probabilidade de Ocorrência
1B.7B.8A.3B.9A.5A	0.20
1B.7A.8B.3B.9A.5A	0.18
1A.7A.8B.3A.9A.5A	0.11

O cenário mais provável, que seria considerado como o de referência, tem as seguintes características:

- pressões ecológicas crescentes;

- preço do petróleo crescendo muito;
- diversificação das companhias internacionais de petróleo;
- diminuição dos preços relativos dos alternativos;
- protecionismo nos blocos econômicos;
- poucos conflitos com repercussão na indústria de petróleo.

Lembramos que esse cenário é hipotético, não correspondendo àquele considerado pela Petrobrás para a elaboração de seu plano estratégico.

O planejamento tecnológico baseado no cenário de referência descrito poderia ter, entre outras, as seguintes diretrizes:

- desenvolver tecnologias para acelerar a exploração de petróleo, de modo a aumentar as reservas e diminuir a dependência externa;
- desenvolver tecnologias de proteção ao meio ambiente;
- fazer pesquisas para utilização de energéticos alternativos;
- incentivar a evolução tecnológica dos motores, de forma a minimizar as emissões veiculares;
- capacitar-se em processos de hidrorrefino;
- incentivar cooperação tecnológica com países fora dos blocos econômicos, tais como Venezuela, México, Argentina, Argélia.

CONCLUSÕES

As dificuldades encontradas na elaboração dos cenários são a seguir relacionadas:

- no estudo retrospectivo há muita dificuldade em evitar-se o viés da situação atual, privilegiando-se aspectos conjunturais;
- o preenchimento da matriz variáveis x variáveis é processo bastante longo, o que pode trazer certa ansiedade aos participantes; estima-se o período de 40 horas para a elaboração de uma matriz de di-

mensões 20 x 20. Esta estimativa baseia-se em grupo de seis a oito pessoas;

- a técnica de impactos cruzados pressupõe um conhecimento profundo das relações entre as diversas variáveis, acarretando uma necessidade de consulta a muitos especialistas, trazendo problemas na consolidação dos valores das probabilidades. Esta etapa ainda não foi aplicada na Petrobrás devido as dificuldades mencionadas; no exemplo acima fizemos uma simulação.

Os benefícios, no entanto, compensam essas dificuldades, conforme pode ser constatado:

- a grande vantagem da análise estrutural é a consideração dos efeitos indiretos entre as variáveis, muitas vezes difíceis de serem considerados numa primeira análise;
- a técnica de investigação morfológica permite **descobrir** combinações de estados de variáveis que poderiam passar despercebidas;
- no processo de preenchimento das matrizes da análise estrutural, a troca de informações e opiniões resulta em importante homogeneização de conceitos e difusão de conhecimentos sobre o ambiente em que está inserida a empresa;
- a técnica de cenários tem grande importância em circunstâncias de poucos dados históricos e onde a cultura dos gerentes é voltada para aspectos de curto prazo; essas características, típicas de organizações de países do Terceiro Mundo, tornam ainda mais necessária a utilização de metodologia participativa e transparente, como a de cenários.

Finalmente, cabe ratificar a importância de observar o ambiente externo ao da indústria de petróleo em suas várias dimensões — política, econômica, social e tecnológica. A compreensão da interação dos fenômenos que ocorrem nessas dimensões é o cerne da técnica de elaboração de cenários tecnológicos.

In this paper we discuss the advantages and disadvantages of the scenarios methodology as a tool in making technological planning for petroleum industry. The technique consists mainly in looking at the external environment, in its different dimensions — political, economical, social, technological — and analyzing the relationships among the several variables and actors involved with their evolution.

Uniterms:

- scenarios
- petroleum industry
- technological planning
- forecasting

Referências Bibliográficas

DAGNINO, R. Planejamento estratégico do desenvolvimento tecnológico e a prospectiva. ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE PROSPECTIVA E ESTRATÉGIA. *Anais*. São Paulo: 1989.

GODET, Michel. *Crise de la prévision, essor de la prospective*. Presses Universitaires de France, 1977.

_____. A Integração prospectiva e estratégia. ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE PROSPECTIVA E ESTRATÉGIA. *Anais*. São Paulo: 1989.

JOHNSON, Bruce. Cenários para o planejamento tecnológico. XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE PESQUISA DE ADMINISTRAÇÃO EM C&T. *Anais*. São Paulo: 1988.

MOORE, Steven. Technology for the coming decade. *Petroleum Engineer*, Jan. 1990.

PETROBRÁS - Departamento Industrial. Metodologia de planejamento estratégico e construção de cenários. *Memória da Produção dos Participantes*. 1990.

PORTO, Cláudio; SOUZA,

Nelmar & BUARQUE, Sergio. *Construção de cenários e prospecção de futuros*. 1989.

SILVEIRA, José Paulo. Cenários tecnológicos futuros da indústria de petróleo latino-americana. II CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDROCARBONETOS. *Anais*. 1989.

VAN RENSBURG, W.C.J. & MALIK, Krishan. *Tracking changes in oil exploration and development technology and their economic implications*. 1988.

Recebido em outubro/91