

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: COMPARAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS COM A DISPOSIÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO E A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE GÁS NATURAL

Laurene Desclaux

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro

DOI: 10.47168/rbe.v28i4.758

RESUMO

O aproveitamento energético de resíduos por meio de incineração é uma tecnologia com eficiência comprovada, que permite o aproveitamento de uma grande variedade de resíduos, incluindo plásticos não recicláveis, e a produção não intermitente de eletricidade e calor, de forma descentralizada. Este trabalho apresenta os impactos ambientais provocados pelo aproveitamento energético por incineração de RSU e propõe uma comparação simples com os impactos do descarte desses resíduos em aterros sanitários e pela geração de energia elétrica de fonte fóssil, em termos de consumo de recursos e geração de resíduos e poluentes.

Palavras-chave: Aproveitamento energético de resíduos; Impactos ambientais.

ABSTRACT

Energy production by incineration of urban waste is a proven technology which allows the valorization of a large range of residues, including non-recyclable plastics, and generation of firm, decentralized electricity and heat. This study presents the environmental impacts generated by a Waste-to-Energy project and a comparison with disposal in landfill and the generation of fossil-based electricity, in terms of resources consumption and pollution.

Keywords: Waste to Energy; Environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO

No contexto da crise ecológica e climática atual, é necessário desenvolver tanto a produção de energia de fontes limpas, quanto o tratamento de resíduos por meio de reuso, reciclagem e valorização. O aproveitamento energético de resíduos aparece, portanto, como uma solução tanto para a produção de energia sem mineração ou exploração de terras, quanto para a redução do impacto ambiental. A incineração de resíduos com geração de energia é uma tecnologia comprovada que permite o aproveitamento de uma grande variedade de resíduos e a produção de eletricidade e calor não intermitentes de forma descentralizada (THEMELIS et al., 2015). Não existem ainda no Brasil usinas de incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) com recuperação energética (chamadas URE – Usinas de Recuperação Energética), mas algumas encontram-se em licenciamento ambiental e a URE Barueri venceu o Leilão de Energia Nova A-5 2021, garantindo a sua viabilização graças à contratos de venda de energia para distribuidoras em um prazo de 20 anos¹.

Essa tecnologia encontra fortes oposições da sociedade em razão de uma percepção que é poluente e danosa para a saúde humana (HE e LIN, 2019). As emissões da combustão de resíduos contêm gases de efeito estufa (GEE) e compostos tóxicos que devem ser tratados. As cinzas do processo também devem ser gerenciadas para não gerar poluição. Esses riscos devem ser contrapostos ao potencial poluidor dos RSU, mesmo dispostos em aterros sanitários adequadamente gerenciados. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma comparação entre os impactos ambientais do aproveitamento energético por incineração de RSU, do descarte desses resíduos em aterros sanitários e da geração de energia elétrica de fonte fóssil. A segunda seção apresentará a metodologia do trabalho. A terceira seção proporá uma comparação dos impactos ambientais das alternativas tecnológicas e a quarta seção concluirá o trabalho.

2. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta uma comparação do uso de recursos e das emissões de poluentes entre a URE Valoriza Santos e alternativas tecnológicas. Em concordância com a Metodologia do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de Inventário das Emissões de GEE relativas à Incineração de Resíduos com aproveitamento energético (GUENDEHOU et al., 2006) foi realizada uma dupla compara-

¹ <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-592/Informe%20Vencedores%20LEN%20A5.pdf>

ção: de um lado, com a disposição de RSU em aterro sanitário e, de outro, a geração da mesma quantidade de energia elétrica pela URE e por outra fonte de geração de energia elétrica. Escolheu-se a comparação com a geração de energia elétrica por uma fonte representativa da expansão da geração com características similares. Usinas Termoelétricas (UTE) representam cerca de um terço da contratação prevista até 2030, com grande parte devendo usar o gás natural como fonte (EPE, 2020a).

Os dados brutos foram obtidos principalmente por meio da análise dos Estudos de Impactos Ambientais (EIA) dos empreendimentos, que foram realizados como parte do seu licenciamento ambiental, e são disponíveis publicamente no site do respectivo órgão ambiental¹. Assim, foram considerados para a disposição de RSU em aterro sanitário a expansão do Aterro Sítio das Neves, com EIA próprio protocolado em 2012 (referência 107/2012), e para a geração de eletricidade a partir de gás natural, a substituição tecnológica da UTE Piratininga, com EIA protocolado em 2019 (referência 110/2019). As alternativas consideradas foram escolhidas em função da sua proximidade com a URE.

Os EIA contêm informações sobre o consumo de recursos, produtos, efluentes e emissões gasosas dos empreendimentos. Os dados são apresentados em quantidade por unidade temporal (hora, dia ou ano), e peso por metro cúbico normal (Nm³) de emissões, e precisaram ser tratados para comparação. Para isso, foram calculados os dados equivalentes por tonelada de RSU tratada e pelo montante de energia elétrica produzido por incineração de uma tonelada de RSU, descontadas as perdas por consumo próprio da usina.

O EIA da URE Valoriza Santos prevê que o CDR (Combustível Derivado de Resíduos) obtido após secagem dos RSU terá um poder calorífico inferior (PCI) de 12.849 kJ/t, com redução do peso de 2.000 para 1.481 toneladas. Desta forma, foi avaliado um poder calorífico equivalente de 9.514 kJ/t de RSU. Considerando as premissas propostas por EPE (2014) para cálculo do potencial de geração de energia elétrica por incineração de RSU – eficiência elétrica de 20% e consumo próprio da planta de 20% – foi avaliado um potencial de geração de 0,424 MWh/t RSU, o que condiz com as especificações da URE e dados da literatura (EPE, *ibid* e PALERMO, 2020). Esse valor inclui incertezas, ligadas principalmente ao PCI dos RSU e a eficiência da planta.

Para realizar a equalização dos dados de consumo de recursos, produção de resíduos e efluentes e emissões de gases por tonelada de RSU, ou equivalente em eletricidade produzida, foram aplicados fatores baseados nos valores de referência, apresentados na Tabela 1.

¹ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) <https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento-ambiental/eia-rima/>

Tabela 1 – Valores de referência usadas para a equalização dos dados brutos coletados nos EIA dos empreendimentos

Alternativa	Disposição em aterro sanitário	Incineração e geração de energia elétrica	Geração de energia elétrica de fonte gás natural
Descrição	Ampliação do aterro sanitário CGR Terrestre com captação e queima de biogás	URE Valoriza Santos	Substituição tecnológica da UTE Piratininga – ciclo combinado – 2.545,8 MW
Vida útil	4 anos e 7 meses	25 anos	25 anos
Dado-base	1 t de RSU	1 t RSU/0,424 MWh	0,424 MWh
Base dos dados brutos	1.850 toneladas de RSU por dia	2.000 toneladas de RSU / 848 MWh por dia	57.052 MWh por dia

Fonte: EIA dos empreendimentos descritos

Os dados de emissões de GEE não são informados nos EIA dos projetos. Portanto, uma pesquisa bibliográfica foi realizada para obter dados de referência relativos às emissões de GEE de aterros sanitários e à geração de eletricidade por gás natural. O cálculo das emissões de GEE por incineração de RSU é objeto de metodologia do IPCC, por meio da equação 5.2 de Guendehou et al. (2006). As características dos RSU, tais como sua composição gravimétrica e teor de umidade, são parâmetros da equação e são parcialmente descritos no EIA da URE Valoriza Santos.

Coleta e transporte dos RSU não foram levados em conta, pois serão assumidos equivalentes para o aterro e a URE, e dificilmente comparáveis com o caso da UTE a gás natural abastecida por meio de gasodutos.

3. RESULTADOS

3.1 Coletas dos dados

3.1.1 Dados coletados nos EIA dos projetos

Os EIA dos empreendimentos apresentam informações detalhadas sobre o funcionamento das unidades, especialmente (i) seu consumo de diversos insumos: RSU, água, GLP, gás natural, bem como produtos químicos para o tratamento de gases, água e efluentes; (ii) os seus produtos: efluentes e resíduos sólidos: chorume, gás de aterro, efluentes tratados e lançados (em alguns casos água tratado é reusada), resíduos sólidos, cinzas, metais e energia; e (iii) as suas emissões gasosas: vazão total e concentração volumétrica em diversos

poluentes. Para cada empreendimento, os dados relativos a cada insu-
mo e rejeito/emissão foram agregados, quando oriundos de elementos
diferentes do sistema.

3.1.2 Dados relativos às emissões de Gases de Efeito Estufa

Na ausência de dados quantitativos relativos às emissões de GEE de cada projeto, nos seus EIA, foram usadas fontes bibliográficas e a metodologia de inventário do IPCC.

As emissões de GEE de aterros sanitários com captação e combustão de gás de aterro são de difícil mensuração, especialmente considerando que RSU dispostos são fonte de emissão de gás de aterro durante um longo período, variando ao decorrer deste. Assim como para a incineração, as emissões variam com a composição gravimétrica dos RSU e os procedimentos operacionais adotados no aterro sanitário (GOMES et al., 2015). Portanto, foram usados números representativos da bibliografia para caracterizar as emissões de GEE por tonelada de RSU disposta em aterro. Barton et al. (2008) avaliou em 0,19 tCO_{2eq} por tonelada de RSU as emissões em um aterro sanitário com recuperação eficiente e combustão do gás de aterro. Um aterro sanitário sem queima de gás pode emitir até 1,1 tCO_{2eq} por tonelada de RSU (BARTON, 2008). Chandel et al. (2012) propõe, no âmbito de um estudo realizado nos EUA, um valor de cerca de 0,2 tCO_{2eq} por tonelada de RSU. O valor adotado para esse estudo foi de 0,2 tCO_{2eq} por tonelada de RSU.

A literatura científica propôs diferentes valores de emissões de GEE pela geração de eletricidade a partir de gás natural no Brasil. Miranda (2012) apresentou valores baseados na análise de ciclo de vida, com um valor de 0,518 tCO_{2eq}/MWh, tendo considerado valores publicados entre 0,386 e 0,934 tCO_{2eq}/MWh. De acordo com dados do Anuário Estatístico da Energia Elétrica de 2020 (EPE, 2020b), as UTE a gás natural tiveram emissões médias de 0,366 tCO_{2eq}/MWh. Palermo (2020) observou os dados do Anuário de 2016 e calculou um valor de 0,396. Portanto, esse estudo considerou valores entre 0,366 e 0,518 tCO_{2eq}/MWh. Em relação às emissões médias da geração de energia elétrica no Brasil, o cálculo com base no Anuário da EPE (EPE, ibid) permitiu avaliar um valor de 89,89 kgCO_{2eq}/MWh.

O cálculo das emissões de GEE por incineração de RSU é também sujeito a incertezas devidas em particular às características dos RSU, tais como sua composição gravimétrica e teor de umidade. A metodologia adotada neste estudo é baseada na equação 5.2 do Capítulo 5 do Volume 5 do "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". A aplicação dessa fórmula requer o conhecimento da composição gravimétrica dos RSU, para avaliar valores de umidade,

fração de carbono total no conteúdo seco, fração de carbono fóssil no carbono total e fator de oxidação. O capítulo 2 do mesmo documento propõe valores típicos para diversos tipos de RSU (PIPATTI et al., 2006, tabela 2.4), alguns fatores caracterizados por valores mínimo, máximo e médio. A caracterização completa dos RSU será realizada pela URE na fase de operação. No entanto, a composição gravimétrica de 61,7% do RSU que serão tratados na URE é apresentada no EIA da URE. Os tipos de resíduos não correspondem exatamente à nomenclatura proposta pelo IPCC e os valores variam bastante entre os municípios considerados. Desta forma, a composição gravimétrica foi processada para adequação com a composição proposta pelo IPCC. Usando valores médios dos fatores propostos por Pipatti et al. (ibid) e considerando que a composição gravimétrica dos RSU conhecidos é representativa do total tratado, foi calculado um valor médio de emissões de GEE de 0,494 tCO_{2eq} por tonelada de RSU incinerada ou 1,164 tCO_{2eq} por MWh de eletricidade produzida. Valores máximo e mínimo correspondentes são apresentados na Tabela 5. Podemos notar que esse valor médio calculado é consistente com o valor calculado por Palermo (2020) referente ao município do Rio de Janeiro, de 1,248 tCO_{2eq}/MWh.

3.2 Equalização e discussão

Aplicados fatores de equalização aos dados coletados nos EIA dos empreendimentos, consideradas 8.000 horas de operação anual para a URE e a UTE (ou 22 horas diárias em média), e 24 horas diárias para o aterro sanitários, os dados de consumo de insumos e produtos são apresentados nas Tabelas 2 (insumos), 3 (produtos) e 4 (emissões gasosas), abaixo.

Tabela 2 – Comparação dos insumos das três soluções analisadas, por tonelada de RSU e/ou 0,484 MWh de energia elétrica

Insumos	Aterro	URE	UTE
Captação de água (L)	9,73	140	7,85
GLP (m3)		Indefinido	
Gás natural (m3)			75,48
Produtos químicos (kg)			
Ácido clorídrico		0,01	1,73E-05
Dispersantes			1,73E-05
Hidróxido de sódio		0,076	4,97E-05
Sulfato de alumínio		0,704	2,55E-05

Tabela 2 – Comparação dos insumos das três soluções analisadas, por tonelada de RSU e/ou 0,484 MWh de energia elétrica (cont.)

Insumos	Aterro	URE	UTE
Polietetrólito			6,48E-05
Cal hidratada		17,6	2,16E-05
Amônia aquosa		0,0027	0,0017
Amônia			0,0576
Óleo diesel (L)		0,040	0,029

O consumo de outros produtos (ureia, hidróxido de cálcio, polímero floculante, ácido cítrico, biocida, anti-incrustante, fosfato, sequestrante de oxigênio, carvão ativado, óleo de refrigeração, óleo hidráulico), constando somente no EIA da URE Valoriza Santos, não são apresentados para comparação.

Tabela 3 – Comparação dos produtos (resíduos, efluentes, energia) das três soluções analisadas, por tonelada de RSU e/ou 0,484 MWh de energia elétrica

Produtos	Aterro	URE	UTE
Chorume (litros)	470,27	77,5	0,782
Biogás (m3)	64,86	-	-
Efluentes tratados (litros)	108,11	144	112,31
Efluentes lançados (litros)	108,11	-	5,11
Resíduos sólidos (kg)	1.000	341,5	8,64E-05
Cinzas (kg)	-	113,75	-
Metais (kg)	-	9,5	-
Energia elétrica (MWh)	-	0,424	0,424

Tabela 4 – Comparação das emissões gasosas das três tecnologias analisadas, por tonelada de RSU e/ou 0,484 MWh de energia elétrica

Emissões gasosas (g)	Aterro	URE	UTE
Óxidos de nitrogênio (NOx)	43,95	70,125	9,365
Monóxido de Carbono (CO)	51,32	93,5	28,475
Material Particulado (MP)	16,55	9,35	7,257
Hidrocarbonetos	45,82	9,35	-
Óxidos de enxofre (SOx)	-	42,075	8,173
Ácido clorídrico (HCl)	-	9,35	3,934

Tabela 4 – Comparação das emissões gasosas das três tecnologias analisadas, por tonelada de RSU e/ou 0,484 MWh de energia elétrica (cont.)

Emissões gasosas (g)	Aterro	URE	UTE
Ácido Fluorídrico (HF)	-	0,935	-
Cádmium, titânio e compostos		0,04675	
Merúrio e compostos		0,04675	
Outros metais pesados e compostos		0,4675	
Dioxinas e furanos		0,0935E-03	

Os valores de referência escolhidos para emissões de GEE das três tecnologias analisadas foram convertidos seguindo o mesmo princípio utilizado para os dados coletados nos EIA. Obtemos os valores normalizados, para comparação, apresentados na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Valores estimados de emissões de GEE para os três projetos analisados

Emissões de GEE	Aterro	URE	UTE
Referência	1 t RSU	1 t RSU	0,424 MWh
tCO _{2eq} /MWh - média	0,2	0,494	0,187
tCO _{2eq} /MWh - mínima	0,19	0,404	0,155
tCO _{2eq} /MWh - máxima	1,1	0,594	0,220

A proposta da URE Valoriza Santos é desviar RSU dos aterros sanitários e evitar a geração de energia elétrica de fonte fóssil. Dessa forma, podemos considerar que, apesar de promover a emissão de 0,494 tCO_{2eq} por tonelada de RSU tratada, a URE permite evitar a emissão de 0,2 tCO_{2eq} devida à geração de gás de aterro disposto em aterro com sistema de queima do gás, levando a um valor líquido similar à geração térmica a gás natural.

Os resultados obtidos nesta seção mostram que a incineração de RSU com geração de energia elétrica, tal como proposto pelo projeto da URE Valoriza Santos, apresenta vantagens relevantes em termos de gerenciamento de RSU. Além de reduzir o volume dos RSU dispostos em aterro (a redução em termos de peso é de cerca de 66%, mas em termos volumétricos é de até 85%, segundo o EIA da URE) e reduzir a geração de chorume por tonelada de RSU de 470 para 77,5 litros, a emissão de gás de aterro é evitada, pois os resíduos da incineração são inertes.

Em relação à geração de energia elétrica, as vantagens anunciadas não são bem refletidas nos resultados deste estudo. A principal é a substituição do gás natural por RSU, permitindo assim a conservação de um recurso natural de origem fóssil, substituído por um combustível que representa um passivo ambiental se não gerenciado. Entretanto, ainda existe uma necessidade de uso de combustível fóssil como adjuvante do processo de combustão, mesmo que em proporções marginais.

O consumo de água pela URE é outra desvantagem em relação às outras soluções investigadas. Em relação à UTE, pode ser destacado que a tecnologia de resfriamento proposta é de resfriamento à ar, viável somente para usinas de grande porte, que permite um consumo de água muito menor do que sistemas de resfriamento com circulação aberta ou torres úmidas.

O consumo de produtos químicos, usados nos sistemas de tratamento de água e de gases, é substancialmente maior do caso da URE, o que é facilmente explicado pela necessidade de tratamento de uma quantidade maior de água, bem como de remoção dos poluentes dos gases de exaustão para atendimento às regulações ambientais.

Em relação às emissões de poluentes nos efluentes gasosos, pode ser observado que a URE promove emissões mais elevadas de NO_x, CO, SO_x e HCl do que as alternativas, e é a única a promover emissões de HF, metais pesados, dioxinas e furanos. Entretanto, essas emissões atendem as regulações ambientais brasileiras, como mencionado do EIA do empreendimento.

Subsistem incertezas e valores não avaliados pelo estudo, por falta de informações consistentes. Em termos de emissões de GEE, não foram consideradas as emissões fugitivas de gás de aterro, dificilmente dimensionadas. Tampouco foram dimensionados os riscos de contaminação do lençol freático por vazamento de chorume, maior em aterros sanitários, do que na URE, onde o chorume é gerado nas estruturas da usina. Finalmente, os RSU dispostos em aterros sanitários emitem gás e chorume durante até 20 anos após a sua disposição, tornando necessária a continuidade das operações de coleta de chorume e captação do gás de aterro.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma comparação quantitativa dos impactos ambientais de uma URE, a disposição de RSU em aterro sanitário e a geração de energia elétrica por meio de usina térmica a gás natural, motivado pelo fato que, apesar das vantagens anunciadas pelos defensores da tecnologia, essa encontra uma forte oposição por

parte da sociedade e poucos estudos quantificaram os seus impactos ambientais.

Para a mesma quantidade de RSU tratada, a URE permite uma diminuição relevante da quantidade de chorume produzido e permite aumentar a vida útil de aterros sanitários ao reduzir o volume dos RSU em cerca de 85%. Entretanto, o consumo de água usado pela URE é consideravelmente maior e produtos químicos são necessários tanto para o tratamento dos efluentes, quanto para o tratamento dos gases para remoção dos poluentes produzidos pela incineração dos RSU. Emissões residuais de diversos poluentes são observadas, apesar de em quantidades aceitáveis pela regulação ambiental vigente. Essas desvantagens também são observadas em relação à geração de eletricidade por meio de UTE a gás natural. As emissões de GEE produzidas pela incineração dos RSU são maiores que em ambas as alternativas estudadas, porém pouco maiores do que a soma das emissões dessas alternativas. Considerando ainda as vantagens ainda não quantificadas neste estudo em termos de planejamento energético descentralizado, mineração evitada e uso da terra, o desempenho das URE em termos de sustentabilidade pode ser considerado promissor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTON, J. R.; ISSAIAS, I.; STENTIFORD, E. I. (2008). Carbon – Making the right choice for waste management in developing countries. *Waste Management* 28(4), 690–698. doi:10.1016/j.wasman.2007.09.033

CHANDEL, M. K.; KWOK, G.; JACKSON, R. B.; & PRATSON, L. F. (2012). The potential of waste-to-energy in reducing GHG emissions. *Carbon Management*, 3(2), 133–144. doi:10.4155/cmt.12.11

EPE, Nota Técnica DEA 18/14 – Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em [www.epe.gov.br › sites-pt › publicacao-251 › topico-311](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacao-251/topico-311).

EPE, Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020^a. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>

EPE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, ano-base 2019. Rio de Janeiro, 2020^b. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>

GOMES, L. P.; KOHL, C. A.; SOUZA, C. L. DE L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M. (2015). Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20(3), 449–462. doi: 10.1590/s1413-41522015020000120751

GUENDEHOU, G. H. S.; KOCH, M.; HOCKSTAD, L.; PIPATTI, R.; YAMADA, M. Incineration and Open Burning of Waste. In: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (orgs.). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES. 26 p. v. 5. cap. 5.

HE, J.; LIN, B. (2019). Assessment of waste incineration power with considerations of subsidies and emissions in China. *Energy Policy*, 126(), 190–199. doi:10.1016/j.enpol.2018.11.025

MIRANDA, M. M. Fator de emissão de gases efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2012

PALERMO, G. C.; BRANCO, D. A. C.; FREITAS, M. A. V. Comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Eng. Sanit. Ambient.* 2020, vol.25, n.4 pp.635-648. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522020192384>

PIPATTI, R.; SHARMA C.; YAMADA M. Waste Generation, Composition and Management Data. In: EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (orgs.). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: IGES. 23 p. v. 5. cap. 2

THEMELIS, N. J.; BARRIGA, M. E. D.; ESTEVEZ, P.; VELASCO, M. G. WTE. Guidebook. EEC/IDB, July 2013. Disponível em https://epm.300.myftpupload.com/wp-content/uploads/2020/10/Guidebook_WTE_Oct-25-2015.pdf.