

**REDUÇÃO DA CARBONIZAÇÃO DO SETOR
ELÉTRICO ATRAVÉS DO USO DOS RESÍDUOS
COMBUSTÍVEIS DA AGROINDÚSTRIA
SUCROALCOOLEIRA**

RESUMO EXECUTIVO

Atualização: 10/02/2017

O presente texto resume o estudo preparado para o Instituto Clima e Sociedade pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética. Foi desenvolvido em entre julho de 2016 e janeiro de 2017 sob a coordenação de Pietro Erber com o apoio de Isaias de Carvalho Macedo, Luiz Augusto Horta Nogueira, Marco Aurélio Palhas de Carvalho, Fernando C.S. Milanez, Marcos José Marques e da EC Engenharia.

ÍNDICE

RESUMO.....	3
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO	8
EMISSÕES EVITADAS	10
GERAÇÃO DO SETOR SUCRO ENERGÉTICO	11
NOVAS TECNOLOGIAS AGROINDUSTRIAIS.....	13
COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA	15
BALANÇO DE DEMANDA E OFERTA	18

RESUMO

O aproveitamento do potencial energético da cana-de-açúcar começou a ser estruturado no final da década de 1970. Em 1984, o Programa Nacional do Alcool – PROÁLCOOL preconizava o melhor aproveitamento da cana, com ênfase na geração de energia elétrica e na produção de etanol. Condições econômicas desfavoráveis e regulamentos inadequados impediram, por mais de uma década, o desenvolvimento da geração de energia elétrica que a produção de biomassa no setor sucroenergético ensejava. Contudo, desde a década passada, esta situação vem apresentando notável e promissora evolução.

Pelo Acordo de Paris, definido na COP 21 e em vigor desde 4 de novembro de 2016, o Brasil comprometeu-se a contribuir com relevantes metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), mediante a substituição de fontes de energia fósseis por fontes renováveis, dentre outras medidas.

Este estudo estima o potencial de contribuição da geração de energia elétrica a partir da biomassa de cana-de-açúcar para reduzir as emissões de GEE decorrentes de geração de energia elétrica no Brasil até 2050. Ele indica que em 2030 essa contribuição, somada à de outras fontes renováveis, exceto a hidráulica, poderá representar 34% dos requisitos de energia elétrica do país, superando a meta de 23% definida na COP 21.

As emissões de GEE pelo setor elétrico, decorrentes do consumo de combustíveis fósseis, evoluiria de 140 kgCO₂eq/MWh gerado em 2015 para 121 kgCO₂eq/MWh em 2030 e para 192 kgCO₂eq/MWh em 2050, na hipótese mais desfavorável considerada neste estudo.

Estimando que em 2030 a matriz de uso final energético some 415 Mtep, a eletricidade e o etanol, derivados da cana-de-açúcar, responderiam por cerca de 9% desse total. Atenderiam portanto a 50% da meta (18%) de participação das bioenergias nessa matriz, também definida na COP21. Essa contribuição seria complementada pela energia de biomassa florestal e do biodiesel, principalmente.

Somente nos anos 2000 a geração de excedentes de energia elétrica pelo setor sucroenergético passou a ser significativa. Esse desenvolvimento, que teve início perto de cinco décadas atrás, tornou-se relevante na medida em que as usinas conseguiram deixar de adquirir combustíveis e energia elétrica para seu funcionamento, valendo-se da biomassa residual de sua operação. Em agosto de 2016, 91 empresas sucroenergéticas, totalizando 5190 MW,

contribuíam para o suprimento do setor elétrico e para a redução tanto do consumo de combustíveis fósseis como de emissões de GEE.

Apesar de a utilização energética da cana-de-açúcar já contribuir para a redução de emissões de GEE, por ser uma fonte de energia renovável e constituir a segunda principal fonte de energia primária do Brasil, seu aproveitamento para geração de energia elétrica ainda se encontra muito abaixo de seu potencial. A modernização das usinas sucroenergéticas, a adoção de novos procedimentos e técnicas agrícolas, a introdução de novas variedades de cana e melhorias na produtividade agroindustrial poderão aumentar essa geração de energia elétrica, dos 5,5% dos requisitos do país verificados em 2015 para 10% em 2030 e em 2050. Seriam assim evitadas emissões de 54 MtCO₂eq em 2030 e de 90 MtCO₂eq em 2050, pela substituição de consumo de gás natural na geração elétrica.

A quantidade de energia elétrica que o setor sucroenergético poderá produzir e disponibilizar para o mercado decorre da produção de etanol e de açúcar. Esses produtos determinam a quantidade de cana processada, da qual se infere a disponibilidade de bagaço e palha de cana, os combustíveis utilizados nesse contexto. As estimativas de eficiência e de consumo interno de energia elétrica das usinas permitem quantificar a venda aos demais consumidores de energia elétrica.

Para avaliar a utilização de fontes não renováveis para a geração de energia elétrica, foi estimada a evolução tanto da demanda de energia elétrica do país como da utilização das principais fontes renováveis além da cana: hidráulica, solar, eólica e outras biomassas. A evolução da demanda foi estimada com base em planos governamentais e nas perspectivas econômicas atuais. A contribuição das fontes renováveis reflete as prioridades do país indicadas em seus planos energéticos.

O estudo aborda a comercialização da energia elétrica gerada pelo setor sucroenergético e destaca a importância de estender o período de fornecimento e de aumentar sua confiabilidade. A criação de um mecanismo análogo ao que opera no setor elétrico, baseado num *pool* de geradores que suprem conjuntamente seus contratantes, e o armazenamento de biomassa combustível poderão contribuir para que esses objetivos sejam atingidos.

A utilização das fontes renováveis aqui consideradas, bem como o aumento da eficiência na utilização da energia elétrica permitirão reduzir a necessidade de geração a partir de combustíveis fósseis, que em 2015 atendeu a 20% da demanda total. Estimou-se que a geração baseada em combustíveis fósseis poderá estar limitada a cerca de 7% da oferta em 2030 e de 11%, em 2050.

Esses resultados contribuirão para reduzir as emissões de carbono e para que as metas do país, definidas no Acordo de Paris, sejam alcançadas. Para assegurá-los, conforme indicado, será de grande valia que ajustes nas bases institucionais, fiscais, financeiras e tecnológicas sejam providos.

ABSTRACT

The utilization of the energy supply potential of the sugar cane began to be structured in the late seventies. In 1984, the National Alcohol Program – PROALCOOL advocated the best use of sugarcane, especially on electricity generation, as well as ethanol production. Unfavorable economic conditions and inadequate regulations prevented, for more than a decade, the development of electricity generation that biomass production in the sugar-energy sector could make possible. However, during the last decade this situation has shown a remarkable and promising evolution.

Under the Paris Agreement, defined at COP 21 and in force since November 4, 2016, Brazil committed itself to contribute to relevant targets for reduction of greenhouse gases (GHG) emissions, by replacing fossil fuels by renewable energy sources, among other measures.

This study estimates the potential contribution of electric energy generation from sugarcane biomass to the reduction of GHG emissions by the Brazilian electricity sector, through 2050. It indicates that by 2030 this contribution, plus that from other renewable sources except hydro, may add up to 34% of the total Brazilian electric energy requirements, surpassing the 23% target set at COP 21.

GHG emissions by the electricity sector, due to its consumption of fossil fuels, would diminish from 140 kgCO₂eq/MWh generated in 2015 to 120 kgCO₂eq/MWh in 2030 and to 192 kgCO₂eq/MWh in 2050, under the most unfavorable hypothesis considered in this study.

Estimating that in 2030 the energy final use national matrix will total 415 Mtoe, electricity and ethanol derived from sugarcane would account for about 9% of this figure. They would therefore meet 50% of the bioenergy participation target in that matrix, set at 18% z at COP21. This contribution would be supplemented by energy from forest biomass and biodiesel.

Only in the 2000s did the surplus energy generation by the sugar-energy sector become significant. This development, which began about five decades ago, became relevant as the plants managed to avoid buying fuel and electricity for their process, using the biomass residue from their operation. By August 2016, 91 sugar-energy plants, totaling 5190 MW of installed generating capacity, contributed to the electricity sector supply and to reduce fossil fuels consumption, as well as GHG emissions. In 2015 total energy sales to the power sector amounted to 20 TWh.

Although sugarcane energy use already contributes to the reduction of GHG emissions, since it is a renewable energy source and constitutes the second

main source of primary energy in Brazil, its contribution to electricity generation is still much below its potential. Modernization of sugar-energy plants, adoption of new agricultural procedures and techniques, introduction of new sugar cane varieties and improvement of agro-industrial productivity could increase these plants' electricity generation, from 5.5% of the country's total requirements in 2015 to about 10% of these requirements, in 2030 and in 2050. This would avoid emissions of 54 MtCO₂eq in 2030 to 90 MtCO₂eq in 2050, by replacing natural gas consumption in electricity generation.

The amount of electric energy that the sugar and ethanol sector can produce and make available to the electricity market derives from the production of ethanol and sugar. These products determine the quantities of processed cane, from which can be inferred the availability of bagasse and cane straw, which are the fuels used in this context. Estimates of efficiency and internal consumption of power plants allow quantifying their sales to other electric power consumers.

In order to evaluate the use of non-renewable sources for electricity generation, the evolution of the country's electricity demand and the use of the main renewable sources, besides sugarcane (hydro, solar, wind and other biomasses) were estimated. The evolution of demand has been estimated based on government planning and on the current economic outlook. Contributions from renewable sources reflect the country's priorities as outlined in its energy plans.

The study addresses the commercialization of the electric energy generated by the sugar-energy sector and highlights the importance of extending the supply period and increasing its reliability. The creation of a mechanism similar to that which operates in the electric sector, based on a pool of generators that jointly supply their purchasers, and the biomass fuel storage, will contribute to these goals being achieved.

The use of the renewable sources considered here, as well as the increased efficiency in the use of electric energy, will reduce the need for generation from fossil fuels, which in 2015 met 20% of total demand. It was estimated that fossil fuel-based generation could be limited to about 7% of supply in 2030 and 11% in 2050. These results will contribute to the reduction of carbon emissions, and to reach the country's targets set in the Paris Agreement. To assure them, as indicated, it will be of great value that adjustments in the institutional, fiscal, financial and technological bases should be provided.

INTRODUÇÃO

Alinhado com os compromissos assumidos pelo país na COP 21, de reduzir suas emissões de GEE mediante a descarbonização da economia, o aumento da participação de fontes de energia renováveis no setor elétrico é prioritário. Em 2015 as emissões deste setor foram de 81 MtCO₂eq, o que justifica e prioriza o compromisso de aumentar a participação das biomassas entre as fontes de energia primária para 18% até 2030.

No Brasil, as biomassas, em particular a da cana-de-açúcar, já contribuem e poderão contribuir ainda mais para reduzir a utilização de combustíveis fósseis na geração de energia elétrica, nos transportes e na indústria, evitando a emissão de GEE. Em 2015 os produtos da cana (bagaço, palha e etanol) foram responsáveis por 17% da oferta interna de energia do país.

Naquele ano, o setor sucroenergético gerou 34 TWh, que representaram 5,5% dos requisitos do país, e forneceu ao mercado de energia elétrica 20 TWh. O etanol supriu 20% da demanda dos transportes rodoviários, cujas emissões foram então 194 MtCO₂eq.

Estima-se que a biomassa de cana-de-açúcar poderá gerar 89 TWh em 2030 e 153 TWh em 2050, cerca de 10% dos requisitos do país previstos no presente estudo para esses anos. Assim, suprirá o setor elétrico com 70 TWh em 2030 e 133 TWh em 2050, respectivamente 8% e 9% das demandas dos demais consumidores. A participação da biomassa de cana no atendimento dos requisitos de energia elétrica já poderia ser da ordem do dobro, se não houvesse entraves institucionais, investimentos insuficientes em instalações industriais mais eficientes e ausência de políticas energéticas estáveis, particularmente no tocante aos preços dos combustíveis. Recentemente, parte dessas limitações foi sanada.

Como o objetivo deste estudo é estimar a contribuição do setor sucroenergético para a descarbonização da geração de energia elétrica do país, foi necessário estimar a produção de etanol e de açúcar, dado que da demanda desses produtos depende a produção de biomassa, a partir da qual a energia elétrica desse setor é gerada. Além disso, o etanol contribui significativamente para a descarbonização da matriz energética dos transportes.

Em 2015 o setor sucroenergético produziu, em termos equivalentes, 29 bilhões de litros de etanol anidro. Estima-se que em 2030 possa produzir 57 bilhões de litros e que, em 2050, a produção alcance 63 bilhões de litros, que substituiriam 46 bilhões de litros de gasolina. A perspectiva é que a produção de etanol seja acelerada nos próximos anos, de modo a alcançar 45 bilhões de litros já em

2025, dado que se prevê grave déficit interno de combustíveis para veículos leves em meados da próxima década, conforme dados da ANP (entrevista da Diretora-Geral em 2015).

O aumento de 84% da produção de cana ao longo do período considerado proporcionará a obtenção de grandes volumes de bagaço e palha, que em parte poderão ser densificados na forma de pellets, conforme vem sendo estudado. A biomassa densificada apresenta menor teor de umidade e maior poder calorífico, que proporciona maior eficiência termodinâmica, podendo ser mais facilmente estocável e transportável do que a biomassa original. Caldeiras adaptadas para seu emprego também poderão utilizar densificados de biomassa florestal, cuja demanda vem apresentando notável crescimento, sobretudo na Europa, e para cuja produção o Brasil apresenta condições bastante favoráveis, como a terra e o clima.

EMISSÕES EVITADAS

Junto à contribuição da cana para a redução das emissões do setor elétrico, cabe considerar a contribuição do etanol. Parte expressiva da biomassa de cana utilizada na geração elétrica é obtida em função da produção desse combustível, que substituiu 40% do consumo de gasolina em 2015, evitando a emissão de 62 MtCO₂eq.

Nas estimativas das emissões de GEE evitadas pela geração de energia elétrica e pela produção de etanol, considerou-se que a energia elétrica substituída seria gerada a partir de gás natural e que o etanol substituiria a gasolina. As emissões decorrentes da obtenção de etanol foram descontadas do benefício da substituição da gasolina, e aquelas decorrentes da produção de açúcar foram debitadas a este produto. Essas estimativas são indicadas na tabela a seguir:

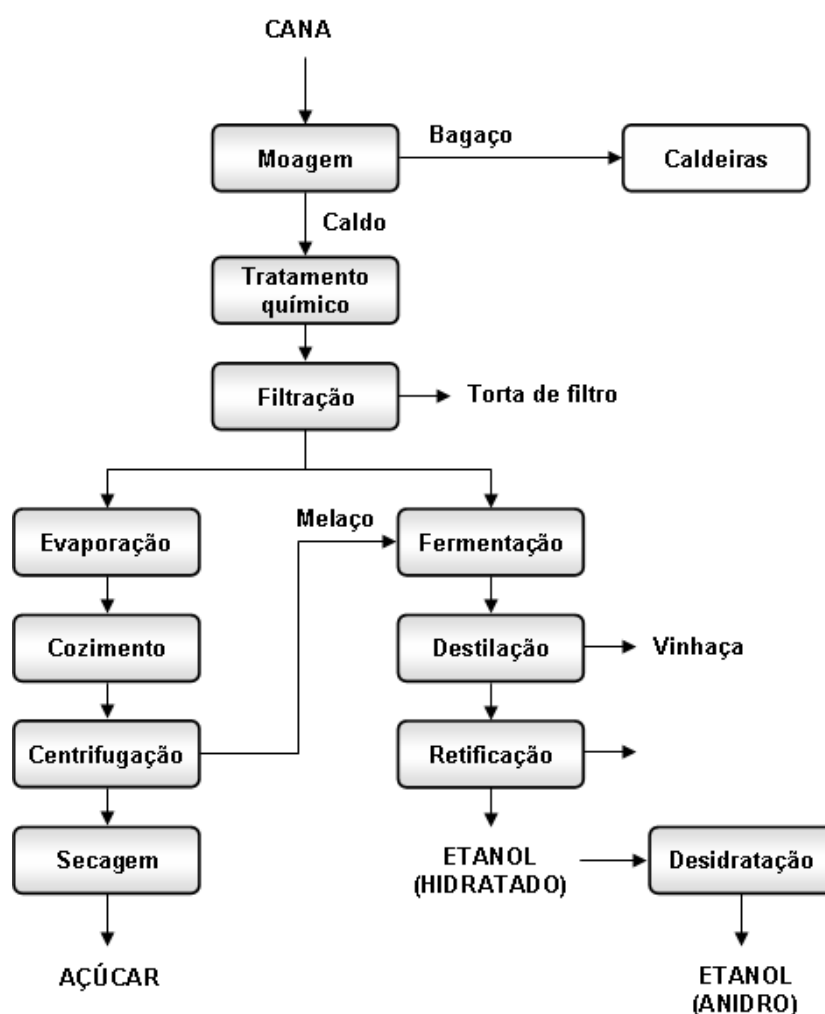
Emissões evitadas pelos produtos sucroenergéticos (MtCO₂eq)

Ano	Setor elétrico	Setor automotivo	Emissões evitadas
2015	17	62	79
2020	25	69	94
2030	54	112	166
2040	75	126	203
2050	89	129	218

As emissões antrópicas totais devidas aos componentes da matriz energética brasileira em 2015 foram de 462 MtCO₂eq (BEN 2016). Sem a produção excedente do setor sucroenergético, essas emissões teriam aumentado 17%.

GERAÇÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO

Estimou-se a evolução dos requisitos de geração de energia elétrica, até 2050, e a contribuição do setor sucroenergético para seu atendimento. Também foi estimada a geração que se poderá obter a partir das principais fontes renováveis: hidrelétrica, solar, eólica e outras biomassas. No tocante à energia da cana, inicialmente foram realizadas estimativas com base na cana-de-açúcar e nas tecnologias agroindustriais tradicionais, que vêm apresentando e ainda poderão ter importantes aumentos de eficiência. A denominação genérica cana-de-açúcar aplica-se àquelas variedades da cana desenvolvidas para maximizar a produção de sacarose. Adiante serão também apresentados resultados decorrentes do emprego de cana-energia, uma variedade com maior teor de fibras que será descrita adiante. O gráfico a seguir ilustra a sequência das principais etapas da produção de açúcar e etanol. A geração de energia elétrica constitui um subproduto, que nesse esquema deriva da energia fornecida pelas caldeiras, alimentadas pelo bagaço e palhas:



A tabela a seguir sumariza as estimativas feitas com base no emprego da cana-de-açúcar e na hipótese mais conservadora para a expansão da geração hidrelétrica:

Geração requerida e contribuição das principais fontes			
	2015	2030	2050
Geração total (TWh)	616	936	1465
Hidrelétrica* (%)	64	57	42
Solar (%)	-	4	11
Eólica (%)	4	15	18
Cana-de-açúcar (%)	6	10	10
Outras biomassas (%)	2	5	7
Total renováveis (%)	76	91	88
Nuclear (%)	2	2	1
Termelétrica fóssil (%)	22	7	11

(*) Inclui importações.

Em 2015 a geração hidrelétrica do país foi de apenas 360 TWh, cerca de 11% inferior àquela normalmente considerada para a potência instalada, de 92 GW, devido a condições hidrológicas excepcionalmente desfavoráveis. O valor indicado na tabela acima inclui importações de 34 TWh, quase todas provenientes da Itaipu Binacional. Quanto à evolução da geração hidrelétrica, se tivesse sido adotada a hipótese de maior expansão, sua participação seria de 58% em 2030 e de 46% em 2050.

Considera-se que as importações líquidas poderão diminuir para cerca de 20 TWh nos próximos anos, visto que sua quase totalidade atualmente provém da cessão de parte da cota paraguaia da usina de Itaipu, que deverá diminuir. Haverá outros intercâmbios com países vizinhos, mas no momento não é possível avaliar seu saldo energético. Além da cana, outras biomassas também constituirão importantes fontes renováveis para geração elétrica, como a biomassa florestal, tanto aquela diretamente destinada à geração termelétrica quanto os subprodutos da indústria de papel e celulose, entre os quais cavacos e pellets de madeira. Em 2015 essa contribuição foi de 14 TWh, e poderá aumentar substancialmente, conforme a tabela acima.

NOVAS TECNOLOGIAS AGROINDUSTRIAIS

As estimativas apresentadas na seção anterior são baseadas em coeficientes técnicos atuais e sua provável evolução, na hipótese de que a matéria-prima seja a cana-de-açúcar, com os possíveis aprimoramentos genéticos e aumentos de eficiência agroindustrial. Entretanto, diversas novas tecnologias estão sendo experimentadas no setor sucroenergético, com destaque para a produção de etanol celulósico, ou E2G, que utiliza parte da biomassa e, assim, pode reduzir a disponibilidade desta para geração elétrica. Outra dessas novas tecnologias é a utilização da chamada cana-energia, uma variedade que apresenta maior produtividade por hectare, maior teor de fibras e menor teor de sacarose por tonelada colhida, conforme indica a tabela a seguir:

Cana-de-açúcar x cana-energia

	Unidades	Cana-de-açúcar	Cana-energia
Produtividade	t/ha	70 - 80	180 - 185
Fibras	%	12,5	22 - 26
Etanol E1G*	litros/t cana	73	50 - 54
Energia elétrica	kWh/t cana	47	183 - 232
Etanol E2G	litros/t cana	11,3	43

A maior produtividade da cana-energia, em toneladas por hectare, compensa com excesso sua menor produção de etanol, em litros por tonelada de cana. Tanto a produção de E2G quanto a de cana-energia ainda são experiências recentes, com diferentes níveis de sucesso.

No momento, o sucesso e a extensão tanto da difusão do plantio de cana-energia quanto da utilização do bagaço e da palha na produção de E2G são incertos. Embora não haja experiência ampla e prolongada com nenhuma das duas, aquela disponível é suficientemente promissora para ser considerada neste estudo. Tanto a produção de cana-energia quanto a de E2G poderão alcançar melhores resultados com o aprimoramento de suas tecnologias, sendo que nesta última a transformação enzimática da celulose e da hemicelulose em açúcares constitui o ponto crucial. Com relação à cana-energia, o resultado das primeiras colheitas indicará a validade dessa opção. Por fim, observa-se que a tecnologia E2G poderá ser adaptada para o uso de outras biomassas também ricas em celulose.

* EG1: etanol produzido com a tecnologia atual, a partir do caldo da cana.

Procurou-se avaliar o efeito da utilização dessas novas modalidades agroindustriais, em particular o emprego da cana-energia. Por outro lado, a difusão da produção do E2G reduziria, ao invés de aumentar, a produção de energia elétrica.

No presente relatório, foram comparadas estimativas de reduções de emissões decorrentes da substituição do consumo de gás natural pelo de biomassa de cana na geração de energia elétrica e da substituição do consumo de gasolina pelo de etanol, quando se privilegia a produção de etanol mediante a produção de E2G e quando se maximiza o aproveitamento da biomassa para gerar energia elétrica. Foram considerados dois exemplos de uso de cana-de-açúcar e um de uso de cana-energia. Verificou-se que os resultados, em termos de emissões evitadas, são semelhantes, portanto não permitem que apenas com base nesse parâmetro se estabeleça uma via preferencial. Cada caso dependerá de suas características tecnológicas específicas, das condições ambientais e dos combustíveis que serão substituídos.

Também se ressalta a importância de alcançar maior difusão do emprego de instalações geradoras de elevada eficiência, com caldeiras de alta pressão, para assegurar a obtenção de mais excedentes de geração elétrica, bem como a recuperação econômico-financeira de parte expressiva das empresas sucroenergéticas, prejudicadas pelas condições adversas recentemente impostas pela política de preços dos energéticos.

COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

A contribuição do setor sucroenergético para o atendimento da demanda de energia elétrica depende de adequado ambiente de negócios, que não prejudique nem desestimule os investimentos necessários e que permita que preços competitivos sejam praticados.

A partir do início da década passada, quando foi regulamentada a geração distribuída e sua venda às distribuidoras, as usinas sucroenergéticas começaram a instalar equipamentos que permitiram produzir excedentes de energia elétrica. Até então, as vendas eram pouco significativas. O novo ambiente institucional e o apoio do BNDES foram fundamentais para a participação efetiva do setor sucroenergético no setor elétrico.

O setor sucroenergético baseia-se numa cultura agrícola semi-perene, com ciclo de replantio a cada cinco ou seis anos no caso da cana-de-açúcar e de dez anos ou mais para a cana-energia. Requer importantes investimentos em equipamentos agrícolas e industriais e em tecnologia agrícola e biológica. A possibilidade de alterar as proporções da oferta de açúcar e etanol contribui para estabilizar a receita do setor, mas a variabilidade dessas proporções limita-se, em geral, a uma relação da ordem de até 40/60 e vice-versa.

Toda a comercialização de energia elétrica no sistema brasileiro é feita por contratos bilaterais. As características desses contratos precisam adequar-se à natureza da transação: regulada ou livre.

Os contratos de natureza regulada integram o Ambiente de Contratação Regulada – ACR. Esses contratos são entre agentes de geração e agentes de distribuição, podendo haver contratações de sobras das distribuidoras. No ACR, os preços de venda da energia elétrica às distribuidoras são definidos a partir de leilões específicos, realizados por iniciativa do agente regulador, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

Os contratos livres destinam-se a atender a demanda dos consumidores livres e dos próprios agentes comercializadores, como a cobertura de contratos de venda de energia, e integram o Ambiente de Contratação Livre – ACL. Nesse ambiente, os agentes têm liberdade para negociar a compra de energia, estabelecendo volumes, preços e prazos de suprimento.

Tanto os contratos realizados no ACL quanto aqueles realizados no ACR precisam ser registrados na CCEE – Câmara de Comercialização de Energia

Elétrica, que verifica sua conformidade às regras e regulamentos, coleta as medições de energia gerada e consumida por cada agente e promove a compatibilização dos valores praticados com os contratados, contabilizando as eventuais diferenças. Estas são liquidadas pelo Preço de Liquidação de Diferenças – PLD, cujos valores, definidos pela ANEEL, derivam do custo marginal de curto prazo.

A maioria das vendas de energia, tanto no Ambiente de Contratação Regulada, para as distribuidoras, quanto no Ambiente de Contratação Livre, para consumidores finais, geralmente é feita mediante contratos de médio ou longo prazo. No entanto, a variabilidade dos preços no mercado spot oferece possibilidade de eventuais vendas a preços bastante superiores àqueles alcançados nos leilões para vendas contratuais, de modo que várias indústrias reservam parte de sua disponibilidade para ser comercializada nesse mercado.

Em agosto de 2016, o número de contratos ativos registrados na CCEE era 2218. Desses, 1505 estão em suprimento; os demais entrarão em vigor entre 2018 e 2021. Apenas 16 são por quantidade; os demais, por disponibilidade (devem gerar quando solicitados pelo ONS - Operador Nacional do Sistema Interligado). Esses 16 contratos totalizam quase 925 MW e têm garantia física de 380 MW médios, mas o montante vendido foi de 157 MW médios. Constituem energia de reserva, proveniente dos leilões realizados em 2010 e 2011.

De 2004 a 2015, o setor sucroalcooleiro vendeu 1622 MW médios a empresas distribuidoras e consumidores livres do setor elétrico, a partir de 120 projetos. Dessa energia, 75% foi dirigida para o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), mediante contratos de 20 a 25 anos, e 25% para o Ambiente de Contratação Livre (ACL), com contratos de curto e médio prazo. Destes, 79% são de 2 a 4 anos, e os demais, de prazo maior.

Os preços-teto dos últimos quatro leilões variaram de R\$ 209,00 a R\$ 281,00 por MWh, e o preço do mercado spot (PLD) em agosto de 2016 foi R\$ 94,00 por MWh.

Considera-se oportuno estudar a criação, no setor sucroenergético, de procedimento semelhante ao MRE (Mecanismo de Realocação Energética) adotado no setor elétrico, no qual este mecanismo de coordenação da operação das usinas hidrelétricas proporcionou ganho de energia superior em 20% à soma das contribuições de cada usina caso operassem de forma concorrencial.

O MRE determina a contribuição total do parque hidrelétrico e reparte o montante gerado entre as usinas com regras definidas. Além de otimizar a operação do conjunto de geradores, esse pool de geradores faz que as usinas cubram eventuais falhas umas das outras, não ficando individualmente expostas às penalidades previstas nos acordos de comercialização.

Nas usinas de biomassa de cana-de-açúcar, o insumo energético pode ser estimado a cada ano com bastante precisão, reduzindo a incerteza quanto à capacidade de produção. Entretanto, uma usina pode ter problemas técnicos que interrompam a produção, sofrer efeitos climáticos que reduzam a disponibilidade de bagaço e palha, dentre outros entraves ao funcionamento previsto.

Produtores sucroenergéticos associados em pool, de forma semelhante aos produtores hidrelétricos que formam o MRE, seriam vistos pelo setor elétrico como uma unidade de comercialização, que firmaria contratos com os demais agentes do sistema. O rateio do resultado do pool seria feito com base na produção de cada gerador, ao longo do ano ou do período de safra, independentemente do momento no qual essa geração tivesse ocorrido.

BALANÇO DE DEMANDA E OFERTA

Considerou-se a evolução da demanda mais conservadora, denominada Cenário B, que procura refletir as perspectivas econômicas nos próximos anos e os esforços do governo e da sociedade para aumentar a eficiência no uso da energia. Estimou-se a evolução da geração do setor sucroenergético, hidrelétrica, solar, eólica e a partir de biomassa florestal. Também foi considerada uma hipótese (conservadora) de contribuição da energia nuclear para a redução do consumo de combustíveis fósseis. A partir dessas hipóteses foram avaliadas as necessidades de geração complementar em seis situações, caracterizadas por duas trajetórias de expansão da geração hidrelétrica e três possibilidades de evolução do setor de cana até 2050: apenas cana-de-açúcar e 20% ou 40% de cana-energia em 2050. As tabelas a seguir sumarizam os resultados, em 2030 e em 2050, e indicam o consumo de gás natural que seria necessário para gerar a energia elétrica complementar:

Balanço de oferta e demanda em 2030 (TWh)

	Cana-de-açúcar		4% cana-energia		8% cana-energia	
<i>Demanda</i>	936		936		936	
Cana	89		95		101	
Solar	39		39		39	
Eólica	145		145		145	
Outras biomassas	48		48		48	
Hidrelétrica	547	530	547	530	547	530
Oferta renovável total	868	851	874	857	880	863
Nuclear	20		20		20	
Geração a gás natural	48	65	42	59	36	53
Capacidade geradora a gás (GW)	6	9	6	8	5	7
Consumo de gás natural (Mm³/dia)	24	33	22	30	19	27

Balço de oferta e demanda em 2050 (TWh)

	Cana-de-açúcar		20% cana-energia		40% cana-energia	
<i>Demanda</i>	1465		1465		1465	
Cana	153		176		200	
Solar	154		154		154	
Eólica	263		263		263	
Outras biomassas	99		99		99	
Hidrelétrica	681	613	681	613	681	613
Oferta renovável total	1350	1282	1305	1237	1397	1329
Nuclear	20		20		20	
Geração a gás natural	95	163	72	140	48	116
Capacidade geradora a gás natural (GW)	13	22	10	19	6	16
Consumo de gás natural (Mm³/dia)	48	83	37	70	24	59

Como indicam as tabelas acima, foram formuladas duas hipóteses para o aumento da geração hidrelétrica até 2050. Nesse ano, no caso mais desfavorável, o consumo de gás natural seria de 83 Mm³/dia, cerca de 62% superior ao consumo do país em 2015. Com a introdução da cana-energia, haveria reduções significativas do consumo de gás (ou outro combustível), principalmente em 2050.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- As estimativas de geração de energia elétrica pelas principais fontes primárias renováveis apresentadas neste estudo indicam que, se efetivadas, poderão limitar a participação da geração baseada em combustíveis fósseis a cerca de 7% dos requisitos totais de geração em 2030 e a 11% em 2050. Suas emissões, também nas hipóteses mais desfavoráveis consideradas, seriam de 111 MtCO₂eq em 2030 e de 278 MtCO₂eq em 2050, considerando apenas o uso de gás natural. Representariam, respectivamente, aumentos de 42% e 256% em relação às emissões devidas ao setor elétrico em 2015.
- A expansão da geração eólica e da geração solar, bem como da geração hidrelétrica e da geração a partir de biomassa florestal, foi estimada com menor detalhe do que a contribuição da biomassa da cana. Em todos os casos, contudo, procurou-se levar em conta as possíveis limitações ambientais, financeiras, tecnológicas e institucionais que poderão afetar seu desenvolvimento, que até o final do período estudado deverá ficar aquém do potencial atualmente estimado. A geração baseada em combustíveis fósseis complementa essas estimativas.
- As dificuldades que vêm sendo observadas para equacionar satisfatoriamente os impactos socioambientais da expansão hidrelétrica acarretam limitações ao aproveitamento do potencial inventariado atualmente quantificado. Admitiu-se que, em 2050, numa hipótese conservadora, estaria assegurada a geração de 613 TWh mediante o aproveitamento de 61% do potencial inventariado, indicado no BEN 2015, da EPE/MME, e a importação líquida de 20 TWh. Em 2015 a geração hidrelétrica foi de 394 TWh, dos quais 34 TWh importados, principalmente do Paraguai, provenientes da usina de Itaipu.
- Os cenários de atendimento à demanda apresentados e as respectivas emissões de GEE indicam forte dependência da energia hidrelétrica e da biomassa. A importância da primeira não elide as incertezas que sua contribuição apresenta face às dificuldades encontradas em sua expansão e operação. A estas soma-se o risco de ocorrerem significativas alterações dos regimes hidrológicos, decorrentes de mudanças climáticas, que também poderão afetar outras fontes renováveis.
- A geração de energia elétrica a partir da biomassa de cana constitui um subproduto da produção de etanol e de açúcar, sendo que a primeira apresenta um potencial de crescimento de mercado maior que o do açúcar, considerando a atual participação do país no mercado mundial.
- A substituição de gasolina por etanol enseja a redução de perto de 3 tCO₂eq por metro cúbico de etanol, computados também os efeitos da utilização da biomassa decorrente na geração de energia elétrica. Resultado semelhante

será obtido se veículos pesados a diesel forem modificados para uso de etanol, em sistemas de acionamento híbrido.

- Os balanços de demanda e oferta aqui apresentados indicam a importância relativa dos seus principais componentes nas diversas hipóteses consideradas. Mostram que, em 2030, conforme a participação da cana-energia varie de 0% a 8%, as emissões líquidas evitadas pela substituição de gás natural por biomassa de cana na geração de energia elétrica poderão variar de 54 MtCO₂eq a 78 MtCO₂eq. Estas representam, respectivamente, 4,3% e 6,2% do NDC previsto para 2030, de 1,25 GtCO₂eq (IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2016). Em 2050, as emissões evitadas seriam de pelo menos 90 MtCO₂eq. A utilização de variedades de cana mais propícias à geração elétrica aumentaria esse benefício.
- No presente estudo, a taxa média incremental da demanda considerada é de 2,5% ao ano até 2050. Se fosse de 2,2% no mesmo período, em 2050 a demanda seria 11% menor. Nesse caso, não haveria necessidade de geração a partir de combustíveis fósseis em 2050. Embora valores estimados num horizonte de 35 anos envolvam elevada incerteza, esses resultados destacam a importância de aumentar a eficiência no uso da energia elétrica e de reduzir as perdas em seu transporte.
- Para o atendimento dos requisitos de geração considerados no presente estudo, o cronograma de expansão da capacidade geradora definido no PDE 2024 poderia ser alterado, sem prejuízo, até meados da próxima década. Observa-se que em 2024 a diferença da estimativa deste estudo em relação à do PDE 2024 é de 143 TWh. Equivale à contribuição do aproveitamento do rio Tapajós que integra aquele plano, mais a de parte da nova capacidade geradora termelétrica a partir de gás natural e de outros combustíveis fósseis.
- A oferta de energia elétrica do setor sucroenergético da região centro-sul, que é a maior produtora, ocorre aproximadamente no período de menor hidraulicidade das bacias do sudeste e do nordeste, de abril a novembro. Portanto, adia o deplecionamento dos reservatórios e reduz a necessidade de geração termelétrica a partir de combustíveis fósseis.
- Além da sazonalidade vantajosa para o setor elétrico, a oferta de cana tem se mostrado particularmente confiável. As estatísticas da UNICA mostram que, em termos nacionais, desde 1980, apenas em 1981 e 2001 a produção sofreu redução pouco superior a 10% em relação à do ano anterior. No centro-sul, essas reduções de mais de 10% ocorreram em 1981, 2001 e 2012.
- A densificação do bagaço e da palha, que facilita seu armazenamento, poderá contribuir para que a geração de energia elétrica seja prolongada além do período de safra e proporcionará maior garantia de suprimento.

Algumas usinas novas na região centro-sul já geram excedentes na entressafra, sem densificar a biomassa, por falta de estímulos adequados.

- Caberá ao setor sucroenergético uma análise mais detalhada sobre a conveniência, para os geradores, de se associarem em pool para favorecer a comercialização da energia elétrica e aumentar a confiabilidade do seu suprimento ao mercado. Um mecanismo análogo àquele adotado pelos geradores hidrelétricos (MRE), que valorize sua geração elétrica, poderá estimular novos investidores do setor canavieiro e maior presença no mercado livre.
- A estimativa de produção de cana em 2050, 84% maior que a da safra 2015-16, associa um aumento da área plantada da ordem de 50% e elevação da produtividade agrícola de 23%. Tal aumento da área plantada demandaria apenas 2,5% da área atualmente ocupada pela pecuária. O Plano Nacional de Energia 2050 considera um aumento de 37% da quantidade de cana-de-açúcar, em toneladas por hectare, no mesmo período.
- A efetividade da utilização da cana-energia ou de outras variedades ricas em fibras para reduzir a geração baseada em fontes não renováveis dependerá também da parte da biomassa que venha a ser destinada à produção de E2G, pois esta reduziria a biomassa que seria utilizada para gerar energia elétrica.
- A opção de produzir etanol celulósico ou energia elétrica dependerá das condições do mercado, bem como da sinalização que o setor sucroenergético receba das políticas energética e ambiental definidas pelo governo. Estima-se que as reduções de GEE por tonelada de cana processada sejam semelhantes, tanto na utilização de cana-de-açúcar quanto na de cana-energia. Assim, a opção dependerá de qual combustível será substituído, além de características específicas da cana utilizada e das instalações nas quais será processada.
- A geração a óleo diesel no horário de ponta, estimada atualmente em cerca de 8 mil MW, acarretou, em 2014, um consumo anual de cerca de 1,6 milhão de metros cúbicos desse combustível, responsável pela emissão anual de cerca de 4 milhões de toneladas de CO₂eq. Esta geração decorre, basicamente, dos elevados preços da energia fornecida pelas distribuidoras naquele horário. A contribuição do setor sucroenergético, nesse contexto, demandaria uma ação mais efetiva e abrangente do setor sucroenergético e do próprio mercado livre do setor elétrico, conforme praticado em outros países.
- A efetiva contribuição do setor sucroenergético para que emissões de GEE sejam evitadas, tanto pela geração de energia elétrica quanto pela produção de etanol, depende fortemente de uma postura proativa do governo, mediante políticas energéticas estáveis, particularmente no tocante à incidência fiscal e aos preços resultantes do etanol e dos combustíveis

concorrentes. A taxaço do etanol deveria refletir suas externalidades positivas e a importância de sua participação na matriz energética para que sejam alcançados os resultados propostos pelo país na COP 21.

- Dado que a oferta de energia elétrica do setor sucroenergético dependerá da produção de cana para fabricação de açúcar e de etanol, será desejável que o governo estimule o uso eficiente desse combustível para que este possa competir mais favoravelmente com seus concorrentes fósseis. O governo poderia contribuir para o desenvolvimento do mercado de veículos leves que utilizem exclusiva ou preferencialmente etanol, priorizando em suas frotas o uso de veículos projetados para essa finalidade, a exemplo do que foi feito no âmbito do PROÁLCOOL. Além desse mercado potencial, há atualmente cerca de 4 milhões de carros abastecidos somente com etanol, cuja reposição anual já constitui um mercado significativo. A indústria automobilística poderia ser incentivada a produzir tais veículos, inclusive mediante adequação de mecanismos já existentes, como o INOVARAUTO.
- No tocante à geração a partir de biomassa florestal, sua contribuição foi estimada a partir de metas definidas no Acordo de Paris, embora seja admissível geração ainda mais expressiva, seja a partir desta, seja com outras biomassas. A participação da geração com base na biomassa florestal aqui considerada varia de 2% da demanda do país em 2015 a 7% em 2050. Essas estimativas incluem tanto aquela destinada especificamente à geração elétrica quanto aquela decorrente da utilização de subprodutos da indústria de papel e celulose, hoje dominante.
- Metas de produção de biocombustíveis, segurança alimentar e desenvolvimento sustentável podem ser alcançadas simultaneamente, de acordo com o relatório *Reconciling Food Security and Bioenergy: Priorities for Action*, divulgado em junho de 2016. Mostra que a área disponível não é um fator limitante para produção simultânea de alimentos e bioenergia no mundo. Recomenda a adoção de estratégias específicas para lidar com fatores locais de risco, engajamento de populações locais, estímulo à compatibilidade da coprodução de alimentos e bioenergia, adoção de culturas flexíveis e planejamento para diversificar mercados locais com aproveitamento de resíduos como palha e bagaço de cana, por exemplo.

Todas essas observações e recomendações demandam medidas efetivas para sua viabilização. Entre elas:

- justificar econômica, técnica e ambientalmente a evolução proposta para a matriz energética do país;
- sinalizar, com os instrumentos de governo nos planos tributário e financeiro, a prioridade conferida ao desenvolvimento dos programas e projetos propostos;

- desenvolver e manter processos transparentes de acompanhamento dos projetos necessários às metas estabelecidas;
- redirecionar os fundos setoriais vinculados ao setor energético para efetivo apoio aos temas prioritários, estimulando a pesquisa e a inovação em áreas-chave;
- estimular novos investidores para que seja realizada a expansão necessária do setor sucroenergético, integrando agentes de diferentes setores e incorporando assim novos conceitos e práticas gerenciais;
- promover ampla mobilização em prol da eficiência energética, com especial atenção para o uso do etanol e da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis;
- criar mecanismos de mensuração das externalidades da utilização do etanol nos planos socioambiental e econômico.