



Estudo de Pré-Viabilidade de Geração de Energia Elétrica com Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana do Distrito Federal

Adriano Átima de Moraes (UnB)

William Macedo Pereira (UnB)

Resumo:

Nesse artigo foi elaborado um estudo de pré-viabilidade da implantação de uma usina incineradora de resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica na região metropolitana do Distrito Federal. Estima-se que 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos são gerados no Brasil e apenas 9,1% tem a destinação final adequada. Das mais de 5 mil toneladas de resíduo sólido gerado por dia na região, apenas 3% são tratados de forma adequada. Uma das principais alternativas tecnológicas que unem o tratamento dos resíduos sólidos urbanos e a geração de energia elétrica é a incineração destes, estudada neste trabalho. Adota-se aqui uma metodologia hipotético-dedutiva na qual busca-se avaliar a viabilidade da utilização de RSU para aplicação em projetos de aproveitamento energético. Foram realizadas análises econômico-financeira do empreendimento, estimativas de custos de implantação, custos de operação e manutenção, créditos de carbono e receitas, incluindo indicadores financeiros, como Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback Descontado, permitindo a análise de sensibilidade desta por meio da elaboração de cenários através do valor do investimento inicial, fluxo de caixa dos períodos analisados e taxa mínima de atratividade. Conclui-se que esse tipo de empreendimento apresenta viabilidade técnico-econômica a partir dos principais indicadores sugeridos pela literatura apenas no cenário onde apresenta resultados com TIR para o período de 12 anos.

Palavras-chave: Resíduo sólido urbano. Energia elétrica. Viabilidade técnico-econômica.

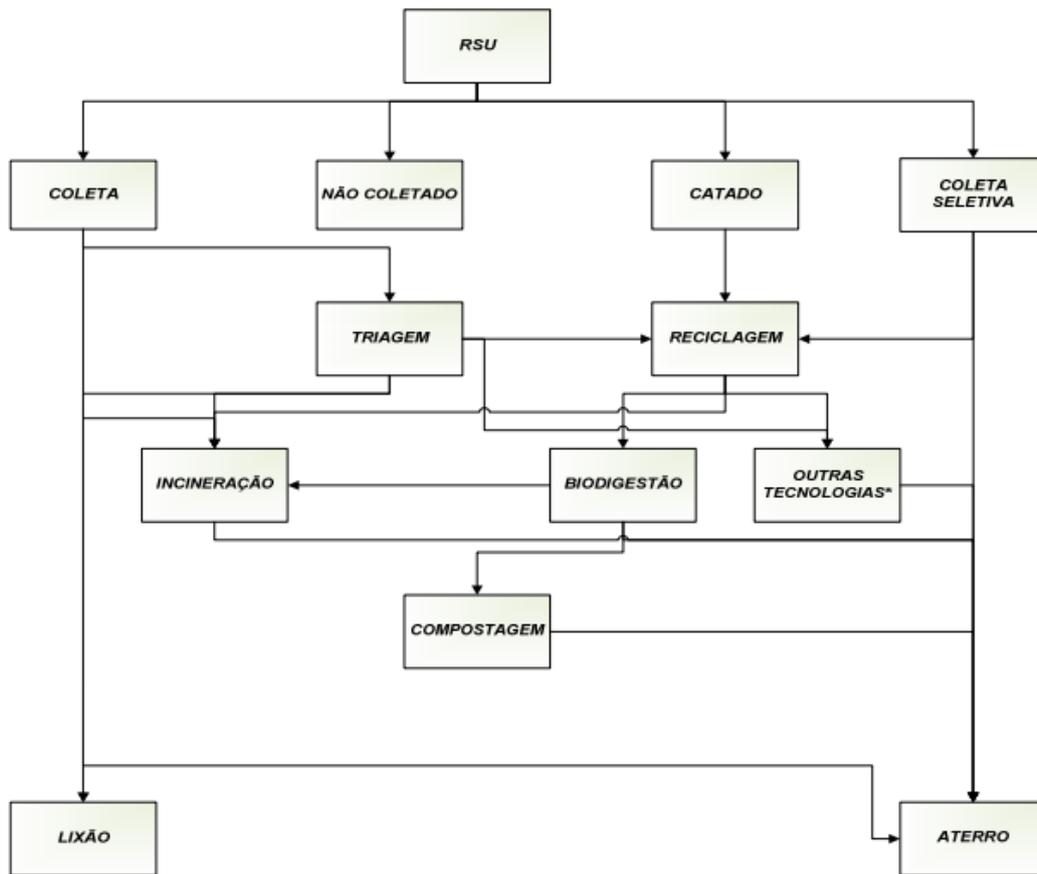
1. INTRODUÇÃO

A geração de lixo pela sociedade é inerente a forma de consumo humano e está intrinsecamente ligada aos hábitos e costumes de uma sociedade (Branco, 2010). Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) englobam os rejeitos domésticos produzidos diariamente, como embalagens plásticas, papel em geral, materiais orgânicos e inorgânicos – com exceção dos resíduos hospitalares –, industriais e perigosos (ABNT, 2004).

De acordo com o site Jornalismo Especializado da Unesp (2016), a produção de lixo no Brasil é cinco vezes maior que o crescimento populacional. Os números referentes à geração de RSU revelam um total de 79,9 milhões de toneladas no país, segundo a ABRELPE (2015). Dessa porcentagem pouco mais de 9,1% do lixo, ou seja, aproximadamente 7,3 milhões de toneladas não possuem coleta. Ademais, desse montante 30 milhões de toneladas de RSU são dispostos em lixões, caracterizando-se em um risco para a saúde pública e ao meio ambiente, uma vez que o solo não recebe nenhum tipo de tratamento ou impermeabilização para o recebimento dos RSU's (ABNT, 2004).

Ainda é muito comum a disposição final dos RSU's diretamente no solo sem qualquer tratamento prévio. A Figura 1 ilustra uma sequência de eventos para disposição dos RSU's. De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000) cerca de 30% do lixo gerado no Brasil tem potencial para ser reutilizado, mas somente 3% são reciclados.

Figura 1 - Destinação dos RSU's.



Fonte: EPE (2014).

As principais alternativas tecnológicas que unem o tratamento dos RSU's e a geração de energia são: o aproveitamento do biogás produzido em aterros sanitários para queima em turbinas a gás ou motores de combustão interna; triagem e seleção de materiais recicláveis e digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos para aproveitamento do biogás em turbinas a gás ou motores alternativos de combustão interna; incineração dos RSU's para aproveitamento do calor residual para geração em um ciclo a vapor; gaseificação e pirólise, aproveitando-se o gás produzido em turbinas a gás ou motores de combustão interna; e a gaseificação dos RSU's, com aproveitamento dos gases em um ciclo combinado eficiente (Arena, 2012). A utilização de quaisquer dessas tecnologias permite uma significativa redução de massa e volume dos RSU's, contribuindo para redução do uso de aterros e ainda apresentando a vantagem dos resíduos incinerados serem utilizados na construção civil pós processamento térmico.

A tecnologia por meio do gaseificador utilizada no tratamento térmico dos RSU's tem se mostrado adequada e consolidada em diversos países, pois permite uma correta destinação final dos RSU's com reduzido impacto ambiental, além de poder se converter em uma cadeia de geração de valor a partir da produção de resíduos sólidos com a comercialização de materiais recicláveis, produção e comercialização de energia elétrica e a comercialização de créditos de carbono. O atual nível sustentável – confirmada por Brunner et al. (2004) e Porteous (2005) – e desenvolvimento tecnológico do processo de tratamento térmico do lixo permite que a combustão ocorra em elevadas temperaturas, fazendo uso de sofisticados mecanismos de controle da emissão de gases de combustão satisfazendo as normas ambientais mais rígidas. Segundo dados do Inventário Energético dos Resíduos Sólidos da Empresa de Pesquisa Energética EPE (2014), os RSU's têm Poder Calorífico Inferior (PCI) de aproximadamente 2000 kcal/kg.

As usinas que transformam resíduos em energia (Waste to Energy - WTE), normalmente não queimam o lixo, mas realizam a gaseificação dos RSU's não produzindo chorume, sem emissão de gases tóxicos como dioxinas e furanos, nem mesmo sólidos em suspensão como ocorrera no passado com processos de incineração tradicionais. Arena et al. (2003) e Azapagic et al. (2004) quantificaram – por meio de avaliação do ciclo de vida – como um dos melhores desempenhos ambientais de regulamentos de emissões mais severos em relação a outras fontes de energia. O WTE é publicamente reconhecido como uma fonte de poder com menor impacto ambiental do que qualquer outra fonte de energia térmica (US EPA, 2003 e Rechberger e Schöller, 2006).

1.1. Metodologia

A tecnologia escolhida para o estudo foi o tratamento térmico de RSU's por meio de gaseificador. Os dados populacionais e de consumo empregados na pesquisa foi da Região do Entorno do Distrito Federal (REDF). Adota-se aqui uma metodologia hipotético-dedutiva na qual busca-se avaliar a viabilidade da utilização de RSU para aplicação em projetos de aproveitamento energético. Deste modo, fez-se a opção pela modelagem de alguns parâmetros de uma usina térmica de processamento de RSU's para a identificação da quantidade de energia gerada pelos mesmos para um dado grupo populacional, possibilitando a elaboração de um estudo de pré-viabilidade estimada de projeto.

Utilizou-se alguns indicadores de viabilidade econômico-financeiros de engenharia econômica, como o Período de Payback Descontado (PPD), Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Quanto a técnica utilizada para o tratamento em relação ao risco do projeto, foi adotada a análise de sensibilidade. Desse modo, a técnica empregada busca identificar variáveis estratégicas do empreendimento e mensurar como uma alteração prefixada em uma dessas variáveis altera o resultado da viabilidade financeira do empreendimento.

Foram escolhidas com variáveis estratégicas as receitas estimadas do empreendimento, como a comercialização de energia elétrica, comercialização de recicláveis e créditos de carbono.

Contudo, os dados para os cálculos do estudo de pré-viabilidade foram estimados, pois os recursos, escopo, riscos e demais variáveis de um projeto são definidos e confirmados somente na fase de planejamento do projeto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Avaliação da Tecnologia

No Brasil, o número de municípios estruturados para a coleta seletiva de RSU ainda é inexpressivo, sendo que grande parte de RSU coletado são misturados em caminhões compactadores, o que contamina e dificulta a triagem de recicláveis, contribuindo para a inviabilidade técnica da reciclagem de alguns materiais (FEAM, p.163, 2012).

A incineração tradicional tem como fonte de combustível o RSU que emite grandes quantidades de gases tóxicos. O processo de incineração libera gases como dioxinas e furanos

particulados e precursores da chuva ácida (NO_x, SO_x), sendo de alto custo a sua purificação (Heberlein e Murphy, p.58, 2008). O uso do RSU para produção de eletricidade, além de ser uma boa opção para o tratamento de resíduos, tem um papel extremamente importante para a redução do consumo de combustíveis fósseis, como o petróleo, além de contribuir diretamente para os compromissos internacionais de redução das emissões atmosféricas (Luz, p.23, 2013).

A incineração é um processo bruto de tratamento térmico de RSU sob altas temperaturas – em torno de 900°C a 1200 °C – com tempo de residência controlada, feito via oxidação. Uma parte orgânica dos resíduos é transformada em gases e outra é transformada em sólido. Esta prática ajuda a reduzir o volume, o peso e a periculosidade dos materiais. As escórias e cinzas são destinadas a aterros adequados, os efluentes líquidos são encaminhados para estação de tratamento, e os gases da queima são tratados e monitorados através de parâmetros como vazão, temperatura, níveis de O₂, CO e também índices de NO_x, SO_x e materiais particulados (Laurent, p.45, 1999).

2.2. Indicadores Econômicos

No projeto utiliza-se um fluxo fixo onde alguns insumos são transformados em produtos novos. Esses fluxos fixos têm necessariamente uma contrapartida financeira, onde os insumos comprados e às máquinas usadas correspondem saídas de dinheiro, e aos produtos que são produzidos correspondem entradas de dinheiro (Buarque, p.28, 2008), portanto, custos e receitas, respectivamente. O cálculo dos custos operacionais é uma das etapas mais importantes e que devem ser detalhadas num projeto. Sua estrutura depende, sobretudo, de todas as outras etapas, além de influenciar sobre muitas dessas partes.

Entretanto, existem dois tipos de custos: os investimentos – aqueles que são realizados antes que a empresa comece a funcionar – e custos operacionais – aqueles que se repetem periodicamente. Esses pontos são culminantes em qualquer projeto, pois com estas previsões é que se pode calcular a rentabilidade de um projeto, ou seja, a viabilidade da implantação desse projeto. A rentabilidade está em função dos custos e receitas, e varia de acordo com estas. Essa variação se denomina sensibilidade de projeto, informando aos responsáveis pelo projeto qual seu comportamento, conhecendo, assim, os riscos inerentes aos investidores. Ao se comparar a rentabilidade com outras alternativas, pode-se determinar se o projeto em estudo representa uma decisão acertada para o investimento (Buarque, p.33, 2008). É importante avaliar o grau de incerteza que envolve todos os projetos de investimento (Franco, p.149, 2012). Cirino (2013)

recomenda que na análise de sensibilidade sejam definidos cenários a partir das variáveis estratégicas escolhidas e execute-se variações positivas e negativas em 10 pontos percentuais. Nessa perspectiva, seria possível analisar como a rentabilidade do projeto poderia ser alterada em função da mudança destas variáveis estratégicas.

Um importante tópico a ser considerado em análise de viabilidade econômica de projetos de investimentos é o valor presente líquido (VPL). A matemática financeira mostra que não podemos simplesmente somar ou subtrair valores futuros de fluxos de caixa em um projeto. O VPL é um método que consiste em trazer para a data zero todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento e soma-los ao valor do investimento inicial, considerando, portanto, o valor do dinheiro no tempo. Nesse conceito utiliza-se uma taxa de desconto denominada taxa mínima de atratividade (TMA), que representa o mínimo de retorno que o executor do projeto deseja obter ou, segundo Cassaroto e Kopittke (2000), a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. Ou seja, o VPL é o valor extra gerado pelo projeto depois de recuperar e remunerar o investidor. A taxa interna de retorno (TIR) presente nesta análise, é uma taxa de desconto hipotética que visa trazer o valor das despesas – trazidas ao valor presente – sejam iguais aos valores dos retornos dos investimentos também trazidos ao valor presente.

Nas avaliações de projeto um dos métodos mais comuns é Payback Descontado (PPD). Ele permite obter o tempo necessário para que as receitas do projeto se igualem ao valor investido, ou seja, o tempo de recuperação do investimento realizado, avaliando-se os fluxos de caixa considerando o valor do dinheiro no tempo.

3. ESTUDO TÉCNICO

3.1. Estimativa Energética

A partir dos dados fornecidos pelo Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás (TCMGO, 2016) e ABRELPE (2015), verificou-se que a estimativa de geração de RSU da REDF é de 5243,7 ton/dia. Segundo o art. 9º da Lei nº 12.305/2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), deve-se separar os materiais passíveis de reciclagem antes da realização do tratamento e disposição final. A composição dos RSU's brasileiro por análise gravimétrica, com base no panorama de 2011, pode ser observada na Tabela 1. Antes do tratamento térmico considerou-se a separação dos recicláveis plásticos, vidros, papéis e metais,

resultando em aproximadamente 3576,2 ton/dia de RSU's que efetivamente passam por tratamento térmico, superando o mínimo viável sugerido por Rand et al. (2000).

TABELA 1

Composição do RSU brasileiro. Fonte: ABRELPE, 2011.

RSU	Composição (%)
Vidros	2,4
Metais	2,9
Papel	13,1
Plásticos	13,5
Orgânicos	51,5
Outros	16,7

Menezes (2000) prevê a capacidade de um incinerador na produção de energia elétrica entre 400 Wh/ton a 950 Wh/ton. Genon et al. (2010) mostram que a eficiência de um gaseificador de RSU para turbinas a gás está em 70%. Martinez et al. (2011) apud Lora e Venturini (2012) expõem que a eficiência a frio de um gaseificador pode variar entre 50 e 80%. Nesse trabalho considera-se para a eficiência total do sistema (η) o produto entre a eficiência do motor e a eficiência do gaseificador em, respectivamente, 70% e 70%. Considerando a produção de RSU descrita acima e a η de uma planta incineradora, obtém-se a estimativa da quantidade de energia elétrica produzida por ano a partir da Equação 1:

$$EEa = RSU \text{ incinerado} \times \eta \times DT \quad (1)$$

onde DT são os dias trabalhados por ano, portanto, 313 dias. Os resultados dessa estimativa consideram como 26 dias trabalhados no mês e podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2

Quantidade de energia elétrica produzida.

DADOS	
Eficiência global de projeto	0,49 kWh/ton
Estimativa de energia elétrica produzida por ano (EEa)	373 MWh/ano

3.2. Análise Econômica

Uma usina de processamento térmico de lixo para geração de energia tem um custo de implantação mencionado por Santos et al. (2010) em US\$ 1.563,00/kW. Em relação a conversão de moeda adotada foi utilizada a cotação do Banco Central do Brasil (BCB) de 14 de julho de 2017, no qual US\$ 1,00 equivalia a R\$ 3,190. Os custos de operação e manutenção consideram gastos com salários e encargos trabalhistas. Considerando quatro trabalhadores para cada tonelada de lixo recebido na usina, calcula-se o custo de operação (CO), conforme Equações 2 e 3:

$$CO = CMO \cdot N_T \quad (2)$$

onde CMO é o custo de mão de obra dado por:

$$CMO = SAL \cdot E_T \quad (3)$$

NT é o número de trabalhadores por tonelada de lixo, SAL é o salário mínimo nacional brasileiro vigente no ano de 2017 e ET são os encargos trabalhistas, totalizando 22,55% do salário. Nessa dedução, considera-se para efeitos de cálculos como 24 h de trabalho por dia.

Os custos de manutenção (CM) foram calculados a partir da Equação 4:

$$CM = HT \cdot CME \quad (4)$$

onde HT são as horas de trabalho para 313 dias e CME é o custo de manutenção dos equipamentos. Segundo Luz (2013) os CME podem variar entre R\$ 4.600,00 a R\$ 12.720,00 para cada 24 h de operação. Com base num cenário pessimista, temos os seguintes resultados, como observados na Tabela 3.

TABELA 3

Estimativa inicial de investimentos e manutenção e operação.

ESTIMATIVA	RESULTADO
Investimento inicial	R\$ 143.000.000,00
Custos de manutenção e operação	R\$ 7.730.000,00 / ano

3.2.1. Estimativa de Receitas

As receitas estimadas do projeto estão divididas em 4 partes: as receitas decorrentes da comercialização de energia elétrica, as receitas da comercialização de recicláveis, receitas da venda de créditos de carbono do metano evitado e receitas resultantes da taxa pela disposição e tratamento final dos RSU's.

O preço da comercialização da energia (CE) elétrica considerado foi R\$ 248,00/MWh para a região do Estado de Goiás, de acordo com a média dos dados de leilão de energia de reserva da

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2017) em julho de 2017. Deste modo, considerando a estimativa de energia gerada por ano, calcula-se a estimativa de receita a partir da Equação 5, que gerar-se-ia receitas previstas em aproximadamente R\$ 2.220.000,00/ano,

$$ER = EEa \times CE \times CD \quad (5)$$

onde CD é a cotação vigente do dólar.

Quanto a estimativa dos rendimentos pela comercialização dos recicláveis, de acordo com Britto (2015) e Almeida e Zaneti (2008) os valores praticados na região do Distrito Federal remunera-se R\$ 0,50/kg para plásticos, R\$ 0,03/kg para vidros, R\$ 0,06/kg para papéis e R\$ 0,16/kg para metais. Deste modo, obtém-se uma receita mensal estimada conforme observada na Tabela 4.

TABELA 4

Estimativa de receita mensal da comercialização de materiais recicláveis.

RECICLÁVEIS	RSU (kg/mês)	RECEITA MENSAL
Vidros	3.272.068,8	R\$ 98.160,00
Metais	3.953.749,8	R\$ 632.600,00
Papel	17.860.042,2	R\$ 1.072.000,00
Plásticos	18.405.387,0	R\$ 9.203.000,00
	Receita mensal acumulada	R\$ 11.005.000,00

Os créditos de carbono oriundos do tratamento dos RSU's foram calculados de acordo com as equações de equivalência fornecidas pelo Ministério de Ciências e Tecnologia-MCT (2017). Segundo a URS Corporation (2005), a tecnologia de gaseificação pode gerar uma redução de emissão de 0,078601 ton de carbono / ton de RSU tratado. Nesse ínterim, os créditos de carbono gerados (CCG) foram calculados a partir da Equação 6, resultando em aproximadamente 88 mil CCG / ano. Considerando-se que 1 crédito de carbono é comercializado a € 5,36 de acordo com o site Investing.com (2017), e o Euro a R\$ 3,654 de acordo com o BCB em 14 de julho de 2017, a comercialização dos créditos de carbono geraria uma receita de aproximadamente R\$ 21.900.000,00 anuais.

$$CC_G = 0,078601 \times \Sigma RSU \text{ tratado} \quad (6)$$

3.2.2. Análise de Viabilidade

O cenário para a análise quanto ao VPL considera uma TMA de 8% ao ano, de acordo com a CCEE (2014). Por meio da Equação 7 calcula-se o VPL que, para um período de 6 anos, obtém-se a projeção em aproximadamente R\$ 19.800.000,00,

$$PV = \sum \frac{FV}{(1+i)^n} - FC \quad (7)$$

em que onde PV é o valor presente, FC o valor investido inicialmente, FV é o valor futuro, i é a TMA e n é o ano referente ao retorno daquele investimento. O valor encontrado para o VPL indica uma aplicação atrativa ao investidor. Entretanto, a TIR encontrada no período foi de 4%. Isso supõe que a rentabilidade do projeto em estudo mostra-se inadequada quando comparada ao custo do capital envolvido. Todavia, quando se aumenta o período para 12 anos a TIR apresenta uma taxa de 12%, tornando-se, nesse intervalo, um investimento vantajoso com uma projeção dada em aproximadamente R\$ 122.046.000,00.

Através do fluxo de caixa elaborado a partir do investimento inicial, dos custos de operação e manutenção e receitas discutidas anteriormente, obteve-se os indicadores de viabilidade. A partir do PPD, observou-se que o tempo necessário para o retorno do investimento feito na implantação da usina térmica foi de 7 anos. Como o tempo necessário para retorno do investimento foi menos que o tempo limite estipulado de 14 anos, levando o PPD como critério, tem-se que o PPD obtido é razoável.

3.3. Análise de Sensibilidade Econômica por Cenários

Nesta seção foi realizada a análise de sensibilidade por cenários para o VPL e a TIR do projeto para os dois períodos analisados, adotando como cenário positivo um aumento de 10 pontos percentuais nas receitas de comercialização de energia, receitas da comercialização de recicláveis e venda dos créditos de carbono, e no cenário pessimista uma diminuição de 10 pontos percentuais nessas receitas. As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados obtidos para os dois períodos analisados.

TABELA 5

Resultados da análise de sensibilidade por cenários para o período de 6 anos.

INDICADOR	CENÁRIO INICIAL	CENÁRIO OTIMISTA	CENÁRIO PESSIMISTA
VPL	R\$ 19.800.000,00	R\$ 35.980.000,00	R\$ 4.990.000,00

TIR	4%	7,4%	1,13%
-----	----	------	-------

TABELA 6

Resultados da análise de sensibilidade por cenários para o período de 12 anos.

INDICADOR	CENÁRIO INICIAL	CENÁRIO OTIMISTA	CENÁRIO PESSIMISTA
VPL	R\$ 122.046.000,00	R\$ 148.510.000,00	R\$ 97.990.000,00
TIR	12%	16%	11%

Para os dois indicadores analisados observou-se que a rentabilidade do projeto foi mais sensível a alterações negativas nas receitas em comparação com suas mudanças positivas. Na comparação entre os critérios constatou-se que o VPL em relação à TIR é mais sensível em resposta às variações de receita nos cenários elaborados na análise de investimento em estudo. Concluiu-se pela análise de sensibilidade dos períodos que para o cenário otimista implicaram em uma variação de aproximadamente 82% e 22% para cima nas receitas no cenário otimista, e aproximadamente 25% e 80% para baixo nas receitas no cenário pessimista para os dois períodos analisados, respectivamente.

4. CONCLUSÃO

A partir da coleta de dados e dimensionamento de RSU gerado por um dado grupo populacional, estimou-se por meio da metodologia técnica adotada a quantidade de energia elétrica que poderia ser gerada. Os resultados deste estudo permitiram concluir que esse tipo de empreendimento apresenta viabilidade técnico-econômica, pois a partir dos principais indicadores de viabilidade sugeridos pela literatura, o tipo de investimento se mostra viável em relação aos indicadores de viabilidade econômico-financeiros VPL e TIR dos cenários no período de 12 anos.

Uma das vantagens de produzir energia elétrica por meio de tratamento térmico é a consequente redução das emissões de gases de efeito estufa, além do combustível utilizado ser de baixo custo. É ainda uma energia isenta de taxas de usos das linhas de transmissão e distribuição de energia no Brasil. Ressalta-se ainda a possibilidade de participação em programas de incentivo do Governo Federal como leilões e contratos específicos. Entretanto, um aspecto negativo desse tipo de tecnologia é o elevado investimento inicial para a implantação

das instalações e elevados custos de manutenção e operação, somados a incertezas nas receitas. Uma outra desvantagem é a composição irregular dos RSU's, com variações em tamanho, granulometria e nível de umidade, dificultando a definição da quantidade de energia térmica dos RSU's.

A tecnologia de tratamento térmico pode gerar significativa redução na emissão de carbono para a atmosfera, permitindo ganhos tanto na redução quanto por MW transferido. Adotando um consumo médio de energia elétrica 150 kWh/ano por consumidor e 5 pessoas por residência, tem-se que aproximadamente 2.500 residências, portanto, 12.500 habitantes possam se beneficiar deste empreendimento.

Para considerações de trabalhos futuros, sugerimos a inclusão da taxa de geração de créditos de carbono (CCT) para obter integralmente a margem dos créditos de carbono disponíveis para comercialização, conforme sugere o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2012). Há também que ponderar nos cálculos a Redução Certificada de Emissão (RCE), adotada pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) criado pelo Protocolo de Kyoto para auxiliar o processo de redução de gases do efeito estufa que corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. São Paulo, 2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos: classificação. NBR 10.004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, V. G., ZANETI, I. C. B. B. Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Análise do Mercado de Recicláveis do Distrito Federal, DF. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT11-400-652-20080508170910.pdf>>. Acesso em: 18 de julho de 2017.

ARENA, U. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. Waste Management, v. 32, n. 4, p. 625-639 2012.

AZAPAGIC, A., PERDAN, S., CLIFT, R. Sustainable development in practice. J. Wiley & Sons. Ltda. Chicester, UK, 2004.

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. M.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P. Viabilidade econômico-financeira de projetos. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

BRANCO, P.C. Planejamento Técnico da Implementação de UTE's a Lixo em Regiões Metropolitanas – Tecnologia de Leito Fluidizado, Monografia de MBA, Instituto de Eletrotécnica e Energia, São Paulo, 2010.

BRITTO, M. D. Gestão de Resíduos Sólidos no Distrito Federal: Uma Análise de Sustentabilidade do Trabalho da Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Recicle a Vida. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, 2015.

BRUNNER, P.H., MORF, L., RECHBERGER, H., 2004. Thermal waste treatment – a necessary element for sustainable waste management. In: Twardowska, Allen, Kettrup, Lacy (Eds.), Solid Waste: Assessment, Monitoring, Remediation. Elsevier B.Y, Amsterdam, The Netherlands.

BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos. São Paulo: Elsevier, 2008.

CASSAROTO FILHO, N., KOPITTKKE, B. H. Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. ed. 9. São Paulo: Atlas, 2000.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Consulta de Subsídios para a Definição da Taxa de Desconto Utilizadas nos Planejamentos de Operação e Formação de Preço de 2014. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/CCEE%20CP%20006_2014.pdf>. Acesso em: 16 de julho de 2017.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Consulta sobre Comercialização de Energia Elétrica Modalidade Contratação de Energia de Reserva. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/aceso_rapido_header_publico_nao_logado/>. Acesso em: 12 de julho de 2017.

CIRINO, J, F. Biodigestor para Geração de Energia Elétrica a partir da Suinocultura: Análise de Viabilidade para um Sítio em Coimbra-MG, Revista de C. Humanas, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 421-440, 2013

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Inventário Energéticos dos Resíduos Sólidos Urbanos. Nota Técnica DEA 18/14, Serie Recursos Energéticos, 2014.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM, 163 p., 2012.

FRANCO, J. Elaboração e Análise de Projetos. Núcleo de Educação à Distância. Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2012.

GENON, G. DURANTE, R. BRIZIO, E. Environmental performances and energy efficiency: a comparison between incineration and pyrolysis/gasification technologies for MSW treatment. 3th International Symposium on Energy from Biomass and Waste by CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Venice 2010.

HEBERLEIN, J.; MURPHY, A. B. Thermal plasma waste treatment. Journal of Physics Applied Physics, v. 41, n. 5, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado110.shtm>. Acesso em: 1 de junho de 2017.

INVESTING.COM, 2017. Consulta ao Valor de Créditos de Carbono. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>>. Acesso em: 14 de julho de 2017.

JORNALISMO ESPECIALIZADO – UNESP, 2016. Disponível em: <<https://jornalismoespecializadounesp.wordpress.com/2016/02/22/producao-de-lixo-no-brasil-e-cinco-vezes-maior-que-o-crescimento-populacional/>>.

LAURENT, B. The incineration of waste in europe: issues and perspectives. INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES SEVILLE. Sevilla, 1999.

LORA, E. E. S., VENTURINI, O. J. Biocombustíveis. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

LUZ, F. C. Avaliação técnico-econômica de plantas de gaseificação de lixo urbano para geração distribuída de eletricidade. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, 2013.

MACHADO, J. S. P. Projetos econômicos: uma abordagem prática de elaboração. São Paulo: Nobel, 2002.

MARTINEZ, J. D. et al. Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. Biomass & Bioenergy, v. 35, n. 8, p. 3465-3480 2011.

MCT – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Margem de construção e margem de operação em 2012. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/338047.html#ancora>>. Acesso em: 18 de julho de 2017.

MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Cálculo da Taxa de Crédito de Carbono. Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

MENEZES, R. A. A., GERLACH, J. L., MENEZES, M. A. Associação Brasileira de Limpeza Pública “Estágio Atual da Incineração no Brasil. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública 3 a 7 de Abril de 2000, Parque Barigui – Curitiba.

POLETTI, J. A. F. Viabilidade Energética e Econômica da Incineração de Resíduo Sólido Urbano considerando a Segregação para Reciclagem. 119 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

PORTEOUS, A. Why energy from waste incineration is an essential component of environmentally responsible waste management. Waste Management 2005, 451–459.

RAND, T., HAUKOHL, J., MARXEN, U. Municipal Solid Waste Incineration – Requirements for a Successful Project. Washington, DC, 2000.

RECHBERGER, H., SCHÖLLER, G. Comparison of Relevant Air Emissions from Selected Combustion Technologies. Project CAST. CEWEP – Congress, Waste-to-Energy in European Policy, 18 May 2006.

ROSSI, C. R. Potencial de Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos na Região da AMESC. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SANTOS, P. E., GARRETO, D. T. A., PAVAO, A. C., VASCONCELOS, F. A., DA SILVA, M. F. Estudo da Viabilidade Econômica de Implantação de uma Usina para Produção de Energia Elétrica a partir do Lixo Urbano Residencial em Mossoró/RN. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande.

THEMELIS, N. J. An Overview OF the Global Waste-to-Energy Industry. In: Waste Management World, Jul-Aug 2003, pp. 40-47. Tulsa, OK: Pennwell Publishing, 2003.

TCMGO – Tribunal de Contas dos Municípios do Estado de Goiás, 2016. Manual de Orientações para Análise de Serviços de Limpeza Urbana. Disponível em: <<http://www.tcm.go.gov.br/explorer/repositorio/comunicacao/1467289445385.pdf>>.

URS CORPORATION. Evaluation of alternative solid waste processing technologies. Los Angeles, 2005b. Disponível em: <http://www.lacitysan.org/solid_resources/strategic_programs/alternative_tech/PDF/final_report.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

US-EPA Environmental Protection Agency 2003. Letter to President of Integrated Waste Service Association. Disponível em: <www.wte.org/docs/epaletter.pdf>.