

Clima

Antes do pré-sal: emissões de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás no Brasil¹

*THIAGO DE ARAÚJO MENDES
e SAULO RODRIGUES FILHO*

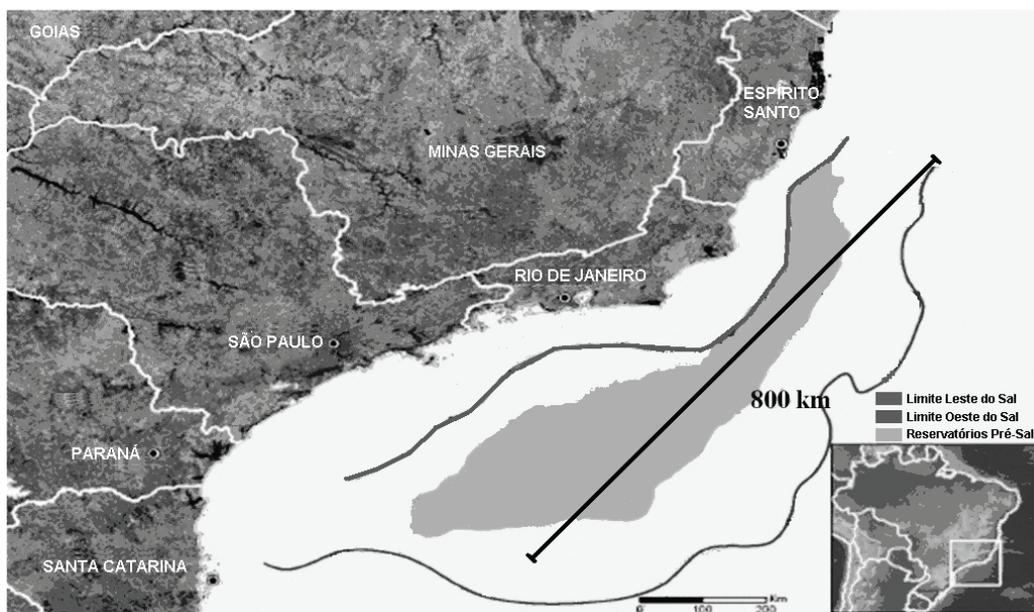
Introdução

DENTRE as diversas interações entre desenvolvimento e meio ambiente, o binômio mudança do clima e energia é uma das questões mais desafiadoras da atualidade, tanto para a ciência quanto para a política. A problemática do aquecimento global possui natureza diferente de qualquer outro problema político, seja por sua dimensão de futuro, seja por sua escala (Giddens, 2009). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC, 1990, 1995, 2001a, 2007a), as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) oriundas do uso de combustíveis fósseis compõem a principal fonte das causas antrópicas que contribuem para o aquecimento global. As soluções de mitigação da mudança climática passarão pela redução sistemática das emissões de GEE originadas pela produção e uso dos combustíveis fósseis e pela ampliação do uso de energia renovável para geração de uma economia de baixo carbono (Stern, 2006; De Gouvello, 2010).

É importante ressaltar que a matriz energética brasileira e suas emissões de GEE são muito singulares quando comparadas àquela de outros países da comunidade internacional, e especialmente quando comparadas às grandes economias do continente pan-americano. Diferentemente dos países da América do Norte (tais como México e Estados Unidos), o Brasil possui uma dependência relativamente reduzida no uso de fontes fósseis de energia. De acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2009), em 2008, 31,4% da energia nacional possuíam como fonte a biomassa (basicamente produtos de cana de açúcar, madeira e carvão vegetal) e 13,4% foram originados de fontes hídricas (hidroeletricidade). Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol e as fontes de energia renovável representam cerca de 45% da matriz energética nacional. Petróleo e seus derivados correspondem a cerca de 36,7% do total da matriz energética, 10,3% são originários de gás natural e o carvão mineral correspondeu a 6,2% da matriz (53,2% são baseados em fontes fósseis), enquanto a matriz ener-

gética global possui dependência de cerca de 82% de fontes fósseis (IEA, 2009). De acordo com a segunda comunicação nacional do Brasil, a Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Brasil, 2010), em 2005 as emissões nacionais de GEE alcançaram cerca de 2.192 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes (tCO_{2e}). O setor de mudança do uso da terra e florestas correspondeu a cerca de 61% das emissões de CO₂ nacionais, em 2005, enquanto o setor de energia correspondeu a cerca de 15% desse total (Brasil, 2010).

Em razão, contudo, das descobertas dos campos de petróleo do pré-sal e das recentes reduções das emissões oriundas da mudança do uso do solo na Amazônia brasileira, dúvidas são levantadas se essa proporção será alterada significativamente e tornar-se-á no médio prazo mais similar aos padrões das economias de países desenvolvidos. A Figura 1 ilustra a área onde se localizam os reservatórios do pré-sal (cinza menos intenso). A província petrolífera que contém a região do pré-sal tem a extensão de cerca de 149 mil km², que se inicia no litoral do Espírito Santo e vai até o litoral de Santa Catarina, com de cerca de 800 km de comprimento e trechos de 200 km de largura (Lima, 2010; Azevedo, 2009; Lima, 2008). Segundo Azevedo (2009), cerca de 28% da área da província já passaram por processo de concessão, 41,7 mil km².



Fonte: Elaborado a partir de Nepomuceno (2008).

Figura 1 – Ilustração da área dos reservatórios do pré-sal.

Segundo Berman (2008), os três campos supergigantes (acima de 500 milhões de barris equivalentes de petróleo) identificados na região (Tupi, Júpiter e Carioca/Pão de Açúcar) adicionariam cerca de 49 bilhões de barris equivalentes de petróleo às reservas brasileiras. Comparativamente, a Agência Nacional do

Petróleo e dos Biocombustíveis (ANP) divulgou em 2006 que o Brasil possuía cerca de 11 bilhões de barris em reservas provadas. Caso tais reservas sejam confirmadas, o país saltaria do 15º lugar na lista dos países com maiores reservas provadas do globo (CIA, 2012) e entraria de maneira consistente para o grupo dos dez países com maior volume de reservas provadas do mundo, à frente de importantes produtores, como Líbia, Nigéria, Qatar e Estados Unidos.

Apesar de a capacidade técnica de exploração de petróleo em águas profundas ser dominada por várias empresas do setor, é inegável o desafio do Estado brasileiro, por intermédio da Petrobras, em acessar tais reservas a mais de 4.500 metros de profundidade em ambiente oceânico. Os “desafios que se colocam para esse empreendimento [...] podem vir a assumir papel de catalisação da ciência, tecnologia e inovação brasileiras similar em alguns sentidos ao que o programa Apollo – que teve por objetivo levar o ser humano até a Lua – desempenhou nos Estados Unidos” (Becker et al., 2010, p. 50). O investimento necessário para sua exploração seria da ordem de US\$ 400 bilhões de dólares, que deveriam ser aplicados até 2020 (ibidem, p.48-9). Esse investimento trará grandes implicações para as condições socioeconômicas do Brasil (Lima, 2008) e, certamente, atrairá atenção internacional sobre os impactos dessas atividades na matriz energética brasileira e sobre o padrão de emissões de GEE.

O gerenciamento e a mitigação das emissões de GEE oriundas da expansão da produção petróleo e gás natural no Brasil, especialmente das reservas do pré-sal, em razão de sua escala, podem ser considerados uma das questões mais desafiadoras para o debate sobre o desenvolvimento sustentável brasileiro entre governo, setor privado, instituições científicas e sociedade civil. A construção de uma base científica sobre o assunto é relevante para auxiliar na tomada de decisões atuais e futuras sobre políticas de gerenciamento das emissões e mitigação nesse contexto.

Este artigo busca contribuir para os debates sobre a análise de sustentabilidade do setor de petróleo e gás no Brasil, tendo como objetivo identificar a dinâmica histórica das emissões fugitivas de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás natural no Brasil, entre os anos de 1990 e 2008. A justificativa desse recorte limitado é de sistematizar dados científicos do setor de petróleo e gás no Brasil antes do processo de exploração, produção e refino dos hidrocarbonetos localizados abaixo da camada pré-sal da plataforma continental oceânica do Brasil. Tal sistematização poderá servir de base para avaliações futuras dos impactos das emissões de GEE do pré-sal, assim como para definir opções de mitigação desse setor no Brasil.

A análise das emissões fugitivas de gases de efeito estufa foi construída a partir da verificação de diversos indicadores de energia e do contexto socioeconômico do setor por meio do exame de dados bibliográficos secundários, incluindo publicações de bases de dados elaboradas por instituições governamentais e setoriais. Entre os materiais consultados citam-se, em especial, as séries

históricas do balanço energético nacional, de dados da Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis e dos relatórios de referência utilizados na elaboração dos inventários nacionais de gases de efeito estufa.

Assim, pelo escopo metodológico adotado, este artigo não visa esclarecer questões relativas à diferenciação dos modelos de exploração e produção em seus contextos terrestres e oceânicos (exploração *off-shore*). É notório que a produção brasileira é significativamente superior em ambiente *off-shore* (cerca de 89% do total nacional das atividades de E&P ocorrem em ambiente marinho). Da mesma maneira, não foi o foco deste artigo analisar as emissões relativas ao uso dos produtos originários da produção de petróleo e gás em outros setores (exemplo, uso de derivados no setor de transporte), assim como avaliar a tendência dos indicadores de sustentabilidade e de emissões fugitivas de GEE do setor de petróleo e gás para os próximos anos. Porém, ao avaliar historicamente os indicadores (recorte deste artigo), construiu-se uma base interessante para estudos prospectivos das futuras atividades da região do pré-sal.

Período e escopo de análise, fatores e métricas aplicadas

Vale assinalar que o período analisado – 1990 a 2008 – compreende o primeiro ano de monitoramento oficial de emissões gases de efeito estufa pelo governo brasileiro (1990), até o ano anterior ao efetivo início dos processos de prospecção de exploração dos recursos do pré-sal. O escopo de análise adotado delimita as emissões fugitivas somente referentes àquelas vinculadas aos três principais gases de efeito estufa controlados pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (CQNUMC): CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano) e N₂O (óxido nitroso). Os dados das emissões de GEE das etapas de exploração e produção (E&P), refino e transporte de petróleo e gás no Brasil foram identificados e analisados. Os dados sobre as emissões fugitivas totais aplicam as atuais regras acordadas pela Convenção de Mudança de Clima, adotando a abordagem dos potenciais de aquecimento global (*global warming potential*, sigla em inglês de GWPs).

Por conseguinte, as razões a seguir foram utilizadas para que os dados das emissões fugitivas totais pudessem ser agregados sobre a métrica do dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Para emissões de N₂O aplicou-se o valor de 310; para o CH₄ aplicou-se 21; e para CO₂, o valor de 01 foi adotado. A metodologia que gerou os dados sobre as emissões segue os parâmetros e as prescrições de cálculos de emissões estabelecidos em “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (Guidelines 1996), e o “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (Good Practice Guidance 2000)” (Brasil, 2010, p.10). Exemplos do recorte de emissões fugitivas adotado, utilizando métodos similares para o setor, estão disponíveis em publicações especializadas, desde o início da década de 1990, em inventários de emissões detalhados (Picard et al.,1992; UK Offshore Operators Association, 1993; US EPA, 1993; OLF, 1993).

Ressalta-se que o conceito de *emissões fugitivas* ligadas a combustíveis utilizado neste artigo é aquele adotado pelo IPCC, que indica que essas são liberações intencionais ou não intencionais de gases oriundos de atividades antrópicas. Em particular, elas podem surgir da produção, processamento, transmissão, estocagem e uso de combustíveis, e incluem as emissões de combustão apenas onde estas não apoiam uma atividade produtiva (exemplo, combustão de gás natural em instalações de produção de petróleo) (IPCC, 1996, p.1.6)

Mais especificamente, em termos das emissões fugitivas associadas ao setor de petróleo e gás, o IPCC (1996), tais emissões podem ser oriundas de transtornos e contratemplos em qualquer ponto da cadeia produtiva, fugas e equipamentos de exaustão (não combustão). Nota-se, ainda, que emissões de combustão são incluídas quando consideradas como uma atividade não produtiva. Emissões fugitivas de exploração de petróleo, produção de óleo cru, produção, processamento, coleta e separação dos sistemas de gás natural, refino do óleo, estocagem, distribuição dos derivados, transporte e transmissão, carga e descarga do óleo para os petroleiros, emissões oriundas dos gasodutos e do transporte local do metano, compressores e manutenção das instalações, assim como, ventilação, liberação e/ou combustão de gases de excesso são consideradas como emissões fugitivas desse setor (IPCC, 1996, p.1.7) e serão tratadas e grupadas neste artigo em três grandes trechos da cadeia produtiva: *exploração e produção, transporte e refino*.

Da mesma forma, a escolha do recorte de análise em emissões fugitivas do setor de petróleo e gás (excluiu-se desta análise o uso de combustíveis no Brasil) segue trato coerente para comparar grandezas e evitar distorções de análise futuras sobre a base de dados utilizada. Segundo MME & EPE (2010), em razão da potencial disponibilidade futura, estima-se que em 2019 o consumo nacional diário seja a metade da produção esperada para o setor, que é de cerca de 5,1 milhões de barris de petróleo por dia.

A análise das relações entre o consumo e a produção totais de energia do setor de petróleo e gás adotará a métrica da tonelada equivalente de petróleo (tep) como unidade comparativa de energia. As análises relativas dos indicadores supracitados com o Produto Interno Bruto (PIB) e faturamento do setor são convertidos sob a cotação média anual de 2007 do dólar norte-americano em relação ao real brasileiro.

Análise dos indicadores do setor de petróleo e gás no Brasil

A análise da produção primária de energia por fontes no Brasil mostra que o petróleo e o gás respondem conjuntamente por cerca de 48% da produção primária de energia nacional em 2008. A Tabela 1 demonstra que, entre 1990 e 2008, a oferta interna de petróleo, derivados e gás no Brasil praticamente dobrou, saltando de cerca de 62 milhões de tep para 118 milhões de tep. Observa-se no período estudado uma redução consistente da importação do setor (Petróleo, Gás Natural e Derivados), representando uma queda de cerca de 9,5

milhões de tep de 1990 a 2008, enquanto ocorreu um aumento da produção interna em mais de três vezes, saltando de 30,5 milhões de tep em 1990, para 96,3 milhões em 2008. Por conseguinte, viu-se um acréscimo de cerca de 230% das exportações do setor (de 4 milhões de tep em 1990, para 13,3 milhões de tep em 2008) e mesmo com o consumo nacional mais que dobrando no período (de 51 milhões de tep em 1990, para 95 milhões de tep em 2008) a chamada autosuficiência (percentual do consumo nacional agregado de derivados de petróleo e gás natural atendido por produção interna) foi registrada a partir de 2005.

Tabela 1 – Evolução da oferta interna, importação, produção interna, exportação, consumo interno e percentual do consumo nacional atendido pela produção interna do setor de petróleo e gás no Brasil

Ano	Oferta Interna (Petróleo, Gás Natural e Derivados) 10 ³ tep	Total de Importação do setor (Petróleo, Gás Natural e Derivados) 10 ³ tep	Total produção interna de Petróleo, Gás Natural e Derivados (Setor Nacional) 10 ³ tep	Total de Exportação do setor (Petróleo, Gás Natural e Derivados) 10 ³ tep	Consumo Nacional Interno Agregado (Derivados de Petróleo e Gás Natural) 10 ³ tep	Percentual do Consumo Nacional agregado (Derivados de Petróleo e Gás Natural) atendido por produção interna
1990	62.085	31.510	30.575	4.075	51.014	59,93%
1991	62.252	30.767	31.485	3.788	51.799	60,78%
1992	64.201	31.827	32.374	4.070	53.283	60,76%
1993	66.632	35.711	30.921	3.383	55.637	55,58%
1994	70.387	34.948	35.439	2.737	58.162	60,93%
1995	76.210	33.958	42.252	1.359	63.151	66,91%
1996	81.796	38.958	42.838	724	68.714	62,34%
1997	87.228	41.124	46.104	2.328	73.353	62,85%
1998	91.263	40.982	50.281	5.042	75.608	66,50%
1999	93.229	36.455	56.774	5.232	75.811	74,89%
2000	96.999	33.716	63.283	6.849	77.835	81,30%
2001	100.523	32.553	67.970	9.352	79.421	85,58%
2002	100.176	23.469	76.707	10.044	80.695	95,06%
2003	96.580	18.141	78.439	11.008	79.233	99,00%
2004	102.708	26.434	76.274	12.082	82.624	92,31%
2005	105.079	19.301	85.779	11.108	84.390	101,65%
2006	107.261	17.760	89.500	13.223	86.331	103,67%
2007	111.438	19.603	91.834	11.790	91.084	100,82%
2008	118.344	22.031	96.313	13.297	95.184	101,19%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados brutos disponibilizado pela EPE (2009).

Ressalta-se que os dados da tabela levam em consideração a condição energética agregada, ou melhor, foram somadas as quantidades de toneladas equivalentes de petróleo para cada energético. Por causa da disponibilidade de etanol no mercado de combustíveis brasileiros e a natureza do petróleo produzido internamente (petróleo pesado), o processo de refino nacional possui excedente de produção de gasolina de baixa octanagem e óleo bruto de petróleo, e carência de produção de diesel e gás natural, dentre outros derivados. Dessa forma, as relações de exportação e importação são gerenciadas para atender as demandas específicas de consumo de cada um dos derivados de petróleo e gás demandados pelo mercado brasileiro. Assim, a autossuficiência identificada em termos de agregados energéticos não é identificada em termos de balança comercial do setor (relação financeira entre exportação e importação), pois os produtos exportados (exemplo, óleo bruto de petróleo) possuem valor agregado mais baixo que os importados (exemplo, diesel).

O Produto Interno Bruto (PIB) nacional do setor energético durante o mesmo período analisado (1990 a 2008), entretanto, também identificou incremento significativo, saltando de cerca de 45 bilhões para cerca de 85 bilhões de dólares norte-americanos. Esse crescimento significativo do PIB ocorre especialmente a partir da virada do milênio, após um movimento de queda durante quase toda a década de 1990. Outro dado importante a ser analisado é sobre a relação de oferta interna de petróleo e derivados em relação ao PIB. Identificava-se, em 1990, a relação de 0,067 tep/ 1000 US\$ de PIB. Ao avaliar a série histórica para o período, essa relação alcança o patamar mais alto em 1998 (0,081 tep/ 1000 US\$ de PIB) e sinaliza um movimento contínuo de queda, alcançando, em 2008, os níveis mais baixos (0,059 tep/ 1000 US\$ de PIB).

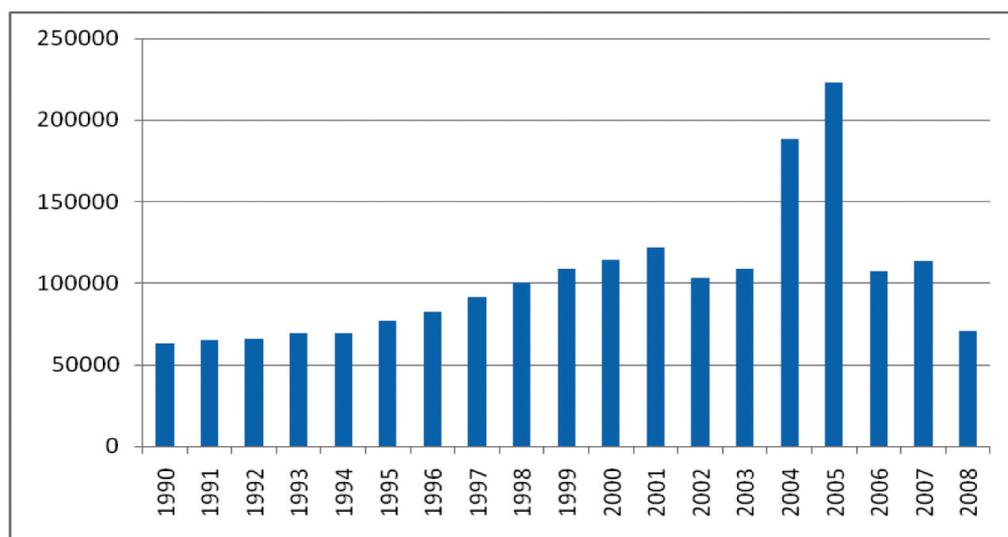
Em termos de organização produtiva, pode-se afirmar que o setor de petróleo e gás tem um perfil de produção oligopolista. Entretanto, o transporte e a distribuição podem ser considerados, comparativamente, mais descentralizados. Na área de petróleo, a Petrobras tem papel cativo e isolado em algumas partes da cadeia, porém atuam também no Brasil gigantes internacionais (exemplo, Chevron-Texaco e Shell), assim como empresas nacionais, como a OGX. O setor de gás conta com a participação de empresas estatais, além da Petrobras (exemplo, Gasmig, em Minas Gerais), propiciando uma distribuição regional um pouco mais descentralizada que aquela identificada na área de petróleo. Além disso, o setor de gás possui ampla rede de varejo para a distribuição para uso doméstico.

Em termos de postos de trabalho gerados, segundo a Petrobras (2008), a empresa contava com cerca de 67 mil funcionários. Segundo a Onip (2000), o setor contava, em 2000, com cerca de 95 mil empregos diretos, enquanto a Federação Única dos Petroleiros (FUP, 2010) sinaliza ter em 2010 mais de 150 mil filiados. A partir do cruzamento de dados (FUP, 2010; EPE, 2009; Brasil, 2010), é possível inferir que existe uma relação de cerca de 1,3 ocupação fun-

cional por mil toneladas equivalentes de petróleo,² considerando a produção primária de petróleo e gás em 2008 em cerca de 115 milhões de tep.

Quando são analisadas as emissões de gases de efeito estufa, as atividades de E&P geravam cerca de 2,5 milhões de toneladas de CO₂ em 1990 e saltaram para mais de 7 milhões de t CO_{2e}, em 2008. Essa elevação nas emissões de GEE representa um aumento de cerca de 191%, em 2008, em relação a 1990. Tais cifras superam a elevação da produção total interna de petróleo, gás natural e derivados, que no mesmo período subiu cerca de 215% (de 30,5 milhões de tep em 1990 para 96,3 milhões em 2008).

A fase de transporte do petróleo e do gás natural produzidos no Brasil apresenta cifras bastante diferentes. Apesar de a produção interna de gás natural, petróleo e derivados ter praticamente mais que triplicado ao longo do período estudado (1990-2008), as emissões fugitivas de GEE subiram apenas 11%. O Gráfico 1 apresenta a trajetória das emissões nessa parte da cadeia, entre 1990 e 2008. Apesar do crescimento expressivo ocorrido até 2005, um processo de melhoria e “eficientização” no transporte foi implementado, reduzindo efetivamente as emissões fugitivas no setor, como pode ser identificado no Gráfico 1.



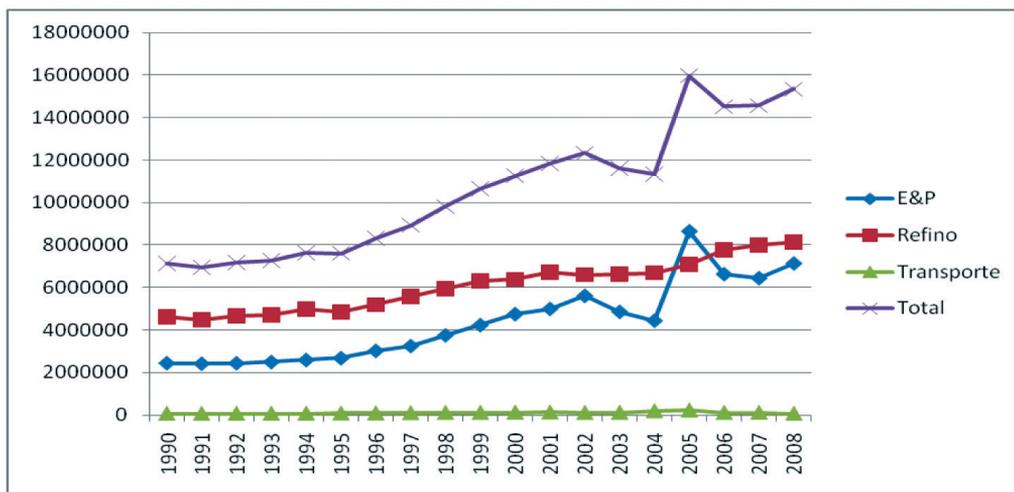
Fonte: Elaborado pelos autores a partir da base de dados do MCT (Brasil, 2010).

Gráfico 1 – Evolução das emissões de gases de efeito estufa fugitivas (tCO_{2e}) relativas às atividades de transporte de Petróleo e Gás no Brasil de 1990-2008.

A fase de refino é o trecho da cadeia produtiva que atualmente gera as maiores emissões fugitivas de gases de efeito estufa. O volume de petróleo refinado no Brasil cresceu consideravelmente ao longo do período estudado – 53%³ (EPE, 2009). Apesar disso, identifica-se que as emissões fugitivas de GEE desse trecho da cadeia produtiva subiram acima desse patamar, apresentando um incremento de 76% em relação ao ano de 1990 (Brasil, 2010). Da mesma forma, a

partir do cruzamento de dados (EPE, 2009; Brasil, 2010), é possível identificar a ocorrência de um incremento de cerca de 15% nas emissões fugitivas de GEE por unidade de petróleo refinado (tCO_{2e}/tep).

Enfim, considerando de maneira consolidada as emissões fugitivas de GEE do setor de petróleo e gás no Brasil, elas correspondem a cerca de 15,3 milhões de tCO_{2e} (Brasil, 2010), representando cerca de 0,7% da emissões totais brasileiras em 2005 (Brasil, 2010). O Gráfico 2 apresenta que apesar do pico de emissões fugitivas de GEE do trecho de E&P em 2005, a fase de refino ainda é a de maiores emissões de GEE absolutas do setor.



Fonte: Construído a partir da base de dados do MCT (Brasil, 2010).

Gráfico 2 – Evolução das emissões fugitivas de gases de efeito estufa totais do setor de petróleo e gás (tCO_{2e}) no Brasil (1990-2008).

A Tabela 2 permite comparar a evolução das emissões de GEE com a produção interna brasileira de petróleo, derivados e gás natural. Ao serem consideradas as emissões fugitivas das três fases do processo produtivo, identifica-se que houve uma redução na relação kg de CO_{2e} por tep primário produzido ao longo do período estudado, apesar de as emissões absolutas terem praticamente dobrado de 1990 a 2008. Enquanto em 2008 essa relação foi de cerca de 159 kg de CO_{2e} /tep produzido internamente, em 1990 essa cifra era de cerca de 233 kg de CO_{2e} /tep produzido internamente. Quando essa razão é analisada em termos percentuais, identifica-se uma redução de cerca de 32% na intensidade de emissões fugitivas de 1990 a 2008 por tep produzido internamente.

Em termos absolutos, houve o aumento das emissões fugitivas do setor em cerca de 115%, saltando de 7,1 milhões de toneladas de CO_{2e} em 1990 para cerca de 15,3 milhões de toneladas de CO_{2e} em 2008. Porém, a dimensão desse aumento é inferior ao movimento de crescimento da produção total interna de petróleo, derivados e gás natural que saltou em 215% de 1990 a 2008, crescendo de 30,5 milhões de tep em 1990 para cerca de 96,3 milhões de tep em 2008.

Tabela 2 – Evolução da produção interna, emissões fugitivas totais e relação kg CO₂e/tep nacional do setor de petróleo e gás no Brasil

Ano	Total Produção interna de Petróleo, Gás Natural e Derivados	Emissões fugitivas de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O (kgCO ₂ e)	Relação kg CO ₂ e/tep nacional
1990	30.575.136	7.122.440.000	233
1991	31.484.794	6.958.415.000	221
1992	32.373.999	7.168.211.000	221
1993	30.921.236	7.275.446.000	235
1994	35.439.143	7.635.008.000	215
1995	42.251.632	7.610.497.000	180
1996	42.838.494	8.310.170.000	194
1997	46.104.389	8.934.197.000	194
1998	50.281.174	9.807.697.000	195
1999	56.774.229	10.662.656.000	188
2000	63.282.503	11.258.870.000	178
2001	67.970.457	11.841.084.000	174
2002	76.707.161	12.318.300.000	161
2003	78.438.957	11.600.217.000	148
2004	76.273.864	11.327.324.000	149
2005	85.778.541	15.971.665.000	186
2006	89.500.312	14.518.478.000	162
2007	91.834.184	14.558.387.000	159
2008	96.313.328	15.340.046.000	159

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados brutos disponibilizado pela EPE (2009) e Brasil (2010).

Considerações finais

O consumo, a produção e a oferta de energia, assim como as emissões de GEE podem ser considerados indicadores relevantes para a análise do desenvolvimento sustentável. Os resultados encontrados demonstram uma dinâmica de crescimento das emissões fugitivas do setor de petróleo e gás natural no Brasil de cerca de 115% de 1990 em relação as emissões anuais de 2008. Em termos absolutos, esse incremento das emissões fugitivas anuais do setor foi da ordem de 8,2 milhões de toneladas de CO_{2e} quando comparados os anos de 1990 e 2008. Apesar de esse incremento ser relevante em si, essas emissões ainda são relativamente pequenas, quando comparadas às emissões totais do país, inferior a 0,073% das emissões de gases de efeito estufa nacionais em 2005.

Os resultados obtidos deixam, entretanto, evidências de que antes do pré-sal já existiam emissões fugitivas relevantes do setor de petróleo e gás no Brasil, e que o ritmo de crescimento dessas foi acelerado em termos absolutos (115%) durante o período estudado. Interpreta-se, ainda, que apesar de o horizonte temporal de análise ser relativamente curto para fins de análise estatística (18 anos), houve evolução positiva no período, em termos de redução relativa das emissões fugitivas totais de GEE no setor por unidade de produção interna. Assim, identificou-se uma redução de 233 kg de CO_{2e} /tep ofertada em 1990 para 159 kg de CO_{2e} /tep ofertada em 2008. Essa interpretação indica que apesar de o ritmo de crescimento relativo das emissões fugitivas absolutas ter ocorrido de maneira bem menos acelerada que a produção interna de petróleo, derivados e gás natural, é inegável que os resultados esclarecem que existe uma relação crescente entre a expansão das atividades de exploração e produção e o incremento das emissões absolutas de gases de efeito estufa do setor.

Há, portanto, ainda, necessidade de reflexão de processos, políticas e mecanismos que impulsionariam o setor para inovar tecnologicamente com o intuito de lidar com o desafio de reduzir de forma absoluta suas emissões fugitivas de GEE. Nesse sentido, sinaliza-se para a importância de realização de novos estudos prospectivos sobre indicadores de emprego, consumo de energia, assim como a realização de análises de ciclo de vida de emissões de GEE das atividades de E&P, refino e transporte dos hidrocarbonetos retirados do pré-sal para auxiliar no desenho de políticas públicas e no desenvolvimento de tecnologias preventivas. Tais reflexões poderiam auxiliar no desenho de medidas para reduzir o impacto socioambiental do setor de petróleo e gás, contribuindo para a efetivação da agenda de desenvolvimento sustentável no Brasil.

Notas

- 1 Os autores agradecem as observações críticas realizadas pelo Sr. José Domingos Gonzalez Miguez durante a elaboração deste artigo.
- 2 Aplicou-se o dado da FUB (2010), pois considera-se que esse é conservador para representar o setor, uma vez que não foram identificados com precisão dados ocupacionais do setor de distribuição interno a cadeia produtiva.
- 3 Em 1990, o Brasil refinou 60.709.096 tep, enquanto em 2008 foram refinados 92.968.857 tep.

Referências

- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. *Anuário Estatístico da Indústria do Petróleo 1990-1999*. Rio de Janeiro: A Agência, 2000.
- _____. *Anuário Estatístico 2006*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2006.asp>. Acesso em: 21 jun. 2007.
- AUSTIN, D. et al. *History of the offshore oil and gas industry in southern Louisiana*. Interim report; Volume I: Papers on the evolving offshore industry. U.S. Dept. of the

- Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS 2004.
- AZEVEDO, R. L. M. O Pré-sal: oportunidades para o Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE. Estância de São Pedro, 17 de outubro de 2009.
- BRASIL – Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). Emissões Fugitivas do Setor de Petróleo e Gás Natural. Relatórios de referência - *versão para consulta pública*. Segundo inventário nacional de gases de efeito estufa (GEE). Brasília: MCT, 2010.
- BRASIL. *Primeira Comunicação Nacional a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças climáticas*. Brasília: MRE/MCT/MMA/MME e MDIC, 2006.
- _____. *A contribuição do Brasil para evitar a mudança do clima*. Brasília: MRE/MCT/MMA/MME e MDIC, 2007.
- _____. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília: MCT, 2010.
- BECKER, B. et al. *Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.
- BERMAN, A. Three super-giant fields discovered in Brazil's Santos Basin. *World Oil*, v.229, n.2, fev. 2008.
- CASTRO, I. E. de. *Geografia e política*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- CIA. The World Fact Book - *Country Comparison: Oil - proved reserves*. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2178rank.html>>. Acesso em: 7 fev. 2012.
- CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getulio Vargas, 1991.
- DE GOUELLO, C. et al. *Brazil Low-carbon Country Case Study*. Washington: The World Bank Group, 2010.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanco energético nacional 2009 - Ano Base 2008*. Rio de Janeiro: EPE, 2009.
- FUP – FEDERAÇÃO ÚNICA DOS PETROLEIROS. *História da FUP*. Disponível em: <<http://www.fup.org.br/historia.php>>. Acesso em: 5 set. 2010.
- GIDDENS, A. *The politics of climate change*. Cambridge: Polity Press, 2009.
- IEA. *World Energy Outlook*. International Energy Agency, 2009.
- IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇA DO CLIMA. *First Assessment Report 1990*. (FAR) WMO/Unep, 1990.
- IPCC. *Second Assessment Report – Climate Change 1995: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: WMO/Unep, 1995.
- _____. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Geneva: WMO/Unep, 1996.
- _____. *Third Assessment Report – Climate Change 2001 – and the Synthesis Report*. Geneva: IPCC, 2001a.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇA DO CLIMA. Revised Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. *Good Practice Guidance 2000*. Geneva: IPCC, 2001b.

_____. *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*. Geneva: WMO/Unep, 2007a.

_____. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006 Guidelines) v.2 – Energy; v.3 – Industrial Processes; v.4 – AFOLU. IGES for the IPCC. Tóquio, 2007b.

_____. *Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types*. IGES for the IPCC. s. d.

LENZEN, M.; DEY, C. Truncation error in embodied energy analyses of basic iron and steel products. *Energy*, v.25, Pergamon, 2000.

LIMA, J. A. M. A energia que vem do mar: a herança energética do mar brasileiro. *Cienc. Cult.* [online], v.62, n.3, p.25-8, 2010.

LIMA, P. C. R. *Os desafios, os impactos e a gestão da exploração do pré-sal*. Estudo. Brasília: Consultoria Legislativa, nov. 2008.

LUHNOW, D. México criou o nacionalismo do petróleo e agora paga caro por isso. *O Estado de S. Paulo/Wall Street Journal*. 15 jun. 2005.

MÉXICO. *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Ciudad de México: INE, 2006.

MME & EPE, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2010.

NAKAMURA, S.; KONDO, Y. Input-Output Analysis of Waste Management. *Journal of Industrial Ecology*, Massachusetts Institute of Technology and Yale University, v.6, n.1, 2002.

NASAI, K. et al. Compilation and Application of Japanese Inventories for Energy Consumption and Air Pollutant emissions Using Input-output Tables. *Environmental Science and Technology*, v.37, n.9, 2003.

NEPOMUCENO, F. Experiências da Petrobras no caminho do pré-sal. In: RIO OIL & GAS CONFERENCE. Rio de Janeiro. Setembro de 2008.

OLF – Norwegian Oil Industry Association. Report from OLF Environmental Programme – Phase 2. Oslo: 1993

ONIP – ORGANIZAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO. *Impacto econômico da expansão da indústria do petróleo* – Relatório final. Dezembro de 2000.

PETROBRAS. Balanço Social e Ambiental 2008 - *Efetivo aumenta 52,1% em cinco anos*. Disponível em: <<http://www.hotsitespetrobras.com.br/rao2008/i18n/pt/balanco-social-e-ambiental/trabalho/trabalhadores.aspx>>. Acesso em: 4 set. 2010.

PICARD, D. et al. A Detailed Inventory of CH₄ and VOC Emissions from Upstream Oil and Gas Operations in Alberta. Clearstone Engineering Ltd., for the Canadian Petroleum Association, March 1992.

PICARD, D. et al. Fugitive Emissions from Oil and Natural Gas Activities: Background paper. In: IPCC, *Energy Sector - Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Revised Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (Good Practice Guidance 2000). Geneva: IPCC, 2001.

PRESTE, P. Le. *Ecopolítica internacional*. São Paulo: Senac, 1997. 518p.

RITTER, K. et al. Consistency in Greenhouse Gas Emissions Estimation for Oil and Gas Industry Operations – A Non-Trivial Pursuit. American Petroleum Institute (API). S. d.

STERN, N. et al. *Stern Review on the Economics of Climate Change*. London: HM Treasury, 2006.

UK Offshore Operators Association Ltd. Methane Emissions From Offshore Oil & Gas Exploration & Production Activities 1992. *Submitted to The Watt Committee on Energy*, 1993.

UNFCCC. Sixth compilation and synthesis of initial national communications from Parties not included in Annex I to the Convention. Montreal, SBI Twenty-ninth session. 1-10 December 2008.

US EPA. Anthropogenic Methane Emissions in the United States: Estimates for 1990, *Report to the US Congress*, US Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington, DC, USA, 1993.

USA. US Climate Action report - Fourth National Communication of the United States of America Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Washington: USA, 2007.

RESUMO – O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do planeta. Em razão da dimensão das reservas de hidrocarbonetos nos campos do pré-sal, abrem-se dúvidas sobre a manutenção desse padrão de matriz energética e de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor. O objetivo deste artigo é identificar o padrão histórico das emissões fugitivas de GEE do setor de produção, transporte e refino de petróleo e gás natural no Brasil de 1990 a 2008, anterior ao processo de exploração do pré-sal. Conclui-se que as emissões absolutas aumentaram no período em cerca de 115% – incremento anual de 8,2 milhões de tCO₂e. Porém, observou-se uma queda na relação de emissões de GEE por tonelada equivalente de petróleo produzida de 32%.

PALAVRAS-CHAVE: Mudança de clima, Petróleo e gás natural, Emissões fugitivas de gases de efeito estufa, Pré-sal.

ABSTRACT – The Brazilian Energy Matrix is known to be one of the most renewable of the world. Due to the size of the oil reserves found in the Pre-salt fields doubts are pointed if these energy and greenhouse gases (GHG) emissions pattern will remain. The scientific goal of this article is to identify the historical profile of the sector's fugitive GHG emissions due to the oil & gas production, refining and transportation in Brazil from 1990 to 2008, period of time before the Pre-salt layer hydrocarbon resources exploration. Here we show that the total GHG emissions increased around 115% from 1990 to 2008 – an annual emission increase of 8.2 million tCO₂. However, the GHG intensity per ton oil equivalent produced was reduce by 32%.

KEYWORDS: Climate change, oil & natural gas, Fugitive greenhouse gas emissions, Pre-salt layer.

Thiago de Araújo Mendes é doutorando em Desenvolvimento Sustentável (CDS-UnB), professor IEC-PUC Minas no curso de Pós-Graduação em Gestão de Projetos Ambientais. @ – thiagomendes81@gmail.com

Saulo Rodrigues Filho é doutor em Ciências Ambientais – Universitat Heidelberg, Alemanha (1999, Magna Cum Laude), professor adjunto e diretor do Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS) da Universidade de Brasília (UnB). Editor adjunto da revista científica *Journal of Soils and Sediments* – Springer.
@ – saulofilhocds@gmail.com

Recebido em 14.3.2011 e aceito em 18.3.2011.

