

Informe Técnico

Série SI Energia:

Modelos de negócios para a geração de eletricidade a partir de resíduos sólidos urbanos



Empresa de Pesquisa Energética



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e

Desenvolvimento Energético

Reive Barros dos Santos

Secretário de Energia Elétrica

Rodrigo Limp Nascimento

Secretário de Petróleo, Gás Natural e

Combustíveis Renováveis

José Mauro Ferreira Coelho

Secretária de Geologia, Mineração e

Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Vitoria Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível

Giovani Vitoria Machado (interino)

Diretor de Gestão Corporativa

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira (interino)

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar - 70065-900 - Brasília - DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, 01 - 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro - RJ

Informe Técnico

Série SI Energia:

Modelos de negócios para a geração de eletricidade a partir de resíduos sólidos urbanos

Coordenação Geral

Giovani Vitoria Machado

Coordenação Executiva

Carla da Costa Lopes Achão

Coordenação Técnica

Luciano Basto Oliveira

Equipe Técnica

Daniel Kühner Coelho

Gabriel Konzen

Luciano Basto Oliveira

Marcelo Costa Almeida

Nº EPE-DEA-IT-003/2020

06 de abril de 2020

APRESENTAÇÃO

Após a publicação do Informe Técnico “Potencial Energético dos Resíduos Urbanos”, publicado no final de 2019, a EPE busca através deste novo informe avançar as análises do tema, avaliando modelos de negócios para a viabilização do aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com foco na produção de eletricidade. Com isso, conforme a missão da EPE, espera-se subsidiar o planejamento energético nacional e a elaboração de políticas públicas integradas.

Cabe destacar que não faz parte deste informe hierarquizar ou fazer juízo de valor sobre o melhor modelo a ser perseguido. O objetivo é trazer de forma isenta diferentes alternativas, com sua avaliação de competitividade, oportunidades e desafios. Também são apresentadas sinergias entre a produção de eletricidade, combustíveis e calor, identificando potenciais benefícios da complementariedade entre elas.

A EPE vem desenvolvendo estudo sobre o potencial energético de resíduos urbanos e rurais desde 2008. Juntamente com outras referências bibliográficas, esses trabalhos servem de base para estudos mais específicos como o presente. Dentre os trabalhos anteriores pode ser citadas as seguintes publicações: [Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande \(MS\)](#), [Inventário Energético de Resíduos Rurais](#), [Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético de Resíduos Rurais](#), [Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos](#), [Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos](#), [SIenergia - Sistema Integrado de Informações para Energia](#), [Potencial Energético dos Resíduos Agropecuários](#) e, por fim, o [Potencial Energético dos Resíduos Urbanos](#), que foi principal motivador para esta análise mais detalhada, como mencionado.

Atualmente, o SIenergia pode ser acessado através do [link http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sienergia](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sienergia) e contempla o módulo de oferta dos resíduos da agropecuário, com informações em nível municipal e anual. O Módulo de oferta dos resíduos urbanos, utilizado para subsidiar parte deste trabalho está em desenvolvimento com previsão de publicação ainda no primeiro semestre de 2020.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
SUMÁRIO.....	2
FIGURAS	3
1 CONTEXTO	4
2 MODELOS DE NEGÓCIOS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM RSU	9
2.1 Contratação via Chamada Pública pelas Distribuidoras (VRES)	9
2.2 Enquadramento como Minigeração Distribuída	10
2.2.1 Isenção de ICMS para projetos acima de 1 MW	12
2.3 Mix de eletricidade, combustível e cogeração	12
2.3.1 Licitação em Bloco de Eletricidade e Combustíveis.....	13
2.3.2 Bônus com cogeração	14
2.3.3 Licitação em Blocos mais bônus com cogeração	16
2.4 Receita adicional com mercado de energia renovável e créditos de carbono .	17
2.5 Receita adicional com precificação de externalidades pelos municípios.....	19
2.6 Tabela resumo	21
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

FIGURAS

Figura 1 – Distribuição e destinação final do RSU, no Brasil, em 2018.	6
Figura 2 - Composição Média e Produção de RSU.....	7
Figura 3 – Rotas e percentuais de destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil ...	7
Figura 4 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU	11
Figura 5 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU	12
Figura 6 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível.....	14
Figura 7 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício da remuneração da energia térmica via cogeração.	16
Figura 8 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível e da remuneração da energia térmica via cogeração.....	17
Figura 9 – Despesa total com serviços de coleta e manejo de RSU por tonelada.	21

1 CONTEXTO

Estima-se que a população mundial, hoje de mais de 7,4 bilhões de habitantes, esteja gerando cerca de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, segundo Kaza et al. (2018).

A composição e a quantidade de lixo urbano gerada por habitante variam conforme o nível de desenvolvimento dos países. Verifica-se que o brasileiro produz bem menos lixo do que europeus, como holandeses, dinamarqueses e alemães, por exemplo (idem).

Os aterros ou lixões são os principais destinos dos resíduos urbanos na maioria dos países. Nas nações desenvolvidas, embora os aterros sanitários sejam uma importante parte da gestão integrada, parte considerável do lixo é incinerada com recuperação de energia ou encaminhada para compostagem e reciclagem. Na Alemanha, por exemplo, apenas 9 kg, em média, por habitante vão anualmente para os aterros. Na Itália, essa quantidade é de 154 kg. No Brasil, os aterros e lixões recebem 348 kg de lixo gerado por habitante ao ano (ABRELPE, 2019).

Além disso, a quantidade de resíduos gerada no Brasil vem crescendo de forma muito acelerada, juntamente com os processos de urbanização e crescimento econômico que o país passa nos últimos anos.

O país chegou ao início do século XXI com população de 175 milhões de habitantes e taxa de crescimento demográfico em torno de 1,4% ao ano. Apesar de a taxa de crescimento estar caindo sistematicamente, a população brasileira atingiu 211 milhões no primeiro trimestre de 2020 (IBGE, 2020).

Desde a década de 50, essa população vem se concentrando nas áreas urbanas, devido aos mais variados fatores, tais como migração interna, mecanização da agricultura, processo de industrialização, busca de melhores oportunidades de empregos e qualidade de vida, etc.

O acelerado processo de urbanização e de crescimento da população, aliado ao consumo crescente de produtos menos duráveis, e/ ou descartáveis, provocou sensível aumento do volume e diversificação do lixo gerado e sua concentração espacial. Desse modo, o encargo de gerenciar o lixo tornou-se uma tarefa que demanda ações diferenciadas e articuladas, as quais devem ser incluídas entre as prioridades de todas as municipalidades.

Segundo o Diagnóstico do Manejo de Resíduos, ano de referência 2018 (SNIS, 2019), no Brasil, foram coletados 72,7 milhões de toneladas de lixo. Isso representa elevada cobertura do serviço regular de coleta domiciliar de resíduos sólidos, de 92,1% da população total e 98,8% da população urbana. Trata-se de um avanço em relação aos valores de 1990 (64%), de 1981 (49%) e de 2007 (83,3%).

Todavia, ainda segundo a Abrelpe, apenas cerca de 60% do resíduo coletado tem destinação final ambientalmente adequada. Ressalte-se que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei Nº 12.305) considera destinação final ambientalmente adequada a destinação de resíduos que inclui a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final (isto é, a distribuição ordenada de rejeitos em aterros), observando normas operacionais específicas de modo a minimizar os impactos.

As grandes cidades, densamente ocupadas e conurbadas, que no Brasil hoje já compõem 26 Regiões Metropolitanas, apresentam problemas semelhantes que desconhecem os limites municipais, tais como: escassez ou inexistência de áreas para a disposição final do lixo; conflitos de usos do solo, com a população estabelecida no entorno das instalações de tratamento, aterros e lixões; exportação de lixo a municípios vizinhos. Isso gera resistências e lixões e aterros operados de forma inadequada, poluindo o solo e os recursos hídricos.

Através dos Sistema de Informações para Energia da EPE ([SIenergia](#)), a partir de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, foi possível traçar um panorama da distribuição municipal dos resíduos sólidos urbanos, no Brasil, em 2018 (SNIS, 2019), apresentado na Figura 1.

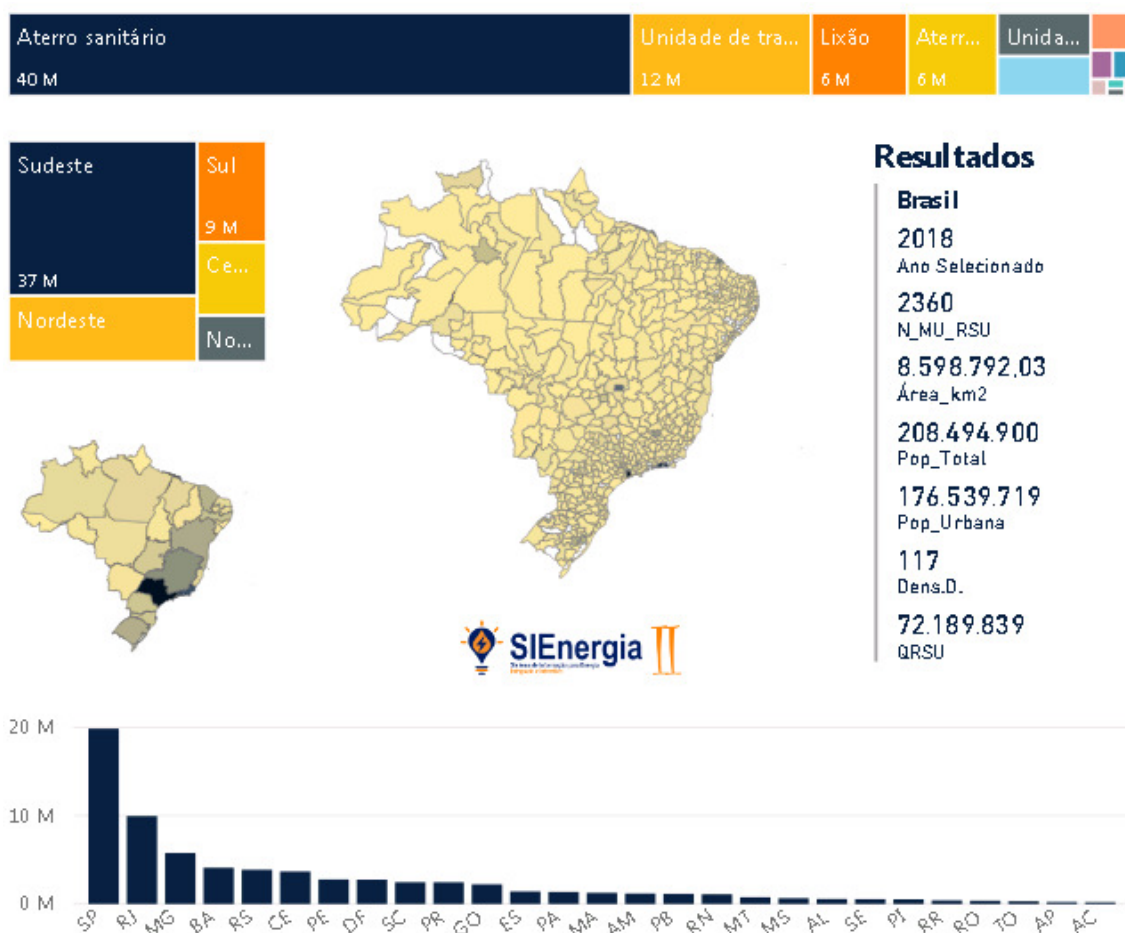


Figura 1 – Distribuição e destinação final do RSU, no Brasil, em 2018.

Fonte: Elaboração própria (SIenergia) a partir de SNIS, 2019.

Ressalte-se que os resíduos sólidos urbanos brasileiros não são uma massa homogênea, um único material. Além de sua umidade, que se aproxima de 50% da massa, sua composição se dá por distintos teores de matéria orgânica, inertes, papéis, plásticos, vidros e metais, como se observada na Figura 2.

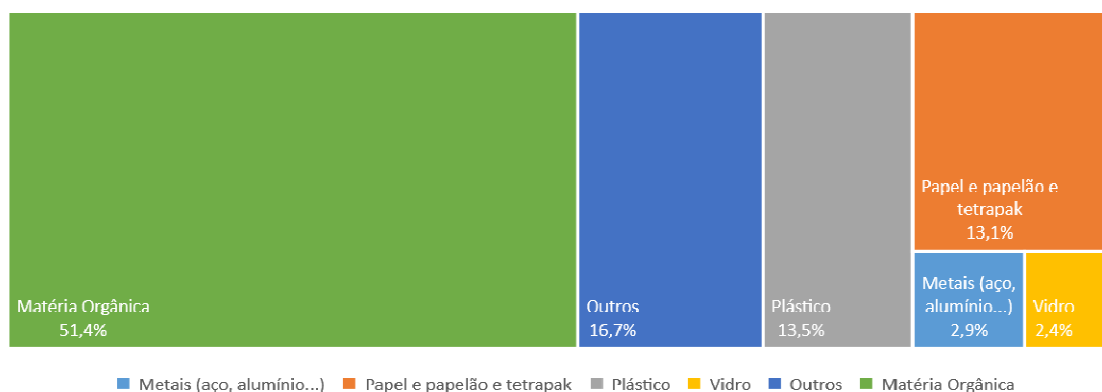


Figura 2 - Composição Média e Produção de RSU

Fonte: IPEA, 2010 in CEMPRE, 2014 “Guia da Coleta Seletiva de Lixo”.

Portanto, como uma massa heterogênea, composta por diversos materiais, requer avaliação das tecnologias e das receitas possíveis, para averiguar se existem modelos de negócios viáveis. A decisão entre processar a massa heterogênea ou separar e promover distintos aproveitamentos e/ou destinações finais, bem como a avaliação sobre a evolução da composição, produção per capita, políticas de reciclagem e nível de participação da população em separar e aderir a campanhas de conscientização, além de como acessar as receitas possíveis para cada alternativa são elementos muito importantes para a definição do empreendimento.

A Figura 3 representa a maioria das opções de destinação do RSU, bem como os teores ótimos que podem ser direcionados a cada destinação final.

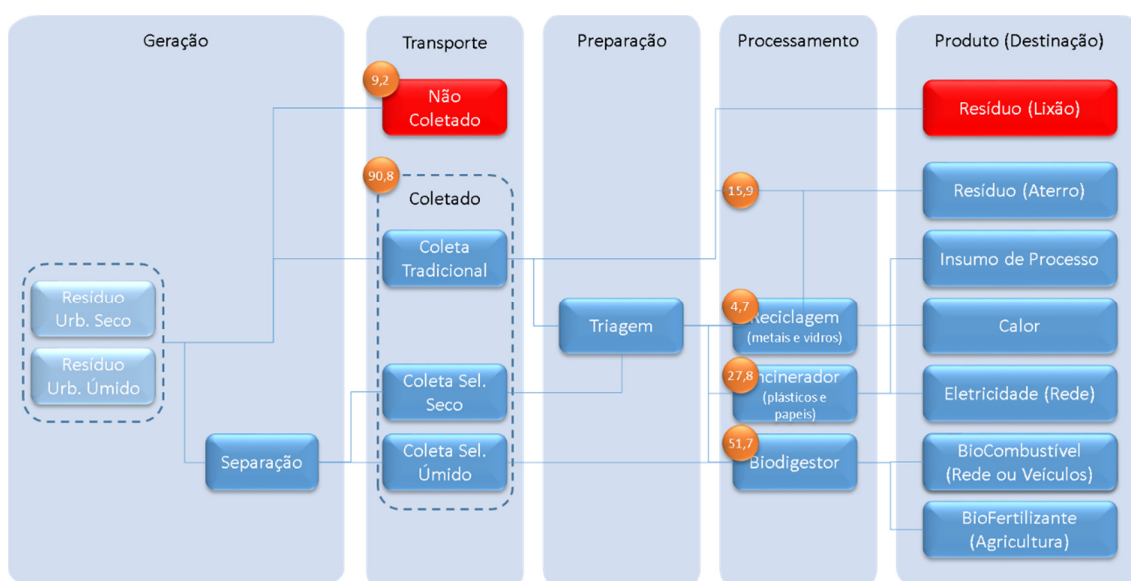


Figura 3 – Rotas e percentuais de destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Fonte: Elaboração própria.

Neste trabalho, nos dedicaremos à fração formada majoritariamente por materiais combustíveis, de modo a garantir o poder calorífico inferior, para desenvolver análises de modelos de negócios para a geração de eletricidade a partir de resíduos urbanos. Essa ressalva é importante, pois a redução da umidade da fração de restos alimentícios através de cogeração na própria usina consome a energia térmica que poderia ter outra aplicação e converter-se em receita. Também será analisada a geração elétrica a partir do biogás decorrente da decomposição dos restos alimentícios.

2 MODELOS DE NEGÓCIOS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM RSU

Para a elaboração dos modelos de negócio a serem apresentados se assume a premissa de que as prefeituras não dispõem de recursos financeiros e capacidade técnica para construir e operar as plantas de aproveitamento energético de resíduos. Por tanto, é considerado que o aproveitamento será realizado por um empreendedor privado, que poderá realizar a atividade via concessão ou parceria público-privada (PPP). Essa atividade poderá ser feita de forma conjunta com o serviço de coleta. O empreendedor poderá explorar a atividade de geração de energia (combustível e eletricidade) como julgar mais adequado.

São apresentadas duas formas principais de comercialização da eletricidade, que podem ser compatibilizadas com a venda conjunta de biometano e/ou calor, de forma a melhorar a competitividade da eletricidade. Adicionalmente, são apresentadas duas formas de geração de receita extra, que também têm o objetivo de aumentar a competitividade do negócio.

2.1 Contratação via Chamada Pública pelas Distribuidoras (VRES)

Segundo o Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, as distribuidoras podem atender até 10% de sua carga através de projetos de geração distribuída. A contratação dos empreendimentos deste tipo é feita por meio de chamadas públicas, promovidas diretamente pelos agentes de distribuição. Até o ano de 2015, conforme estabelecido pela Lei 10.848/2004, o repasse dos custos de aquisição de geração distribuída às tarifas finais dos consumidores estava limitado pelo Valor de Referência (VR). Este Valor de Referência é calculado com base nos valores médios de aquisição de energia elétrica nos leilões A-5 e A-3 e, portanto, baseados em projetos centralizados de grande porte, inviabilizando a maior parte dos projetos de geração distribuída.

No entanto, a Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015, alterou a Lei 10.848/2004 e instituiu o Valor Anual de Referência Específico (VRES), um valor diferenciado que considera condições técnicas e a fonte de geração distribuída. A partir de então, o repasse dos custos desta modalidade de contratação está limitado ao maior valor entre o Valor Anual de Referência – VR e o Valor Anual de Referência Específico – VRES.

A Portaria MME nº 65, de 27 de fevereiro de 2018, estabeleceu o VRES para diferentes tecnologias de geração distribuída, incluindo o valor de até R\$ 561/MWh para projetos de RSU. (MME, 2018). Segundo estimativas da EPE que embasaram a Portaria, esse valor seria suficiente para garantir a viabilidade econômica de biodigestão. Para o caso de plantas de incineração, estimativas da EPE apontaram que o custo nivelado seria menor, na faixa de R\$ 450/MWh. Por outro lado, deve-se reconhecer que ambos valores são superiores ao custo médio com compra de energia (Pmix, que foi R\$ 207/MWh em 2019 – EPE, 2019) das distribuidoras, o que tenderia a aumentar as tarifas de eletricidade.

Adicionalmente, a recomendação da ANEEL (2018) é de que “(...) as distribuidoras poderiam elaborar estudo para justificar a escolha (i) de uma fonte de geração em especial e (ii) de determinado ponto de conexão da GD em sua rede, demonstrando as vantagens econômicas para integração da fonte de GD e/ou do local de conexão, considerando-se aspectos de perdas, redução ou postergação de investimentos, bem como o cálculo do impacto tarifário acumulado desse tipo de contratação.”.

Sob o ponto de vista das distribuidoras, em evento realizado pelo BNDES no final de 2018, representantes das companhias informaram que tal contratação traria impacto nas tarifas, que seria um vetor para o aumento da inadimplência. Logo, o modelo de contratação voluntária não seria atrativo para as distribuidoras.

Além disso, convém ressaltar que a perspectiva de evolução da demanda, a partir da crise do Covid19, é de redução sobre o que estava projetado anteriormente.

2.2 Enquadramento como Minigeração Distribuída

No âmbito da Resolução ANEEL nº 482/2012 (REN 482), há a possibilidade do empreendimento de geração elétrica via RSU injetar a energia na rede da distribuidora e compensar os créditos em outras unidades consumidoras dentro da área de concessão da mesma distribuidora. A REN é válida para projetos de até 5 MW. O empreendedor responsável pelo investimento na planta e pela sua operação pode destinar essa eletricidade para unidades consumidoras do Poder Público ou outros consumidores comerciais, por exemplo, e ser remunerado por isso.

A REN 482 proíbe a comercialização da eletricidade gerada (em R\$/MWh), mas através de modelos de arrendamento ou aluguel da planta de geração, em conjunto com a atividade de operação, é possível que o empreendedor seja remunerado mensalmente pelo ativo e serviço prestado. Para o cliente, a escolha dessa solução deve proporcionar

uma economia em relação aos gastos com eletricidade através da compra via distribuidora. Portanto, o empreendedor precisa fornecer um “desconto” em relação ao fornecimento convencional.

No momento, a REN 482 se encontra em revisão, havendo a possibilidade de alteração das regras de compensação. Atualmente, os créditos de energia gerados podem compensar todas as componentes tarifárias¹. A proposta de compensação de apenas algumas componentes tende a diminuir a viabilidade dos projetos, como mostra a Figura 4.

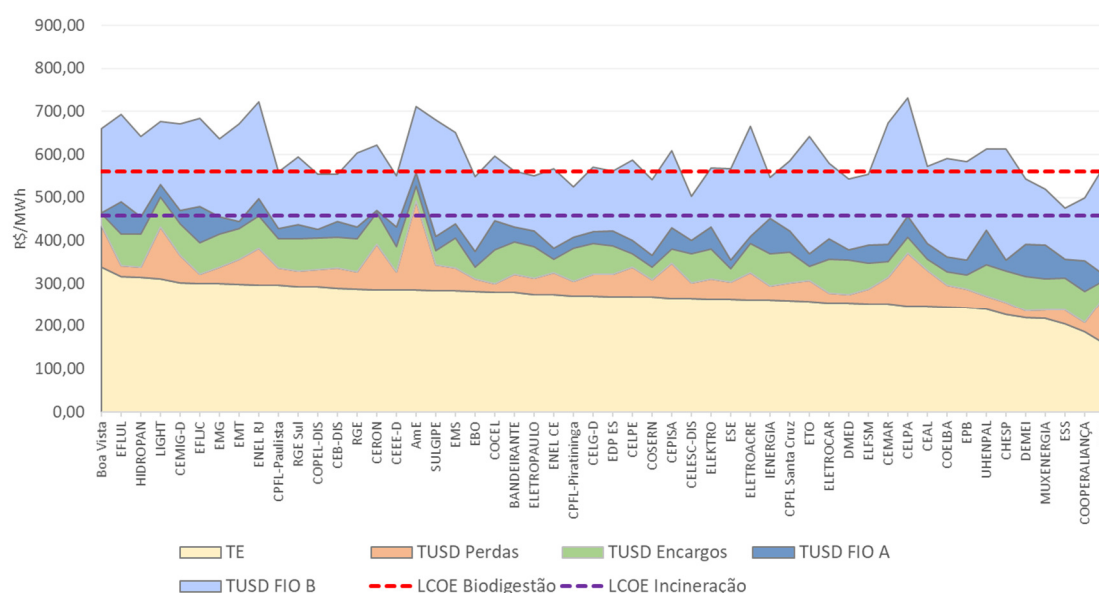


Figura 4 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU

Nota: tarifas de 2019 com impostos compatíveis com modelo de geração remota de 5 MW. Custos nivelados calculados com base em MME (2018)).

Como mostra a Figura 4, com o empilhamento de todas as componentes, o custo nivelado dos projetos de biodigestão e incineração se mostra competitivo em diversas distribuidoras. No caso da não compensação da parcela FIO B, somente projetos de incineração em algumas distribuidoras seriam competitivos. Dadas as incertezas quanto ao futuro da REN 482, há um risco no desenvolvimento de projetos nesse modelo.

¹ Energia, distribuição (FIO B), transmissão (FIO A), encargos e perdas.

Por fim, cabe ressaltar que, internacionalmente, cerca de 90% das plantas de incineração instaladas têm potência superior a 5 MW (WTERT, 2013). Portanto, pode-se encontrar dificuldades em viabilizar plantas na escala permitida pela REN 482.

2.2.1 Isenção de ICMS para projetos acima de 1 MW

As tarifas apresentadas na Figura 4 não têm a incidência de ICMS, pois o Convênio CONFAZ ICMS 15/2016 limita a isenção para projetos de até 1 MW. Ou seja, a compensação dos créditos de geração distribuída acima de 1 MW não abatem o ICMS da fatura de eletricidade. No caso de projetos de geração elétrica de RSU, entende-se que a escala supera esse patamar, e, portanto, não receberiam o benefício.

Caso houvesse a extensão da isenção para projetos acima de 1 MW, a viabilidade seria melhorada, como pode ser visto na Figura 5. Caberia aos estados avaliar a redução de receita esperada, frente aos custos com saúde oriundos da má destinação do lixo nas cidades.

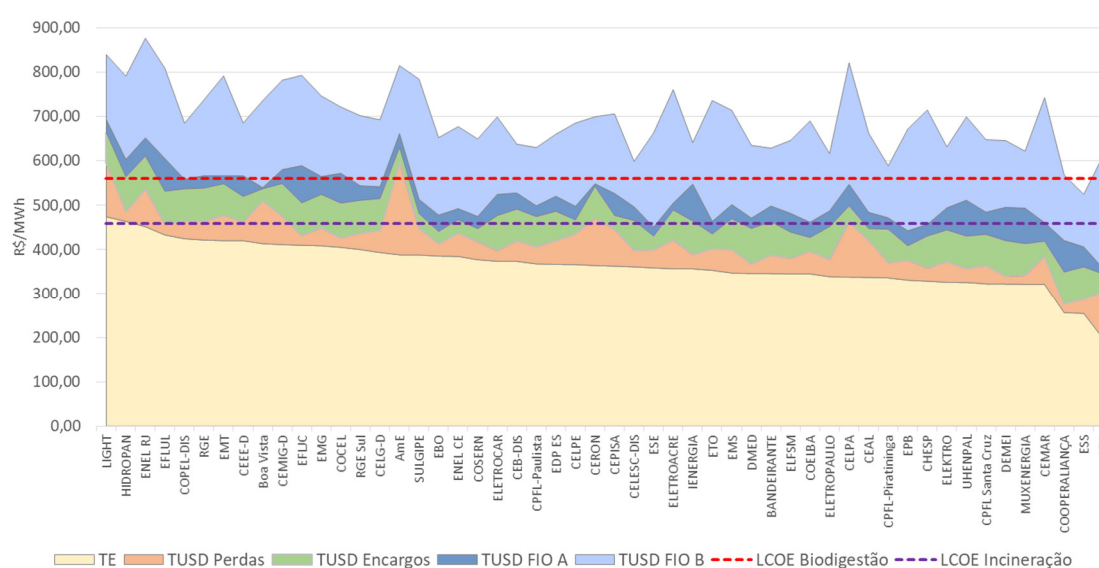


Figura 5 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU

Nota: tarifas de 2019 com impostos (ICMS, PIS e COFINS). Custos nivelados calculados com base em MME (2018).

2.3 Mix de eletricidade, combustível e cogeração

A composição dos RSU e a disponibilidade tecnológica permite o consórcio de soluções de modo a extrair os produtos de acordo com as melhores valorações de mercado, de acordo com o conceito de economia de escopo.

Os subitens, a seguir, tratarão da apropriação dos energéticos de acordo com suas valorações ora disponíveis.

2.3.1 Licitação em Bloco de Eletricidade e Combustíveis

Conforme apresentado em EPE (2019), há maior competitividade na exploração comercial dos resíduos para a produção de combustíveis do que eletricidade. O biometano é, no mínimo, 30% mais barato que o diesel, e, logo, poderia ser utilizado para substituir o consumo das frotas municipais, feita a devida conversão dos motores para que funcionem com gás.

Dessa forma, com o objetivo de se aproveitar as parcelas úmida e seca do lixo, além de aumentar a competitividade da produção da eletricidade, pode ser pensado num modelo de negócio conjugado. Ou seja, diminui-se a margem na venda do biometano para melhorar a competitividade da eletricidade. Para tanto, as prefeituras concederiam o aproveitamento dos resíduos com a obrigatoriedade de produção dos dois energéticos.

Esse modelo, conhecido como licitação por blocos, ou “filé com osso”, costuma ser utilizado no setor de telecomunicações (IPEA, 2018) e aeroportos², de forma a equilibrar áreas lucrativas com áreas deficitárias. Tal modelo pode vir acompanhado pela compra compulsória do combustível e eletricidade por parte das prefeituras, ou somente do combustível, com a liberdade do empreendedor comercializar a eletricidade nos modelos anteriores.

A partir de EPE (2019), foi estimado quanto pode ser possível reduzir o custo nivelado da eletricidade de RSU com a compensação do benefício da parcela de combustível. Ou seja, foi simulado que a diferença de preço entre o biometano e o diesel fosse destinada para reduzir o preço do produto eletricidade, melhorando sua competitividade. A Figura 6 ilustra a estimativa.

² <https://www.machadomeyer.com.br/pt/inteligencia-juridica/publicacoes-ij/financiamento-de-projetos-e-infraestrutura-ij/concessoes-aeroportuarias-licoes-aprendidas-desafios-e-novas-oportunidades>

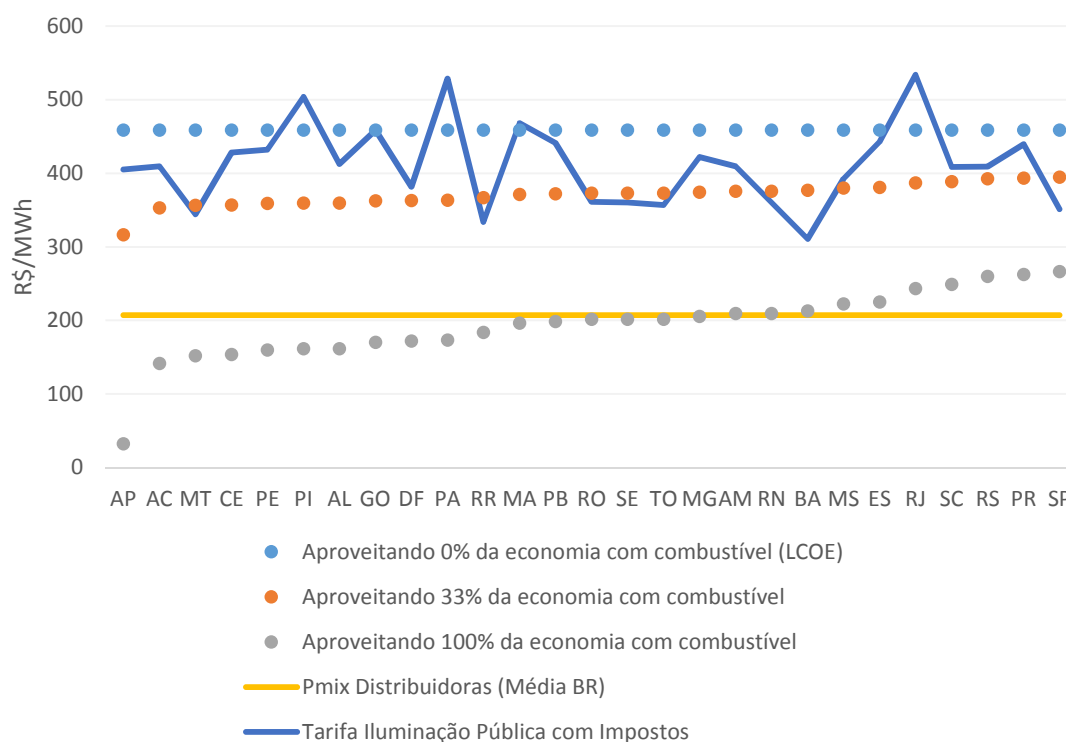


Figura 6 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível.

Nota: cálculo para plantas de incineração.

Como pode ser visto, a eletricidade poderia ser vendida abaixo do preço médio de compra de eletricidade das distribuidoras (Pmix) em 60% das unidades federativas caso fosse considerada a receita conjunta da eletricidade e do combustível. Com o aproveitamento de 1/3 da economia da parcela combustível, situação que permite a remuneração do incremento no custo de aquisição dos veículos e a assimilação de algum risco operacional, é possível encontrar competitividade com a tarifa de iluminação pública em 70% das UFs.

2.3.2 Bônus com cogeração

A lógica aplicada na seção anterior pode ser complementada com a apropriação de parte do calor residual. Nesse caso, a planta incineração de resíduos com cogeração poderia ser instalada junto a um distrito industrial, comercializando o calor gerado, gerando receita adicional. No entanto, a contabilização deste benefício complementar não é

direta, uma vez que, ao contrário da eletricidade, não existe mercado para a comercialização do calor no Brasil³.

Para estimar o valor da comercialização do calor, foi calculado o custo de atendimento térmico de um produto substituto. Nesse caso, a lenha.

Foram utilizados os dados de 2018 da quantidade produzida e do valor da produção de lenha, da publicação “Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estes dados estão disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). A quantidade produzida é informada em metros cúbicos estéreos, e sua conversão em unidades energéticas utilizou dados do Balanço Energético Nacional para lenha comercial (Densidade de 390 kg/metro cúbico estéreo, e poder calorífico inferior de 3.100 kcal/kg).

A produção de lenha está concentrada nos estados da região sul, mais Minas Gerais e São Paulo. Para esses estados, o cálculo mostrou os valores da energia térmica mínimo e máximo são R\$ 41,57/MWh-t (SP) e R\$ 49,91/MWh-t (PR). O valor para o Brasil é de R\$ 48,01/MWh-t.

No caso da planta de incineração, foi considerada uma eficiência elétrica de 20% e eficiência térmica final de 40%. Ou seja, a planta de cogeração teria uma eficiência total de 60%. Dividindo a receita extra com o calor (preço médio nacional) pela eletricidade total produzida pela planta, obtém-se o valor de R\$ 96 para cada MWh elétrico gerado. Portanto, caso fosse comercializado o calor da planta, seria possível reduzir em R\$ 96/MWh o custo nivelado da eletricidade a partir da incineração, chegando a um valor de R\$ 363/MWh. A Figura 7 ilustra a estimativa.

³ Em alguns países, através do modelo conhecido como district heating, o calor é comercializado em forma de água quente ou vapor através de tubulações.

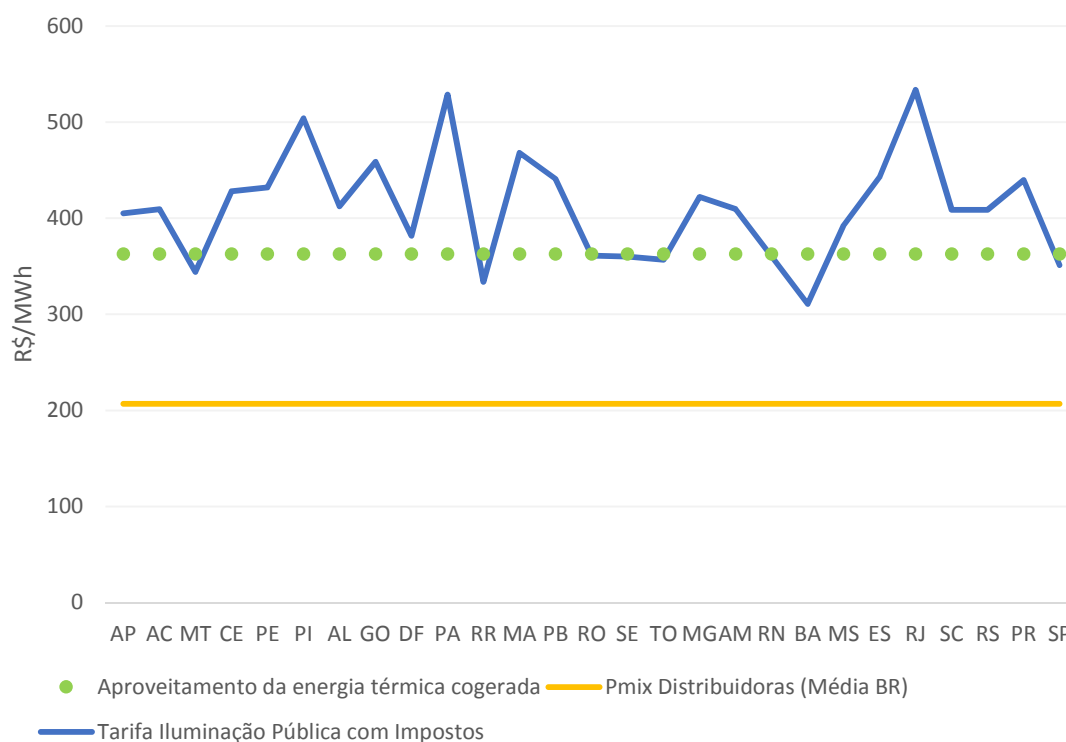


Figura 7 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício da remuneração da energia térmica via cogeração.

Nota: cálculo para plantas de incineração.

Ainda que também seja identificada viabilidade em 70% das UF's, é importante observar que o valor considerado na estimativa se refere apenas à parcela combustível para o consumidor de energia térmica. As parcelas de investimento, operação e manutenção (O&M) fixa do processo de geração de calor não estão incluídas na estimativa realizada, caracterizando uma abordagem conservadora para novos empreendimentos industriais e, descontando o investimento e parte do O&M, para os já existentes que venham a substituir a oferta.

2.3.3 Licitação em Blocos mais bônus com cogeração

Agregando as análises realizadas acima, é possível ampliar a viabilidade, como mostra a Figura 8.

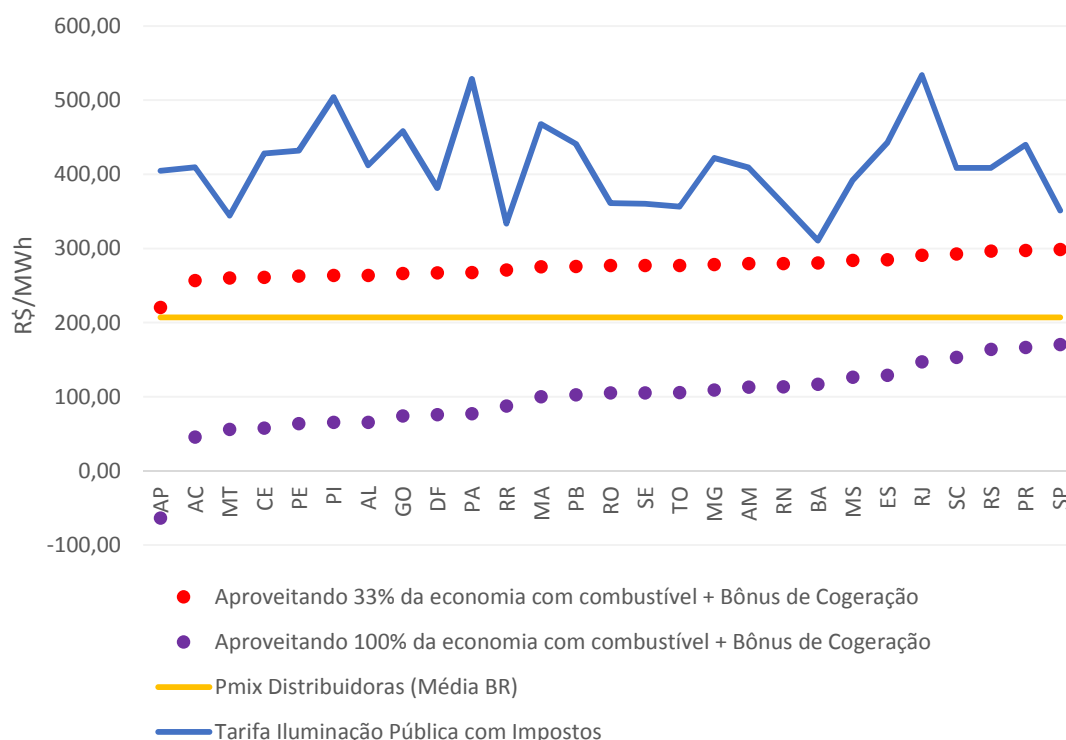


Figura 8 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível e da remuneração da energia térmica via cogeração.

Nota: cálculo para plantas de incineração.

A Figura 8 permite depreender que a agregação dos benefícios com a venda de combustível promove a viabilidade em todas as UF's. Inclusive, quando utilizada a íntegra da economia da substituição de combustíveis, a agregação de benefícios torna a eletricidade da incineração mais barata que o Pmix.

Por outro lado, cabe ressaltar a complexidade adicional de estruturar um negócio que envolva diferentes agentes (cliente da eletricidade, cliente do combustível, cliente do calor, poder concedente, empreendedor) e a uniformização dos contratos.

2.4 Receita adicional com mercado de energia renovável e créditos de carbono

O Brasil conta com um Programa de Certificação de Energia Renovável, que emite créditos (RECs) para empreendimentos de geração de energia com fontes renováveis e permite a comercialização desses créditos com empresas interessadas em comprovar um consumo de energia mais renovável. Segundo dados do Instituto Totum, órgão responsável pelas emissões dos RECs no Brasil, os créditos são comercializados

nacionalmente ao preço de R\$ 2 a 5/MWh⁴. É um valor baixo, originado de uma demanda voluntária. No entanto, no médio e longo prazo, caso venha a ser desenhado um mecanismo de *cap and trade* amplo no Brasil, pode se esperar preços mais altos para os RECs.

Cabe ressaltar que esse é um modelo de mercado que está alinhado com os princípios de modernização do setor elétrico, com a estratégia para cumprimento da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Estimativa dos preços dos certificados para viabilidade

O aproveitamento energético dos resíduos urbanos mitiga emissões equivalentes ao balanço entre as fontes emissoras, como os plásticos e borrachas, que têm origem fóssil, e a mitigação dos materiais biodegradáveis que emitiriam metano em vazadouro, além do conteúdo de carbono no mix da matriz elétrica nacional.

A quantidade mitigada é de 80% do metano da decomposição dos restos alimentares (pois as tochas de segurança só têm eficiência de 20%). Sabe-se que a massa específica do metano é de 0,716 kg/m³ e o potencial de aquecimento global (GWP)⁵ é de 28, para 100 anos, enquanto sua combustão é considerada neutra, por ser de origem biogênica (IPCC, 2014). Quanto esse metano for utilizado para substituir óleo diesel, evitará sua combustão cuja emissão é de 2,93 kg CO₂/Litro (EPE, 2007).

Assim, a mitigação será de $80\% \times 0,716 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3 \times 28 = 80\% \times 20 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}/\text{m}^3 = 16 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}/\text{m}^3$, enquanto a substituição do diesel corresponde a 2,9 kg CO₂/m³. Logo, o benefício é de aproximadamente 17 kg CO₂ eq/m³ de biometano utilizado nos transportes.

Como o potencial de biometano é de 4,3 Mm³ de diesel equivalente/a (EPE, 2019), sabendo-se que a relação entre diesel e biometano é de 1L:1m³, tem-se que a mitigação

⁴ Valor apresentado durante a Intersolar South America, em São Paulo, em agosto de 2019.

⁵ O potencial de aquecimento global ou GWP (da sigla em inglês) tem como função equiparar o efeito dos gases para o fenômeno climático ao do CO₂.

equivalente a seu consumo será de 17kg CO₂ eq/m³ de metano*4,3 bilhões de L de diesel equivalentes (que são iguais a m³ de metano) = 73 Mt CO₂ eq/a.

Já o potencial de geração elétrica da incineração foi estimado em 3,2 Mm³ eq de óleo diesel (idem), cujo fator de conversão é de 260 L/MWh, o que corresponde a 12,3 TWh/a. Considerando o fator de emissão do plástico e da borracha presentes no lixo urbano, materiais com poder calorífico para incinerar, da ordem de 2,83 kg CO₂/kg (CentroClima, 2005), similar à do óleo diesel, representa a emissão de cerca de 9 Mt CO₂. Com isso, o saldo seria de 64 MtCO₂ de mitigação.

Como o aproveitamento veicular do biometano mostra-se competitivo, é possível que esse montante de mitigação seja disponibilizado apenas para viabilizar a energia elétrica passível de geração através da incineração, o que representa o fator de mitigação de 5,2 t CO₂/MWh.

Com isso, para reduzir o custo nivelado original de uma planta de incineração (R\$ 450/MWh) para o valor típico de aquisição das distribuidoras (Pmix, de R\$ 207/MWh em 2019, conforme apresentado em EPE, 2019), os certificados de mitigação deveriam atingir cerca de R\$ 243/MWh, ou aproximadamente R\$ 46/tCO₂ eq (cerca de US\$ 9/t CO₂ eq, ao câmbio atual).

As estimativas sobre custos de carbono utilizam três faixas: a primeira envolve medidas com custos negativos ou nulos, que requer ações para reduzir a assimetria de informações, alterar comportamentos ou remover barreiras institucionais; a segunda com custos positivos até um certo nível, passível de assimilação pela alteração de preços relativos; a terceira, com valores mais altos, que requer desenvolvimento tecnológico (FGV, 2018). As negociações europeias atingiram € 16,35/t CO₂ em março de 2020, em virtude do COVID-19, valor mais baixo desde 2018 (Reuters, 2020).

2.5 Receita adicional com precificação de externalidades pelos municípios

Os problemas relacionados com a destinação inadequada dos RSU são explicados, em parte, pela falta de uma cobrança do poluidor (famílias e empresas) pelas externalidades negativas geradas ao meio ambiente e à saúde da população.

A aplicação do consagrado princípio de “poluidor-pagador” é prevista no artigo 4º da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio

Ambiente (Brasil, 1981). Portanto, uma cobrança de indenização pelas externalidades negativas possibilitaria um recurso adicional que poderia ser destinado para remunerar as empresas responsáveis pela coleta e aproveitamento energético de tais resíduos. A cobrança poderia ser realizada através de multa pela falta de separação do lixo, ou através da instituição ou aumento da taxa de coleta de lixo, para incluir também os custos com a correta destinação.

Essa receita adicional favoreceria a produção de eletricidade nos modelos de negócio apresentados, permitindo reduzir outras receitas. Essa alternativa também está alinhada com os princípios apresentados na alternativa anterior, porém, deve incorrer em oposição popular ser uma cobrança extra às famílias e empresas. Adicionalmente, exige a regulamentação pulverizada dos governos municipais.

Cabe ressaltar que está em discussão⁶ a atualização do marco legal do saneamento básico no Brasil. Logo, há a oportunidade de se discutir como esse instrumento pode ser construído de forma a considerar os aspectos do aproveitamento energético dos resíduos.

Estimativa da remuneração adicional para viabilizar a eletricidade a partir de RSU

Conforme apresentado na seção 2.4, há um delta de aproximadamente R\$ 240/MWh entre o preço da eletricidade atual médio pago pelas distribuidoras e o custo nivelado de uma planta de incineração a partir de RSU. Considerando a composição média do lixo no Brasil (Figura 2) e o PCI da parcela combustível do lixo, são necessárias 5 toneladas de lixo bruto para produzir cada MWh de eletricidade. Logo, se o empreendedor gerador recebesse em torno de R\$ 46/t de RSU adicionais ao valor atual recebido pela coleta⁷, o delta seria compensado.

Conforme o valor médio brasileiro da despesa total com serviços de coleta e manejo de RSU por tonelada, em 2018, apresentado na Figura 9, com base em dados do SNIS; o empreendedor gerador poderia receber remunerações ainda maiores para o manejo destes resíduos, o que tornaria mais viável este aproveitamento energético estudado.

⁶ Projeto de Lei 4162/2019 da Câmara dos Deputados.

⁷ Para o cálculo do custo nivelado de R\$ 450/MWh, foi considerada uma taxa de R\$ 40/t. Portanto, seria necessária uma taxa total de R\$ 83/t.

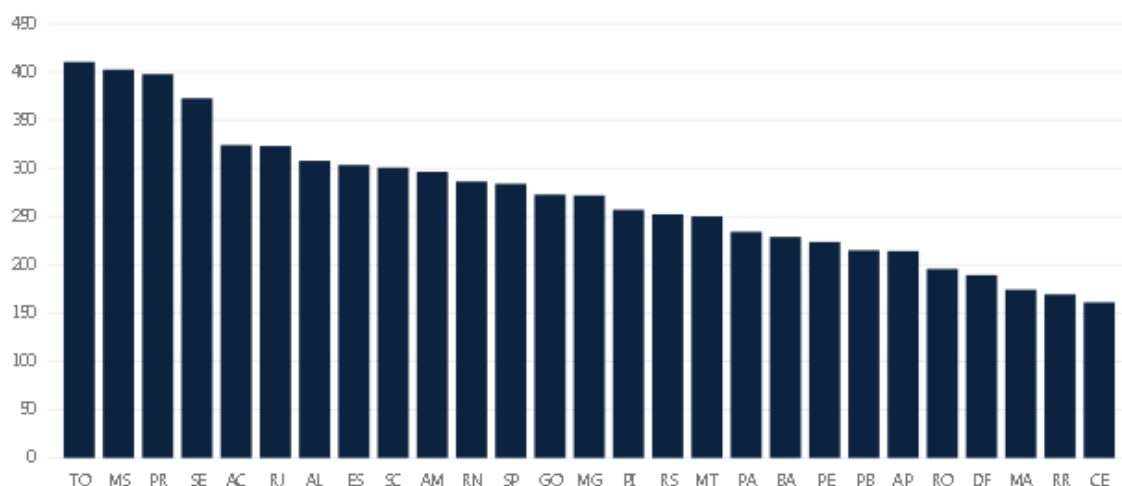


Figura 9 – Despesa total com serviços de coleta e manejo de RSU por tonelada.

Fonte: Elaboração própria (SIenergia) a partir de SNIS, 2019.

2.6 Tabela resumo

Modelo de Negócio	Oportunidades	Desafios
Chamadas Públicas pelas Distribuidoras (VRES)	• Preço teto é suficiente para viabilizar projetos • Contratos firmes com distribuidoras	• Depende do interesse das distribuidoras • Oposição popular com possível aumento de tarifas
Enquadramento como Minigeração Distribuída	• Contratos podem ser negociados bilateralmente com agentes públicos e privados (um ou vários) • Tarifa final de baixa tensão é elevada, oferecendo competitividade para a energia dos resíduos	• Modelo em revisão. Novas regras podem diminuir a atratividade
Mix de eletricidade, combustível e cogeração	• Permite aumentar a competitividade do produto eletricidade	• Diminui a competitividade do produto combustível • Exige maior integração dos contratos
Receita adicional com mercado de créditos de carbono e energia renovável	• Mercado de créditos de energia renovável (RECs) existente no Brasil	• Preço dos RECs ainda baixo (R\$ 2 a 5/MWh) • Mercado amplo de créditos de carbono não programado para o Brasil.
Receita adicional com precificação de externalidades	• Maneira direta de aumentar a receita com aproveitamento energético dos resíduos	• Oposição popular com aumento de taxas • Regulamentação pulverizada por municípios

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento buscou dar continuidade ao relatório publicado pela EPE no final de 2019, dando foco agora em modelos de negócio para o aproveitamento da eletricidade proveniente dos resíduos urbanos. Não se pretendeu esgotar os modelos de negócios possíveis para a viabilização de projetos de aproveitamento de RSU, uma vez que em mercados abertos e competitivos os próprios empreendedores encontram soluções inovadoras de negócios. Todavia, buscou-se identificar e avaliar alguns modelos de negócios, visando contribuir para a redução de assimetrias de informação no mercado e o desenvolvimento de projetos com RSU.

De modo geral, empreendimentos destinados exclusivamente ao aproveitamento elétrico têm baixa competitividade frente aos preços do mercado livre ou do mercado regulado. Dessa forma, foi identificado que a viabilidade do negócio pode ser alcançada através de arranjos que combinem mais de um produto proveniente do lixo. A remuneração da eletricidade em conjunto com biometano e/ou calor tem esse potencial. No entanto, ressalta-se a dificuldade de integrar contratos entre diferentes agentes com interesses em produtos distintos, de modo a dar garantias ao empreendedor para a realização do investimento.

Modelos de receita adicional também foram estudados, buscando incorporar o custo das externalidades ao preço da eletricidade. Nesse caso, a economia com gastos em saúde, por exemplo, poderia justificar a cobrança de uma taxa extra que seria destinada à remuneração dos empreendimentos de geração elétrica de RSU ou liberar recursos públicos para financiamento desses negócios, por darem destinação adequada a esses resíduos. De toda forma, os instrumentos de receita adicional isolados requereriam valores elevados para tornar viável o aproveitamento exclusivo da eletricidade. Apenas a mitigação de emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global mostrou-se na faixa de viabilidade dos preços praticados internacionalmente, ainda que a garantia de acesso a esse recurso para todos os empreendimentos requeira uma negociação específica. Portanto, reforça-se a proposta principal de que a competitividade deve ser buscada através do desenvolvimento de negócios que conjuguem a produção de eletricidade com a de biocombustível e o aproveitamento do calor para fins industriais.

Por fim, cabe ressaltar que está em discussão a atualização do marco legal do saneamento básico no Brasil. Logo, há a oportunidade de se discutir como esse

instrumento pode ser construído de forma a considerar os aspectos do aproveitamento energético dos resíduos.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2019). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018-2019. 68 p. Disponível em www.abrelpe.org.br. Acesso em 20/03/2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2012). Resolução 482. Compensação da Geração Distribuída. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 04/12/2019.

____ (2018). Nota Técnica no 138/2018-SRG/ANEEL. Aprimoramentos da Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005, que estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída. 8p.

____ (2019a). Revisões e Reajustes tarifários das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acesso em 05/12/2019.

____ (2019b). Relatório de consumo e receita. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>. Acesso em 29/11/2019.

Brasil (1981). Lei 6938. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acesso em 13/12/2019.

____ (2004). Decreto 5163. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163compilado.htm. Acesso em 16/12/2019.

____ (2018). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. 247 p.

____ (2019). Portaria Interministerial 274. Disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos referida no § 1º do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2010 e no art. 37 do

Decreto nº 7.404, de 2010. Disponível em: <http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-interministerial-n%C2%BA-274-de-30-de-abril-de-2019-86235505>. Acesso em 13/12/2019.

CEMPRE. Guia da Coleta Seletiva de Lixo, 2014, 2ªEd.

CentroClima, 2005. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Usinaverde. Disponível em https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/submetidos/aprovados termos resolucao_1/publicacoes/27/Documento-de-Concepcao-do-Projeto.pdf. Acesso em 24/03/2020.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2019). Potencial Energético dos Resíduos Urbanos. Série SInergia. EPE-DEA-IT-007/2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-372/topico-492/Informe%20T%C3%A9cnico%20EPE-DEA-007-19.pdf>. Acesso em 13/03/2020.

____. Potencial de Redução de Emissões de CO₂ em Projetos de Produção e Uso de Biocombustíveis. 66 p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%20T%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%20T%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL[1].pdf). Acesso em 24/03/2020.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. EAESP. Centro de Estudos sobre Sustentabilidade. Webinar GVCes. 2018.

____CERI. Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura (2019). Reformulação do Marco Legal do Saneamento no Brasil. Disponível em <https://ceri.fgv.br/sites/default/files/publicacoes/2019-06/Reformulac%C3%A7%C3%A3o%20do%20Marco%20Legal%20do%20Saneamento%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em 13/12/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). Disponível em https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php. Acesso em 27/03/2020.

IPCC. Intergovernmental Pannel on Climate Change (2014). Kolstad C., K. Urama, J. Broome, A. Bruvoll, M. Cariño Olvera, D. Fullerton, C. Gollier, W. M. Hanemann, R. Hassan, F. Jotzo, M. R. Khan, L. Meyer, and L. Mundaca, 2014: Social, Economic and Ethical Concepts and Methods. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.

Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter3.pdf. Acesso em 23/03/2020.

IPEA. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (2018). Diagnóstico do setor de telecomunicações no Brasil: desafios e propostas. Disponível em http://www.agenciatelebrasil.org.br/doc/Desafios_da_Nacao_Telecomunicacoes.pdf?UserActiveTemplate=site. Acesso em 17/12/2019.

Kaza, Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em 26/03/2020.

MME. Ministério de Minas e Energia (2018). Portaria 65. Valor de Referência Específico (VRES). Disponível em http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-fixa-novos-valores-anuais-de-referencia-para-sistemas-de-geracao-distribuida. Acesso em 20/11/2019.

Reuters, 2020. Coronavirus pushes EU carbon permits to 16-month lows. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-eu-carbon-prices/coronavirus-pushes-eu-carbon-permits-to-16-month-lows-idUSKBN2151DP>. Acesso em 27/03/2020.

SNIS (2018). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em 16/12/2019.

Wtert (2013). Unofficial International Database of Waste-to-Energy Plants. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/globalwte.html>. Acesso em 02/01/2013.