



Nota Metodológica SEEG Monitor Elétrico

Coordenação Técnica

Instituto de Energia e Meio Ambiente

Greenpeace

Equipe Responsável

David Shiling Tsai

Felipe Barcellos e Silva

Gabriel de Freitas Viscondi

Larissa Araujo Rodrigues

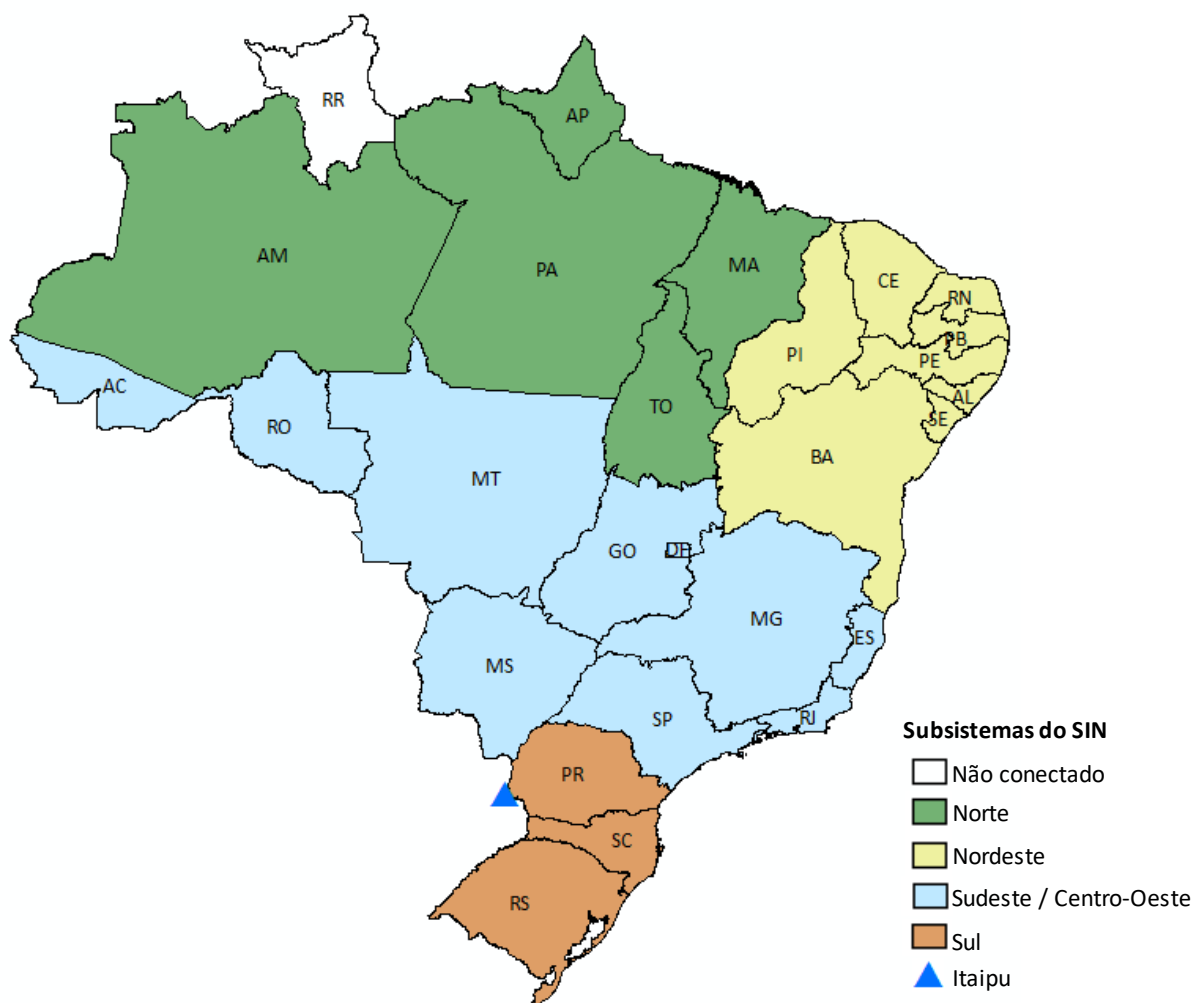
Marcelo dos Santos Cremer

Dezembro de 2015

METODOLOGIA

As estimativas do SEEG Monitor Elétrico abrangem a geração de eletricidade e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes dessa atividade para todo o Sistema Interligado Nacional (SIN).

O SIN é o sistema de geração e transmissão de energia elétrica do Brasil formado por quatro subsistemas (Norte, Nordeste, Sudeste-Centro-Oeste e Sul), e pela usina binacional de Itaipu. Esses subsistemas e as unidades da federação que os compõem são representados no mapa a seguir:



Visto que o escopo do Monitor se restringe ao SIN, não são contabilizadas a eletricidade gerada e as possíveis emissões de GEE nos seguintes casos:

- Sistemas isolados - Ex.: municípios não conectados ao SIN;
- Unidades de autoprodução não conectadas ao SIN - Ex.: indústrias com usinas de geração próprias; e
- Sistemas de geração distribuída, que inclui os de micro e minigeração - Ex.: painéis fotovoltaicos instalados pelos próprios consumidores.

Atualmente, pelo menos 90% da geração de eletricidade no Brasil é contabilizada pelo Monitor, ou seja, gerada de maneira conectada ao SIN.

Os dados são atualizados a cada nova publicação do Boletim Diário da Operação do Operador Nacional do Sistema (ONS) e contém o histórico desde 2009.

O Monitor foi desenhado de modo a gerar dados de geração de eletricidade e emissão de GEE em uma base temporal diária e apresentados por subsistema do SIN, por tipo de geração de eletricidade, por fonte primária de energia e por fonte energética utilizada. A categorização desses níveis é apresentada no quadro a seguir:

Tipo de geração	Fonte primária de energia	Fonte energética
Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica
Eólica	Eólica	Eólica
Térmica a combustível renovável	Biomassa	Bagaço de cana
		Lixívia
		Biomassa ¹
Térmica a combustível fóssil	Petróleo	Óleo combustível
		Óleo diesel
		Gás de refinaria
	Gás natural	Gás natural seco
	Carvão mineral	Carvões vapor
		Gás industrial
Gás de coqueria		
Térmica a combustível não identificado ²	Térmica a combustível não identificado	Térmica a combustível não identificado

¹ A fonte energética “Biomassa” se refere a outros combustíveis renováveis, utilizados em usinas térmicas, além de lixívia e bagaço de cana: capim-elefante e resíduos florestais.

² Ver abaixo a descrição destas usinas térmicas.

Geração de Eletricidade

As fontes de informação utilizadas para a estimativa da geração de eletricidade são:

- [Boletim Diário da Operação do ONS](#): relatórios “Geração Hidráulica, Térmica, Eólica e Reserva Girante na Demanda Máxima no SIN” e “Despacho Térmico”;
- Planilhas cedidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que apresentam, em bases anuais, a geração de eletricidade e o consumo de combustível por fonte energética para cada usina térmica despachada pelo ONS.

O relatório “Geração Hidráulica, Térmica, Eólica e Reserva Girante na Demanda Máxima no SIN” apresenta os valores de geração de eletricidade, por subsistema, segundo a seguinte classificação das usinas: hidráulicas, térmicas e eólicas.

Para que a geração térmica fosse categorizada conforme proposto acima (tipo de geração, fonte primária de energia e fonte energética), foi preciso levantar a geração de eletricidade por usina despachada no relatório “Despacho Térmico”.

Uma vez que o Boletim Diário da Operação não apresenta a geração térmica por combustível utilizado, o conjunto de planilhas do MME foi necessário para se determinar a participação de cada combustível na geração de eletricidade de cada usina térmica reportadas no relatório “Despacho Térmico” para o período entre 2010 e 2015.

Esses valores de participação foram obtidos individualmente para cada usina térmica, pois uma mesma usina pode utilizar duas fontes energéticas diferentes (óleo diesel e gás natural seco, por exemplo). Apesar de projetadas para operar nominalmente com um combustível, por fins de segurança energética e de controle ambiental as usinas térmicas devem informar combustíveis alternativos de operação (combustíveis de back-up).

Para o ano de 2009, foi utilizada a média levantada entre 2010 e 2015 e, para o ano de 2016, utilizaram-se as mesmas participações das fontes energéticas levantadas para 2015.

A equação a seguir representa o método empregado para obtenção dos valores de participação dos combustíveis na geração.

$$P_{f,u,t} = \frac{G_{f,u,t}}{G_{u,t}}$$

Onde:

$P_{f,u,t}$ Participação do combustível **f** na geração de eletricidade da usina **u** no ano **t** (%)

$G_{f,u,t}$ Geração de eletricidade da usina **u** a partir do combustível **f** no ano **t** (GWh)

$G_{u,t}$ Geração de eletricidade da usina **u** no ano **t** (GWh)

Conhecida a participação média anual de cada combustível na geração de eletricidade, para cada usina, foi possível obter a geração diária de eletricidade por combustível, conforme a equação a seguir:

$$G_{f,u,d} = G_{u,d} * P_{f,u,t}$$

Onde:

$G_{f,u,d}$ Geração de eletricidade da usina **u** a partir do combustível **f** no dia **d** (GWh)

$G_{u,d}$ Geração de eletricidade da usina **u** no dia **d** (GWh)

$P_{f,u,t}$ Participação do combustível **f** na geração de eletricidade da usina **u** no ano **t** do dia **d** (%)

Como parte da geração em usinas termelétricas que compõem o SIN não é reportada no “Despacho Térmico”, o montante de eletricidade associado a essas usinas é reportado no Monitor Elétrico segundo o tipo de geração “Térmica a combustível não identificado”. Essas são usinas dos tipos II-A, II-B e III ([Modalidade de operação de usinas](#)) que possuem dinâmica de despacho diferenciada e, apesar de não representarem uma contribuição expressiva na geração do SIN, passarão a ter a fonte energética identificada nas versões futuras do Monitor Elétrico.

A geração em usinas térmicas a combustível não identificado é estimada, por subsistema, a partir da diferença entre toda a geração por usinas térmicas em cada subsistema e a soma da geração por usinas térmicas a combustível identificado em cada subsistema, conforme a equação a seguir:

$$G_{s,d}^{\tilde{n}-i} = G_{s,d}^{térmica} - \sum_u G_{u,d}^{térmica}$$

Onde:

$G_{s,d}^{\tilde{n}-i}$	Geração de eletricidade em usinas térmicas a combustível não identificado no subsistema s no dia d (GWh)
$G_{s,d}^{t\acute{e}rmica}$	Geração de eletricidade em usinas térmicas no subsistema s no dia d , obtida no Boletim Diário da Operação do ONS , na seção “Geração Hidráulica, Térmica, Eólica e Reserva Girante na Demanda Máxima no SIN” (GWh)
$G_{u,d}^{t\acute{e}rmica}$	Geração de eletricidade na usina térmica u , integrante do subsistema s , no dia d , obtida no Boletim Diário da Operação do ONS , na seção “Despacho Térmico” (GWh)

Emissões de Gases de Efeito Estufa

São estimadas as emissões de CO₂, CH₄, N₂O, CO, NO_x e COVNM decorrentes da geração de eletricidade no SIN também a partir de 2009 e atualizadas a cada nova publicação do Boletim Diário da Operação do ONS.

No Monitor Elétrico são também apresentadas as emissões de gases de efeito estufa direto em termos de gás carbônico equivalente (CO₂e). As emissões de CH₄ e N₂O foram convertidas usando-se a métrica GWP (Global Warming Potential) em um prazo de 100 anos. Os fatores GWP utilizados são os mesmos apresentados no “*Second Assessment Report*” do IPCC, sendo 21 para o CH₄ e 310 para o N₂O.

Assim como nas estimativas do SEEG, no caso dos combustíveis de biomassa (bagaço-de-cana, lixo e biodiesel), as emissões de CO₂ não são contabilizadas, pois se considera que essas emissões são compensadas pela absorção de CO₂ na fotossíntese que gerou a biomassa, conforme recomendação do IPCC. O mesmo não se aplica aos demais gases de efeito estufa, diretos e indiretos, que são contabilizados normalmente, a exemplo dos combustíveis fósseis.

A metodologia é baseada no relatório “Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up - Relatório de Referência - Anexo metodológico” (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014), publicado na página do MCTI e que estima as emissões associadas à geração de eletricidade no país. Este mesmo relatório é a principal base metodológica para as estimativas do Setor de Energia do SEEG.

Tanto no SEEG quanto nas estimativas publicadas pelo MCTI, o dado de atividade necessário para o cálculo de emissões é o consumo de combustível na geração de eletricidade. Uma vez que esse dado não está disponível de maneira pública em intervalos de tempo menores do que um ano, adotou-se uma simplificação que, a partir da geração de eletricidade por usina, estima as

emissões com fatores de emissão em termos de massa de gás emitida por unidade de energia elétrica produzida (tCO₂/MWh, por exemplo).

As planilhas fornecidas pelo MME contêm dados anuais de consumo de combustível e de geração de eletricidade por combustível consumido para cada usina térmica despachada pelo ONS, para o período entre 2010 e 2015. Para esses anos, foi possível estimar fatores de emissão específicos para cada usina e para cada fonte energética que ela pode utilizar na geração de eletricidade. Para o ano de 2009, utilizaram-se os fatores de emissão médios levantados entre 2010 e 2015 e, para o ano de 2016, o fator levantado para 2015 foi aplicado.

Em um primeiro momento foram estimadas as emissões, por usina, a partir do consumo anual de combustível, segundo a equação a seguir:

$$E_{g,f,u,t} = C_{f,u,t} * Fe_{g,f}$$

Onde:

$E_{g,f,u,t}$	Emissões do gás g associadas ao consumo do combustível f na usina térmica u no ano t (kg gás)
$C_{f,u,t}$	Consumo do combustível f na usina térmica u no ano t , levantado nas planilhas cedidas pelo MME (tep)
$Fe_{g,f}$	Fator de emissão do gás g associado ao consumo de combustível f , obtidos no relatório "Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up - Relatório de Referência - Anexo metodológico" (MCTI, 2014) (kg gás/tep)

Obtidas as emissões por usina, foi possível levantar um fator de emissão associado à geração de eletricidade (kg gás/GWh) por meio da equação a seguir:

$$Fe_{g,f,u,t} = \frac{E_{g,f,u,t}}{G_{f,u,t}}$$

Onde:

$Fe_{g,f,u,t}$	Fator de emissão do gás g associado ao consumo de combustível f na usina u no ano t (kg gás/GWh)
$G_{f,u,t}$	Geração de eletricidade pelo consumo do combustível f na usina u no ano t , levantado nas planilhas cedidas pelo MME (GWh)

No que diz respeito ao consumo de óleo diesel, cabe ressaltar que, em algumas usinas térmicas, ele é constituído por uma mistura entre diesel mineral

(combustível fóssil derivado do petróleo) e biodiesel (combustível renovável produzido a partir de gorduras animais, óleos vegetais e álcoois).

Na ausência de dados a respeito do teor de biodiesel presente no óleo diesel consumido em cada usina, utilizou-se o teor médio nacional (em volume) apresentado no “Balanço Energético Nacional 2016, Ano-base 2015 (MME, 2016)” na geração de eletricidade. Dessa forma, foi possível estimar a quantidade de diesel mineral consumida e estimar os fatores de emissão em conformidade com as recomendações do IPCC, com base somente no consumo de combustível fóssil e não no consumo total (mistura).

Ano	Teor de Biodiesel na Mistura (%)
2006	0,0%
2007	0,0%
2008	2,5%
2009	3,5%
2010	4,7%
2011	2,2%
2012	3,9%
2013	3,4%
2014	4,6%
2015	3,9%
2016	3,9%

A equação a seguir sintetiza o cálculo das emissões diárias:

$$E_{g,f,u,d} = G_{f,u,d} * Fe_{g,f,u,t}$$

Onde:

$E_{g,f,u,d}$ Emissões do gás **g** associadas ao consumo do combustível **f** na usina térmica **u** no dia **d** (kg gás)

$G_{f,u,d}$ Geração de eletricidade da usina **u** a partir do combustível **f** no dia **d** (GWh)

$Fe_{g,f,u,t}$ Fator de emissão do gás **g** associado ao consumo de combustível **f** na usina **u** no ano **t** do dia **d** (kg gás/GWh)

Emissões associadas à geração de eletricidade em usinas térmicas cuja fonte energética não pode ser identificada (usinas dos tipos II-A, II-B e III, como acima descrito) não foram estimadas, o que será aprimorado em futuras versões do SEEG Monitor Elétrico.

A figura a seguir representa a metodologia utilizada.

