



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/11

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO 2

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT

**PROJETO DE PLANTA DE WASTE-TO-ENERGY NO BRASIL COM ALTA
EFICIÊNCIA MEDIANTE CONSUMO DE PEQUENA QUANTIDADE DE GÁS
NATURAL OU BIOGÁS.**

SERGIO VIEIRA GUERREIRO RIBEIRO (*)
WTERT- Brasil

YURI SCHMITKE ALMEIDA BELCHIOR TISI
GIRARDI & ADVOGADOS ASSOCIADOS

RESUMO

Usinas que geram energia elétrica a partir da queima de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), conhecidas como WTE (*Waste-to-Energy*), são utilizadas na maioria dos países desenvolvidos, tendo como finalidade propiciar o aproveitamento energético e eliminar os aterros e seus impactos insustentáveis e devastadores ao meio ambiente. Com o objetivo de viabilizar a implementação de usinas WTE no Brasil, apresentam-se propostas para incremento da geração de energia com utilização de usina híbrida com Ciclo Combinado Otimizado (CCO), criação de um novo marco regulatório e uma política de desoneração fiscal e de encargos incidentes sobre a comercialização da energia.

PALAVRAS-CHAVE

Usinas *Waste-to-Energy*, Ciclo Combinado Otimizado, Gás Natural, Biogás, RSU

1.0 - INTRODUÇÃO

Usinas que geram energia a partir da queima de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), conhecidas pela sigla inglesa WTE (*Waste-to-Energy*), são usadas na maioria dos países desenvolvidos, tendo como finalidade principal propiciar o aproveitamento energético, que de outra forma seria desperdiçado, bem como eliminar os aterros e seus impactos insustentáveis e devastadores ao meio ambiente, tais como: (i) contaminação dos mananciais aquíferos com chorume; (ii) emissão de metano na atmosfera; (iii) uso de enormes áreas junto as grandes cidades; (iv) necessidade de um novo aterro há cada 20 ou 30 anos. Em países mais avançados como Alemanha, Suécia, Suíça, Holanda, França, alguns Estados nos EUA, Japão e outros, embora tenham atingido elevadas taxas de reciclagem, ainda resta grande volume de RSU pós-reciclagem que precisa de um método de destinação final seguro, e ambientalmente superior aos aterros, sendo que usinas WTE já se tornaram tradição e mesmo uma obrigação legal para certos tipos de RSU, como estabelece a Diretiva Europeia 2008/98/CE, e suas derivadas, como mostra a Figura 1.

A energia elétrica gerada por usinas WTE, quando vendida pelos preços normais, ou mesmo com incentivos existentes em países desenvolvidos, não é suficiente para cobrir os custos de CAPEX e OPEX, muito maiores do que outras termelétricas. Sempre há um custo a ser coberto pela comunidade na forma de uma taxa de lixo (*tipping fee*). A viabilidade econômica de usinas WTE no Brasil é pequena devido ao valor reduzido que as prefeituras cobram para o tratamento dos RSU, uma fração do que se paga em países avançados, mesmo que se considere a venda da energia elétrica nestes custos, pois sua eficiência elétrica é baixa, em torno de 22% para usinas WTE convencionais (2,8,9).

(*) Av. Lucio Costa 4.000, apto. 103, Bloco 5, CEP 22.630-011 Rio de Janeiro, RJ, – Brasil
Tel: (+55 21) 3433-3511 – Cel.: (+55 21) 98133-3955 – Email: sergiog@wert.com.br

O objetivo deste trabalho é apresentar uma maneira de melhorar a viabilidade das usinas WTE no Brasil, através do aumento da geração de energia elétrica, com maior eficiência e sem elevação significativa de CAPEX, sem onerar as prefeituras e, se necessário, introduzir alguns incentivos sobre a venda desta energia que, como veremos, reduzem o grande impacto ambiental causado por aterros sanitários. Uma maneira de atingir este objetivo é através do conceito de usinas híbridas tipo Ciclo Combinado Otimizado (CCO), patenteado pelo primeiro autor, patente PI-08004980-7 concedida em 2014 pelo INPI. O CCO está de acordo com o Anexo R1 de 2011, das Diretivas Europeias mostrado na Figura 1, que estabelece uma eficiência mínima para usinas WTE.

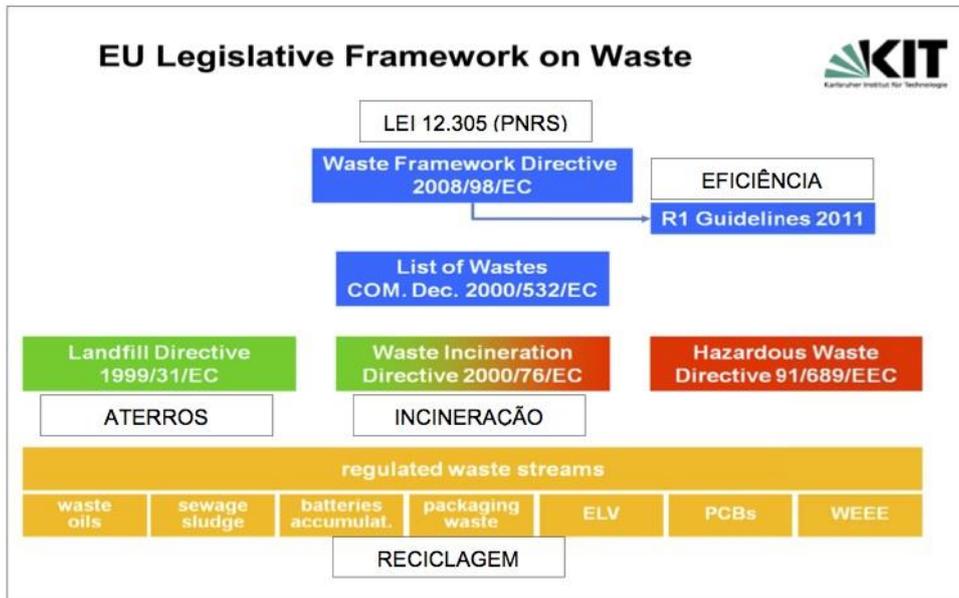


FIGURA 1 – Estrutura Legal da União Europeia sobre RSU (17)

O principal obstáculo para a implantação de usinas WTE no Brasil é que o seu custo inicial é maior do que os de aterros sanitários, embora, a longo prazo, se os custos reais dos aterros forem computados, o quadro se inverta. No entanto, como o custo da disposição final deve ser arcado pelos Municípios, em geral com escassos recursos financeiros, a solução dos aterros se tornou a principal maneira de descarte final dos RSU, erroneamente estimulada pela Lei nº 12.305/2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que ignora todos os estudos científicos que originaram a Diretiva Europeia 1999/31/CE. A PNRS não atende ao conceito de destinação adequada dos RSU, cuja motivação encontra-se inquinada por influência dos grandes operadores de aterros sanitários, que sequer atendem os padrões mínimos de segurança ambiental. O “lobby” contra usinas WTE é frequentemente baseado em inverdades e sofismas clássicos, como a afirmação que WTE acabaria com a reciclagem, o que certamente não faz sentido, pois só se incinera os RSU pós-reciclagem e que iriam para os aterros sanitários, onde até mesmo no Brasil não poderia haver a presença dos “catadores”. Em suma, usinas WTE são alternativas aos aterros e não ao processo de reciclagem. Nada impede que se recicle mais no Brasil, mesmo sem usinas WTE em operação.

Devido a devastação ambiental causada por milhares de aterros de péssima qualidade, construídos no passado, a China se tornou o país número um do mundo em quantidade de lixo incinerado, tendo construído cerca de 200 usinas nos últimos 10 anos, com excelentes tecnologias de incineração desenvolvidas para as suas necessidades, decorrentes do baixo poder calorífico do seu lixo. Este aspecto torna as soluções chinesas mais próximas do Brasil do que as soluções europeias, cujo poder calorífico é maior, devido ao menor teor de orgânicos (maiores responsáveis pelas emissões de metano e chorume pelos aterros). Atualmente, pode-se afirmar que o lixo brasileiro, pelo menos nas grandes cidades, já apresenta um aumento no seu conteúdo energético que se aproxima mais do lixo europeu. Entretanto, o baixo poder calorífico não traz nenhum problema para o projeto das modernas usinas de incineração, que utilizam queima em grelha móvel do tipo queima em massa (*mass-burning*), ao introduzir o lixo na caldeira diretamente do caminhão de coleta, isto é, sem nenhum pré-tratamento.

Para melhorar a eficiência energética, diversas usinas termelétricas WTE utilizam ciclos termodinâmicos híbridos (3,9,10,11), isto é, com a queima de mais de um tipo de combustível além do RSU, utilizando, por exemplo, o gás natural. Nestas usinas, o calor dos gases de exaustão de turbinas ou motores a gás natural, ou similares, é aproveitado para elevar a eficiência de um ciclo Rankine de vapor produzido em uma caldeira queimando biomassa ou RSU (1,2,4,5). Uma das maiores deste tipo é a de Zabalgardi (6), localizada em Bilbao, na Espanha, mostrada na Figura 2 (3), onde os gases limpos provenientes do escape de uma turbina a gás natural GE modelo LM 6000, de elevada eficiência, são aproveitados para superaquecer e reaquecer o vapor gerado pela queima de RSU em uma caldeira de alta pressão e baixo superaquecimento. Este esquema traz inúmeras vantagens, como (i) eliminar a corrosão no superaquecedor da caldeira, que ocorre em alta temperatura, acima dos 420 °C, causada pelo elevado teor de cloro nos RSU, assim como (ii) aumentar a eficiência global da usina definida pela relação entre a

energia elétrica líquida e a energia térmica presente nos combustíveis queimados (RSU e gás natural). O problema que em geral ocorre neste tipo de usina é que a quantidade de energia térmica proveniente do gás natural é muito grande, frequentemente, maior do que a parcela contida nos RSU e cujo impacto positivo de sua eliminação nos aterros é parcialmente cancelada pela queima de grande volume de gás natural. Outro fator importante é que usinas a gás natural, embora utilizem combustível muito mais limpo do que o óleo diesel ou carvão mineral, só são despachadas no Brasil quando os reservatórios estão com o nível baixo, sendo desligadas no caso oposto. Como usinas WTE operam continuamente o ano todo, não é viável o uso de usinas híbridas queimando grandes volumes de gás natural em países com geração hidrotérmica como o Brasil.

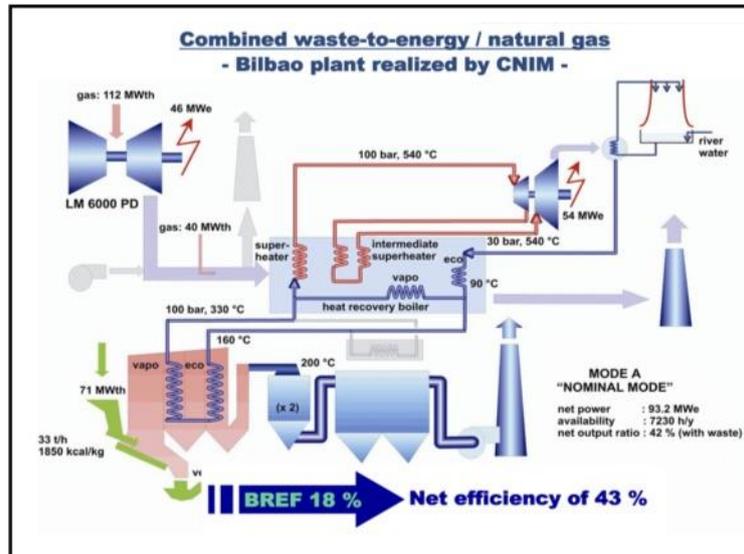


FIGURA 2 – Usina WTE de Zabalgarbi em Bilbao, Espanha (3)

O CCO reduz a parcela de gás natural para menos de 25%, sendo possível atingir valores menores do que 8%, como veremos, tornando a queima contínua de gás viável pelo ganho global de eficiência que incide sobre a totalidade do combustível queimado. A energia total exportada pela usina pode chegar ao dobro de uma usina WTE convencional. Neste caso, como veremos, a receita com a venda da energia assume importância significativa, podendo reduzir a taxas de lixo e, somados aos incentivos adequados, principalmente com a redução de impostos, elevar as taxas de retorno dos investidores em usinas WTE.

A presente pesquisa também tem como escopo apresentar propostas para um novo marco regulatório e uma política de incentivos fiscais e desoneração de encargos na comercialização da energia produzida. No caso em que haja redução de impostos incidentes sobre a energia gerada pelas usinas WTE, não haveria nenhum impacto para o contribuinte e os ganhos ambientais decorrentes certamente compensariam a renúncia fiscal proposta, em especial quanto ao PIS/COFINS, PASEP e ICMS.

2.0 - CICLO COMBINADO OTIMIZADO - CCO

O processo CCO, ilustrado na Figura 3, combina uma pequena turbina a gás natural, neste caso, uma Siemens SGT-100 de 5,4 MWe, com uma caldeira queimando grande volume, 71 MWt de RSU. A pressão da caldeira deve ser aumentada, dos usuais 40 bar das usinas WTE convencionais, para valores próximos a 90 bar ou mais, como em Bilbao, mas, para evitar a corrosão na caldeira, o superaquecimento não deve ultrapassar 420 °C. O superaquecimento, compatível com a pressão mais elevada, é feito externamente a caldeira, com a exaustão da turbina a gás (GT). No entanto, a exaustão da pequena turbina (TG) não contém a energia necessária para superaquecer o vapor próximo dos 500 °C. Para resolver este problema, pode-se aumentar "artificialmente" a vazão de exaustão da máquina térmica com ar puro pré-aquecido, e usar a queima de gás suplementar no queimador de duto (DB) para ajustar a temperatura de superaquecimento do vapor, como mostra a Figura 3. O pré-aquecimento do ar, a 420 °C, no (APH), é feito com gases ainda quentes na saída do superaquecedor externo (SH), neste caso, a 445 °C, e tem por finalidade reduzir o consumo de gás no queimador. Para elevar ainda mais a eficiência do ciclo de vapor, foi introduzido um economizador de condensação resistente a corrosão para pré-aquecer o ar de combustão da caldeira, que reduz a temperatura dos gases na chaminé próximo dos 70 °C, elevando a eficiência da caldeira. Depois do pré-aquecedor de ar (APH), os gases ainda possuem elevado teor de O₂, em alguns casos, acima de 15%, e podem ser usados como parte do ar de combustão da caldeira de RSU. Este aproveitamento apresenta diversas vantagens: (i) menor potência dos ventiladores do ar de combustão, (ii) redução do NO_x na caldeira e (iii) uso do sistema de lavagem de gases da caldeira para tratar os gases da turbina a gás. Este conceito reduz drasticamente a parcela de gás natural (5). Na configuração da Figura 3, cerca de 77% ou mais da energia elétrica gerada vem do lixo e a pequena parcela de gás natural pode ser substituída total ou parcialmente por biogás de aterros ou de digestores anaeróbios, pois, em geral, estes só estão disponíveis em

quantidades limitadas. A eficiência do combustível RSU pode alcançar valores superiores a 31%, e a do gás, próximos a 50% superior aos ciclos combinados, queimando a mesma quantidade reduzida de gás natural puro.

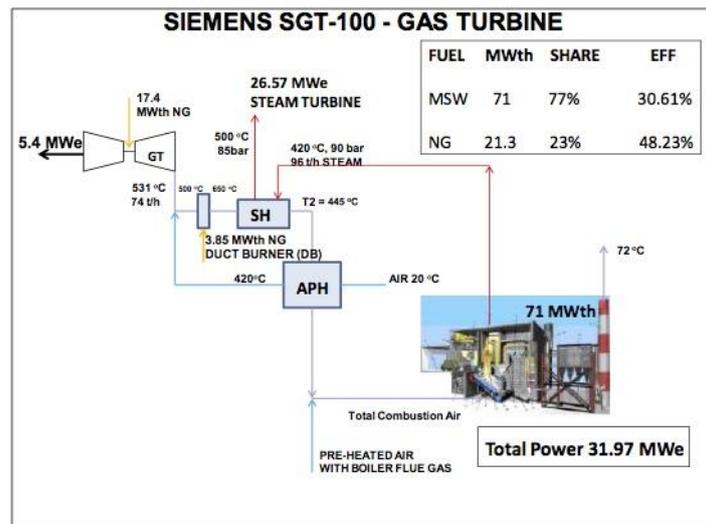


FIGURA 3 – Esquema OCC com Pequena Turbina a Gás (12)

Esta configuração apresenta uma vantagem adicional de permitir a partida da usina sem energia externa, o que, na fase de teste de início da operação, evita grandes demandas por curtos períodos.

3.0 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO

Existem várias outras configurações semelhantes baseadas no mesmo conceito, isto é, eficiência elevada e baixo consumo de gás natural. A Figura 4 ilustra o caso do CCO usando um motor a gás natural. Neste caso, os gases de exaustão têm temperatura de 390 °C, muito menor do que da turbina a gás, assim como menor teor de O₂, em torno de 9%, e podem ser melhor aproveitados diretamente como ar de combustão parcial da caldeira, uma vez que representam pequena parcela do ar total. O superaquecimento externo é feito apenas com o queimador de duto (DB), de modo similar ao caso anterior.

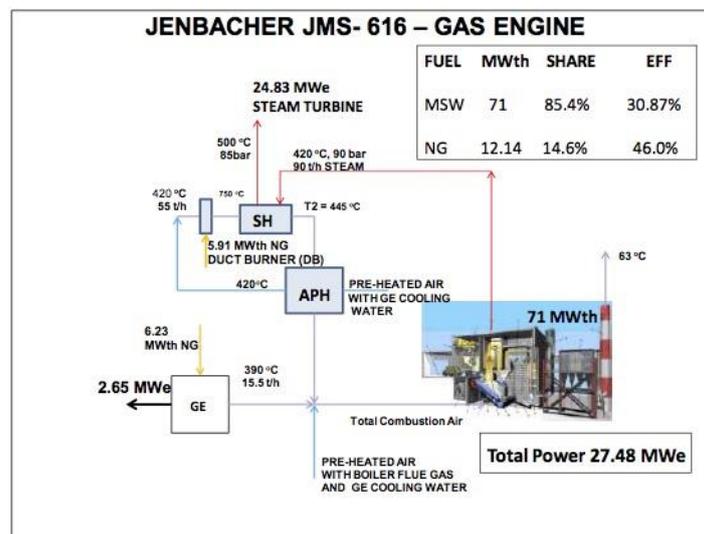


FIGURA 4 – Esquema OCC com Motor a Gás (12)

Como a eficiência em ciclo aberto do motor, aproximadamente 42%, é maior do que a da turbina, cerca de 30%, a eficiência total do gás natural é praticamente a mesma, porquanto a maior energia térmica perdida nos gases da turbina é recuperada no ciclo de vapor. No entanto, o consumo total de gás é muito menor com motor do que com a turbina, fazendo com que a melhor solução econômica dependa do custo do gás e do preço de venda da energia elétrica, como será mostrado na seção de viabilidade econômica.

Finalmente, considera-se o caso sem máquina de combustão interna (MCI), conforme mostrado na Figura 5. Neste processo, a eficiência do gás natural é menor, a mesma do ciclo Rankine de 31,5%, porém, o consumo de gás também é muito menor, cerca de 7,45%, o que torna esta configuração a melhor para preços mais elevados do gás

natural, conforme será demonstrado adiante. Este processo é similar ao que é usado em sistemas de Redução Catalítica Seletiva de NOx (SCR) (7) na limpeza dos gases de combustão de caldeiras.

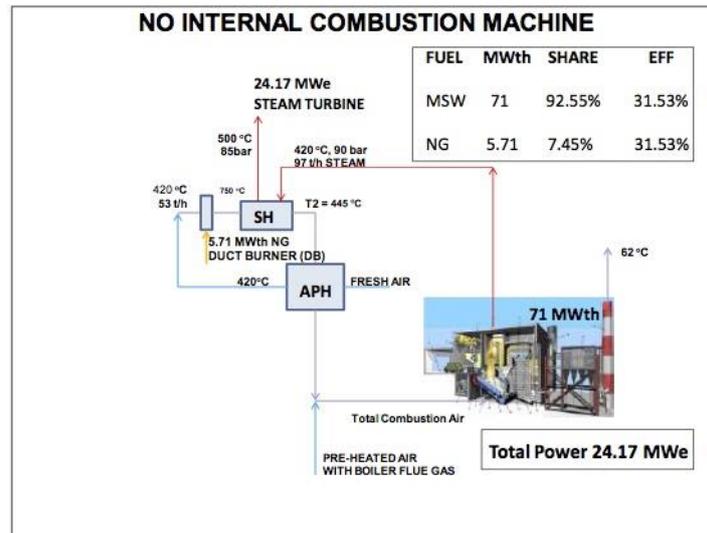


FIGURA 5 – Esquema OCC sem Máquina de Combustão Interna (MCI) (12)

As três configurações apresentam em comum o queimador de duto (DB), o superaquecedor externo e o pré-aquecedor de ar de condensação. Todas apresentam baixo consumo de gás natural e elevada eficiência.

Korobitsyn (4) define a eficiência da parcela de gás natural (F_{GN}), η_{CC} , como a eficiência de uma usina fictícia operando em ciclo combinado, queimando gás puro, consumindo a mesma quantidade de gás natural da usina híbrida. Esta eficiência é considerada em 52%, que é um valor compatível com grandes usinas, mas muito alta para o pequeno consumo envolvido nos casos acima no CCO. Por esta definição, a eficiência da fração de RSU é:

$$\eta_{RSU} = \frac{P_{TOTAL} - F_{GN} \cdot \eta_{CC}}{F_{RSU}} \quad (1)$$

Para corrigir o valor pouco realista, da eficiência padrão de 52% para o gás natural, vamos adotar um procedimento que estime a eficiência real do gás. Para isto devemos somar o calor rejeitado pela MCI a energia térmica dos RSU, mais o gás consumido no queimador, como o calor total fornecido ao ciclo Rankine. Portanto as eficiências da fração dos RSU (F_{RSU}) e da fração do gás natural (F_{GN}) em relação ao PCI (poder calorífico inferior) são respectivamente:

$$\eta_{RSU} = \frac{W_{TV}}{F_{RSU} + F_{TGN}(1 - \eta_{TG}) + F_{GNQ}} \quad (2)$$

$$\eta_{GN} = \frac{W_{TG} + (F_{GN} - W_{TG}) \cdot \eta_{RSU}}{F_{GN}} \quad (3)$$

onde,

P_{TOTAL} = potência elétrica total produzida pela usina, MWe

W_{TV} = potência elétrica total produzida pela turbina a vapor, MWe

W_{TG} = potência elétrica total produzida pela turbina a gás, MWe

F_{RSU} = potência térmica dos RSU, MWt

F_{TGN} = potência térmica do gás natural consumido pela turbina a gás, MWt

F_{NGB} = potência térmica do gás natural consumido no queimador, MWt

$F_{NG} = (F_{TGN} + F_{NGB})$ = potência térmica total do gás natural, MWt

η_{TG} = eficiência da turbina a gás em ciclo aberto

4.0 - RESULTADOS

Na Figura 6, comparou-se a taxa interna de retorno (TIR) sobre a parcela do investidor (*equity*) de 30% do CAPEX total, para as três configurações consideradas versus o custo do gás natural, considerando dois preços de venda da energia elétrica, EUR 60 e EUR 70 o MWh, e o custo do gás natural, variando de EUR 10 a EUR 40 o MWht. A título de comparação, foi incluído o caso de uma usina WTE convencional, sem gás natural, com ciclo Rankine 40 bar / 400 °C, cuja eficiência líquida é de 22%. Os valores da TIR para o caso convencional são 7,75% e 13,2%, respectivamente, para os dois valores da energia elétrica vendida e uma taxa de lixo em torno de EUR 35/ton. Na

análise financeira utilizou-se o sistema de lucro real com CAPEX, variando de EUR 90 milhões para o caso convencional, e a EUR 103 milhões para a configuração com turbina a gás.

No Brasil, preço do gás natural para geração elétrica é de aproximadamente EUR 25/MWht (USD 10/MMbtu), enquanto nos EUA este preço cai para EUR 10/MWht (USD 4/MMbtu). Para a eletricidade vendida a EUR 70/MWhe, o caso com TG é melhor para preços do GN entre EUR 10 e EUR 27, sem apresentar vantagem sobre a solução convencional quando o preço do GN é superior a EUR 32. Para motor a gás, este valor sobe para EUR 35, e para o queimador puro, sem MCI, é sempre melhor a solução do GN, independente do preço do GN.

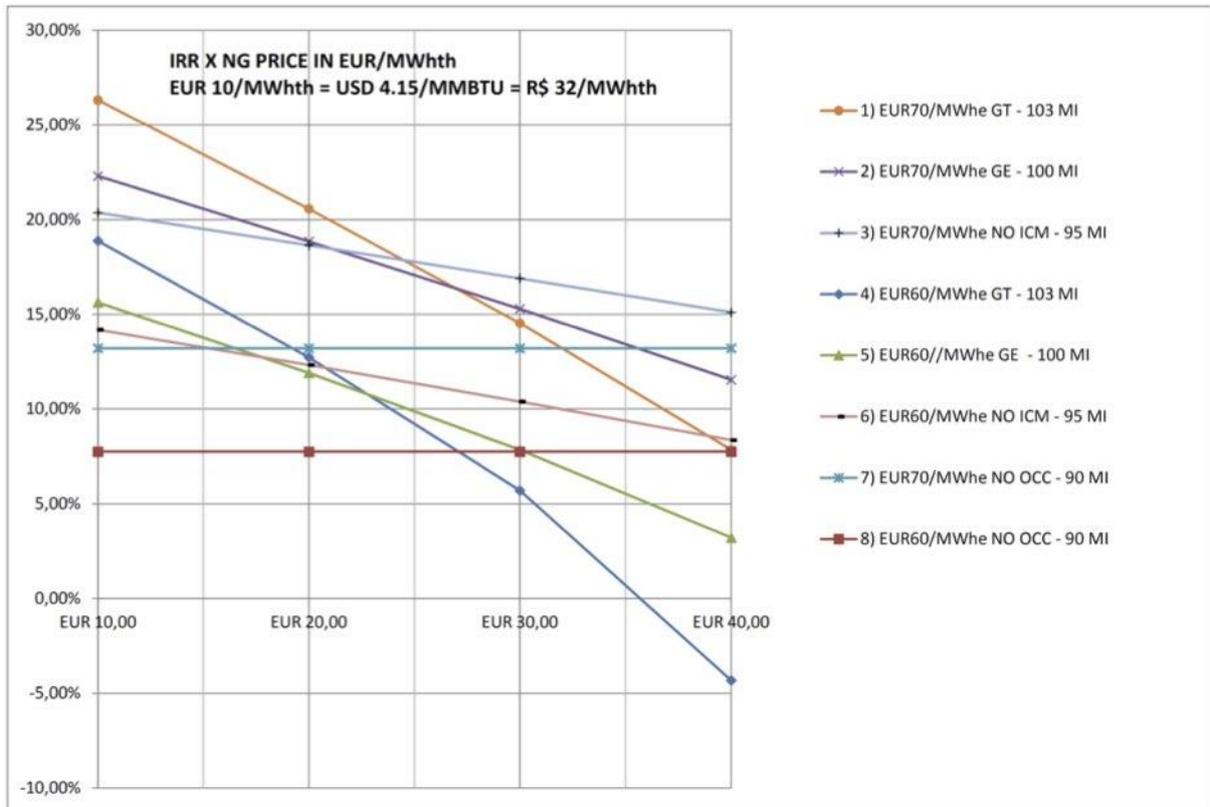


FIGURA 6 – Cálculo da TIR para os três casos discutidos: Turbina a Gás, Motor e Queimador

Para a eletricidade vendida a EUR 60/MWhe, o caso com TG é melhor para preços do GN entre EUR 10 e EUR 22, sem apresentar vantagem sobre a solução convencional, quando o preço do GN é superior a EUR 27. Para motor a gás, este valor sobe para EUR 30, e para o queimador puro, sem MCI, é sempre melhor a solução do GN, independente do preço do GN.

O caso do motor a gás se situa sempre entre o caso com turbina e com queimador, sendo que, no caso da turbina a gás, apresenta forte dependência em relação ao preço do GN. Esta dependência é graficamente ilustrada na Figura 6, pela aguda inclinação negativa da reta correspondente ao caso com TG. Para o caso sem GN, a inclinação é zero, pois não há dependência em relação ao GN. Para o Brasil, a escolha parece limitada aos casos com motor e com queimador, que sugere que o projeto contemple o motor e o queimador, sendo que o motor pode ser desligado caso o preço do gás aumente muito, já que o superaquecimento é feito apenas pelo queimador. A operação sem motor implica que o pré-aquecimento do ar de combustão, essencial para a queima de lixo úmido, seja feito com extração da turbina a vapor, que é a maneira usual nas usinas convencionais.

5.0 - NOVO MARCO REGULATÓRIO PARA MELHORAR VIABILIDADE ECONÔMICA DAS USINAS WTE

Conforme apontam dados do *Statistical Office of the European Union – Eurostat* (13), desde 2008 a geração per capita de RSU na Europa encontra-se em processo de redução, o que se explica, em parte, pela conscientização da população sobre o tema. Em 2012, foi registrado que 27% dos resíduos eram encaminhados para reciclagem, 15% para compostagem, 24% para incineração e 34% destinados para aterros sanitários. Entre 1995 a 2012, houve uma redução de 42% em peso de RSU destinado para aterros sanitários, e, por outro lado, aumento de 80% da quantidade de resíduos destinados à incineração WTE.

Tais estatísticas são fruto das Diretivas Europeias, mostradas na Figura 1, e encabeçadas pela Diretiva 2008/98/CE – análoga a nossa PNRS – que trouxeram importantes contribuições para que haja uma destinação adequada dos RSU. A Diretiva 1999/31/CE prevê metas progressivas para redução da disposição de matéria orgânica biodegradável diretamente em aterros sanitários, que deve ser, no máximo, 35% da quantidade total dos

resíduos biodegradáveis produzidos, no ano de 1995, até julho de 2016. Prevê ainda que deve ser efetuado monitoramento durante toda a operação de um aterro, pelo período de pelo menos 30 anos após o encerramento da deposição de RSU, ou enquanto as autoridades considerarem que o aterro pode apresentar perigo para o meio ambiente, cujos custos são de responsabilidade do proprietário do aterro.

A utilização de usinas WTE tem sido a melhor solução encontrada para garantir uma destinação adequada do lixo pós-reciclagem, pois a utilização de aterros sanitários traz riscos de severa contaminação do meio ambiente durante décadas. Ainda que o chorume seja tratado adequadamente, parcela deste ainda poderá conter elementos tóxicos que irão escoar para os rios ou até mananciais hídricos, causando dano ambiental e contaminação da água potável disponível no planeta.

Notadamente, usinas WTE são a única forma de geração de energia cujo impacto ambiental é positivo, pois reduzem significativamente os danos ambientais que seriam causados caso elas não fossem implementadas. Este tem sido o principal motivo pelo qual praticamente todos os países desenvolvidos adotam WTE.

Um dos grandes benefícios ambientais da WTE também se destaca pela redução significativa de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera – especialmente através da eliminação do metano, considerado vinte e uma vezes mais danoso que o CO₂ – objetivo a ser cumprido na 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – COP21, em que o Brasil é signatário das metas para conter o aquecimento global, em razão da aprovação do Congresso Nacional e sanção do Presidente da República (14).

A Convenção de Estocolmo tem sido mal interpretada por agentes institucionais para desincentivar WTE no país, sob o argumento de que a incineração dos RSU supostamente gera gases tóxicos, cuja emissão é vedada pela referida convenção. Trata-se de uma grande inverdade, haja vista que as usinas WTE são consideradas fontes renováveis de energia, não poluentes, cujos gases tóxicos são filtrados e as emissões ficam dentro dos limites legais estabelecidos para um grande centro urbano. De acordo com o *New York Times*, as instalações de incineração modernas são tão limpas que "muitas vezes as dioxinas/furanos lançados a partir delareiras em casa e churrascos de quintal são muitas vezes superiores as da incineração de RSU" (15). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente alemão (*German Environmental Ministry*), "por causa de regulamentos rigorosos, resíduos de instalações de incineração não são significativos em termos de emissões de dioxinas, furanos e metais pesados" (16). Inclusive, usinas WTE já foram regulamentadas no Estado de São Paulo, através da Resolução SMA nº 79/2009, com os mesmo rigorosos limites de emissões da Diretiva Européia 2000/76/CE, que estabelece diretrizes e condições para operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação Energética – URE, e destaca ainda, em seu preâmbulo, que "a recuperação energética a partir do tratamento térmico de resíduos sólidos foi listada como uma tecnologia mitigadora no enfrentamento do aquecimento global, e também um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pelo Comitê Executivo da Convenção Quadro da ONU - Organização das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*Executive Board - UNFCCC*)".

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída pela Lei nº 12.305/2010, parece, à primeira vista, ter trazido avanços para a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos – RSU, mas, no entanto, encontra-se em desacordo com as práticas adotadas por muitos países, como ocorre na Comunidade Europeia, através das Diretivas Europeias 1999/31/CE e 2008/98/CE. Aqui fica evidente o efeito do "lobby" dos grandes operadores de aterros no Brasil: para WTE adota-se, corretamente, a norma mais restritiva do planeta (2000/76/EC), porém, para os aterros sanitários, quase nenhuma restrição ou fiscalização é exercida, o que acarreta a construção de "modernos aterros sanitários" no Brasil que jamais seriam licenciados na Europa, muitos deles sem tratamento adequado do chorume ou captura relevante do metano, pois a geração de energia a biogás não consegue evitar 100% a emissão de metano na atmosfera..

Como a taxa de lixo é cobrada junto como o IPTU, apenas uma pequena parcela da população contribui. Mas se o custo do tratamento do lixo com WTE for arcado pela energia que é consumida, e paga por todos que também geram lixo, o custo per capita se dilui.

Uma política de desoneração tributária e de encargos setoriais específica e bem detalhada é necessária para viabilizar financeiramente a implementação de usinas WTE no país. A despeito das usinas WTE terem isenção de 100% da TUSD e TUST para unidades de até 30 MW de potência instalada¹, esta isenção deveria se estender a usinas maiores, pois sua capacidade depende da quantidade de lixo a ser tratado. Atualmente, já existem usinas WTE com capacidade superior a 3.000 ton/dia gerando 60 MW ou mais de energia elétrica, cujo custo unitário em R\$/ton do tratamento se reduz com o tamanho. Outro fator relevante são as reduções de alíquotas e/ou isenções quanto ao pagamento do ICMS, PIS/PASEP e COFINS, incidentes sobre a comercialização da energia gerada.

Propõe-se que o Município realize uma Parceria Público Privada – PPP com a empresa investidora, garantindo o fornecimento do lixo por 20 anos e o pagamento da "tipping fee", que, somados à isenção dos tributos incidentes sobre a energia vendida, tornaria a energia a ser vendida bastante competitiva, permitindo sua venda no mercado livre (ACL) através de contratos do tipo *Power Purchase Agreement* (PPA), ou mesmo no mercado regulado (ACR),

¹ Vide art. 26, § 1º, incisos I e II, da Lei nº 9.427/1996 c/c art. 3º, inciso IV, da Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004.

em leilões de energia incentivada similar ao PROINFA. Assim, os recebíveis poderão ser dados em garantia ao agente financeiro para obtenção de recursos para a implementação da usina através de um *project finance*.

Diante disso, mostra-se relevante a instituição de desoneração fiscal de ICMS, PIS/PASEP e COFINS, bem como sobre encargos setoriais, como a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), objetivando viabilizar usinas WTE para os grandes centros urbanos, resultando na redução significativa da disposição de RSU em aterros e evitando graves danos ambientais.

Portanto, propõe-se a instituição de um novo marco regulatório para garantir a destinação adequada do RSU, com ampla participação conjunta de agentes institucionais e da sociedade civil organizada, objetivando, desta forma, promover alterações normativas e uma política de desoneração financeira de tributos e de encargos setoriais na comercialização da energia gerada, com vistas a incentivar e viabilizar financeiramente a geração WTE no país.

6.0 - CONCLUSÕES

Neste trabalho, mostrou-se que uma modificação simples no ciclo de vapor da usina WTE pode trazer grande melhoria na viabilidade econômica de usinas WTE através do conceito do Ciclo Combinado Otimizado (CCO), que eleva a energia total gerada em cerca de 80% a mais do que as usinas WTE convencionais. A introdução de pequena quantidade de gás natural, ou biogás de aterros, torna a usina híbrida, pois queima combustíveis distintos, propiciando projetos antes inviáveis em soluções com bom retorno financeiro, o que pode reduzir as taxas de lixo que as prefeituras pagam hoje para operação de aterros de qualidade duvidosa. Utilizando uma das configurações propostas do CCO, é sempre vantajoso o uso do gás, independente do seu custo.

Exceto pelo aumento da pressão da caldeira, o processo não requer nenhuma mudança nas usinas tradicionais de queima em grelha tipo *mass-burning*, que processam o lixo sem nenhum pré-tratamento. A parcela de gás natural será sempre muito pequena, mas a eficiência na queima dos RSU será superior a 30%, semelhante a usinas híbridas tipo Bilbao, que consome 70% de gás natural. As emissões de CO₂ fóssil, devido a queima de gás natural, representam menos de 10% do que seria produzido pelo metano, caso o lixo fosse depositado em aterros. Há ainda benefício adicional em face da maior parte da energia elétrica gerada advir da fração renovável do lixo e, no caso em que o gás natural é substituído por biogás, o ganho ambiental é ainda maior.

A baixa dependência do gás natural é o fator chave na decisão de se usar um ciclo híbrido gás/lixo em usinas WTE, e a configuração a ser adotada, se turbina, motor ou queimador, irá depender dos preços discutidos acima. O CCO fornece a ferramenta de projeto que permite encontrar a solução ótima para cada problema, ao invés de se procurar adequar uma solução ao nosso projeto, em geral trazida do exterior. Adicionalmente, importa destacar que, nos países desenvolvidos, as taxas de lixo de R\$ 300/ton ou mais são comuns e a energia gerada em usinas WTE recebem incentivos, pois reduzem as emissões provenientes dos RSU, além de substituírem combustíveis de origem fóssil.

Por fim, demonstrou-se a necessidade de criação de um novo marco regulatório, através de ampla participação dos agentes institucionais e da sociedade civil organizada, bem como o fomento de PPPs e a instituição de políticas de desoneração fiscal e de encargos, objetivando viabilizar financeiramente a implementação de geração WTE no Brasil.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Petrov, P. M., "Biomass and Natural Gas Hybrid Combined Cycles" - Licentiate Thesis 2003 - Department of Energy Technology - Division of Heat and Power Technology - Royal Institute of Technology, 10044 Stockholm, Sweden.
- (2) Branchini, L., "Advanced Waste-To-Energy Cycles" - Research Doctorate - Università di Bologna, Final exam 2012.
- (3) Martin, J., "Global Use and Future Prospects of Waste-to-Energy Technologies" - Fall Meeting Columbia University, Oct.7-8, 2004.
- (4) Korobitsyn, M.A., "New and Advanced Energy Conversion Technologies. Analysis of Cogeneration, Combined and Integrated Cycles" – Laboratory of Thermal Engineering of the University of Twente – 1998.
- (5) Bohórquez, W.O.I., "Análise Termoenergética, Econômica e Ambiental da Repotenciação e Conversão de UTEs com Ciclo Rankine para Ciclo Combinado Utilizando Turbinas a Gás" - Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia – Universidade Federal de Itajubá – MG, 2007.
- (6) Guerreiro Ribeiro, S., Kimberly, T., "High Efficiency Waste to Energy Power Plants Combining Municipal Solid Waste and Natural Gas or Ethanol" - NAWTEC-18 – Orlando, Fl – 2010.

- (7) Kamuk, B. "Is De-NO_x by SCR to Be the Future in Us? – Technology and Tendencies within APC-equipment" - NAWTEC-17 – Chantilly, Virginia – 2009.
- (8) Simões, P., "Amsterdam's Vision on the 4th-generation Waste-2-Energy" - CEWEP – Congress - Bordeaux, June 12th2008.
- (9) Main, A., Maghon, T., "Concepts and Experiences for Higher Plant Efficiency with Modern Advanced Boiler and Incineration Technology" - NAWTEC-18 – Orlando, Fl – 2010.
- (10) Nishioka, T., "Introduction of Waste Power Generation with Natural Gas Repowering System" – Joint Meeting of IEA Bioenergy Task 32, 33 and 36 – Tokyo, 28 - Oct, 2003.
- (11) Consonni, S., Silva, P., "Off-design Performance of Integrated Waste-to-Energy, Combined Cycle Plants" – Applied Thermal Engineering 27 (2007) - 712–721.
- (12) Guerreiro Ribeiro, S., Sioen, H., "Design of a High Efficiency Waste to Energy Plant in Brazil consuming a limited amount of natural gas" - 5th International Conference on Engineering for Waste and BiomassValorisation - August 25-28, 2014 - Rio de Janeiro, Brazil.
- (13) EUROSTAT – Environmental Data Centre on Waste. "Statistics in Focus n^o 31/2011". Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF>. Acesso em: 26 mar 2017.
- (14) Guerreiro Ribeiro, S., Schmitke A. Belchior Tisi, Y., "Destinação Adequada para Resíduos Sólidos Urbanos." Valor Econômico. São Paulo. 19 de dezembro de 2016.
- (15) Rosenthal, E., "[Europe Finds Clean Energy in Trash, but U.S. Lags](#)". The New York Times. April of 2010.
- (16) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. "[Waste incineration – A potential danger? Bidding farewell to dioxin spouting](#)" (PDF). September of 2005.
- (17) Seifert, H., Vehlow J., Hunsinger H., "Advanced WtE in Europe", Seminar Advanced WtE Technologies, May 8 – 9, 2012, Lahti, Finland.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Sergio Vieira Guerreiro Ribeiro, nascido no Rio de Janeiro em 04/02/1951, Engenheiro Mecânico (PUC-RJ -1973), Master of Science em Mechanical Engineering (University of California Los Angeles – UCLA - 1975), PhD em Mechanical Engineering (University of California Los Angeles – UCLA -1978), Master of Science em Nuclear Engineering (Massachusetts Institute of Technology- MIT - 1983), Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8466720036856942>

Yuri Schmitke Almeida Belchior Tisi, nascido em Goiânia-GO em 13/06/1980, Bacharel em Direito pelo Centro Universitário de Brasília – UniCEUB (2011), Pós-graduado em Direito de Energia Elétrica pelo UniCEUB (2014), Membro da Comissão Especial de Energia do Conselho Federal da Ordem dos Advogados do Brasil – OAB. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7208852148854392>.