

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL BIOGAS DE ATERRAMIENTO SANITARIO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

E. Vanzin¹, A. Pandolfo², J.W. J. Rojas³, R. Gheno⁴, J. Kurek⁵, L. M. Pandolfo⁶, T. Betto⁷.

Universidad de Passo Fundo, UPF, Brasil

Universidad Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil³

Faculdade de Engenharia e Arquitetura – FEAR/UPF – Passo Fundo

Campus I - Km 171 - BR 285, Bairro São José, Caixa Postal 611 - CEP 99001-970, e-mail: engrojas@gmail.com

RESUMEN: Este trabajo tuvo como objetivo analizar la viabilidad económica de la generación de energía eléctrica a través del biogás proveniente de la descomposición anaeróbica de residuos oriundos del aterramiento sanitario Santa Tecla en la municipalidad de Gravataí – RS. Los procedimientos adoptados se demostraron viables económicamente con una TIR de 13,76% y un VPL de US\$1.322.238,85 para una tasa mínima de atractivo de 8% a.a., sin embargo con gran sensibilidad a la cotización del dólar.

Palabras clave: gas metano, aterramiento sanitario, generación de energía, viabilidad económica.

INTRODUCCION

El desarrollo económico y el estilo de vida de la sociedad moderna son procesos complejos que comparten un denominador común: la disponibilidad de un abastecimiento adecuado y confiable de energía. Aún así, la preocupación con el medio ambiente instiga cuestiones relacionadas con el calentamiento global, la lluvia ácida y la disposición de los residuos, que están estrictamente relacionadas a la forma como es utilizada la energía. De acuerdo con Hinrichs y Kleinbach (2003), la energía es uno de los principales constituyentes de la sociedad moderna, indispensable para crear bienes a partir de los recursos naturales y fornecer muchos servicios.

Según Ensinas (2003), la disposición final de los residuos sólidos urbanos es uno de los graves problemas ambientales enfrentados por los grandes centros urbanos en todo el planeta, tendiendo a agravarse con el aumento del consumo de productos desechables. Una de las alternativas de tratamiento de los desechos sólidos son los aterramientos sanitarios, que tienen como uno de sus subproductos la emisión de gases provenientes de la descomposición del material orgánico. Los principales constituyentes de éstos gases son el dióxido de carbono y el gas metano, siendo éste último un combustible posible de ser colectado y utilizado para la generación de energía.

Alves (2004) afirma que la proporción de gas en la mezcla depende, entre otros parámetros, del tipo de material degradado, siendo el metano combustible empleado para mover motores y generadores de energía eléctrica, y cuando quemado por combustión completa minimiza la polución atmosférica y la contribución para el efecto estufa.

De acuerdo con la CETESB (1999), la generación de metano en depósitos de residuos sólidos urbanos en Brasil es de 677Gg, su densidad es de 0,716kg/m³, lo que representa 945 millones de metros cúbicos por año. Como el metano representa 55% del volumen del biogás, se tiene 1718 millones de metros cúbicos anuales de este gas, con recuperación típica de 90%, así, estarían disponibles 1546Mm³ de biogás para generación de energía eléctrica. Multiplicándose este valor por el poder calorífico del biogás, 5.800kcal/m³ y el resultado por 4.180J/kcal, se obtiene 3748122,4 x 10¹⁰Joules, siendo que cada Joule corresponde a 1 Watt - segundo. Dividiéndose este valor por el número de segundos en una hora (3.600s/h) y multiplicándose el resultado por la eficiencia del motor a combustión interna, normalmente utilizado en éste sistema, en la franja de 20%, se encuentra la energía disponible de 2,1TWh, que alimentaría una ciudad de 875 mil residencias con consumo medio mensual de 200KWh, lo que equivale a una ciudad de aproximadamente 3,5 millones de habitantes.

La conversión biológica de los residuos sólidos con fines energéticos viene ganando importancia a cada día, una vez que los residuos urbanos pasaron a ser considerados una fuente inagotable de energía alternativa. Según Lima (1995), los métodos biológicos para la producción de combustibles a partir de la basura se basan en el rendimiento de la actividad microbiana, principalmente de bacterias anaeróbicas que, a través de su metabolismo, transforman la materia orgánica en productos combustibles, como el gas metano y el hidrógeno.

¹Ingeniero Eléctrico, Master en Ingeniería (UPF)

²Ingeniero Civil, Doctor, Profesor de la Facultad de Ingeniería Civil (UPF)

³Ingeniero Civil, Master en Ingeniería, Doctorando en Ingeniería Civil (UFRGS)

⁴Administradora, Master en Ingeniería (UPF)

⁵Ingeniera Civil, Master, Profesora de la Facultad de Ingeniería Civil (UPF)

⁶Ingeniera Civil, Master, Profesora de la Facultad de Ingeniería Civil (UPF)

⁷Química, Estudiante de Maestría en Ingeniería (UPF)

De acuerdo con Lima (1995), a pesar de las incertidumbres, muchos proyectos visando a la exploración del gas metano en aterramientos sanitarios vienen siendo establecidos en las últimas décadas en todo el mundo. Esta movilización se inició en 1973, con la crisis del petróleo, que desencadenó grupos de pesquisa en Norte América, Suiza, Alemania y Grecia. Solamente en los Estados Unidos, más de sesenta unidades fueron instaladas, movilizandofondos del gobierno americano y de empresas privadas relacionadas al uso del gas o a la exploración de recursos energéticos alternativos, tales como: Aterramiento de Monterrey Park (112.000m³/día de gas metano), Aterramiento de San Fernando (100.000m³/día), Aterramiento de Liosia – Atenas – Grecia (192.000m³/día).

Serpa y Lima (1984), estudiando el proceso de mecanización de residuos orgánicos (basura urbana), definieron las principales condiciones de contorno del proceso de digestión, iniciando por la fase aeróbica hasta la metanogénica estable. De acuerdo con datos del Balanceo Energético Nacional, del Ministerio de Minas e Energía (MME, 2003), la participación de la biomasa en la matriz energética brasileña es de 27%, siendo 11,9% utilización de leña de carbón vegetal, 12,6% bagazo de caña-de-azúcar y 2,5% otros.

El potencial de energía eléctrica a partir del biogás de Brasil era superior a 350MW, en 2005. Teóricamente, éste potencial debe crecer año a año en la proporción del crecimiento poblacional y del crecimiento económico. En los Estados Unidos y países de Europa, el potencial instalado de generación de energía con biogás y aterramientos es estimado en cerca de 1200MW y 500MW, respectivamente, según la agencia ambiental Norte Americana – EPA (ZULAUF, 2004).

Este artículo se trata de la verificación de la viabilidad económica del biogás como fuente generadora de energía eléctrica. Por tanto, este artículo se trata de la elaboración de procedimientos para evaluar la viabilidad económica de la generación de energía eléctrica con la utilización del biogás proveniente de la descomposición anaeróbica de residuos en aterramientos sanitarios, proporcionando una herramienta para criterio de decisión en la utilización de esta fuente de energía renovable próxima a los centros generadores de residuos y consumidores de energía eléctrica.

METODOLOGÍA

La metodología comprendió un estudio de caso; un aterramiento sanitario inserido en la región metropolitana de Porto Alegre, sur de Brasil, dónde fue analizada la generación de biogás proveniente del mismo aterramiento; la generación de energía a partir del biogás y por último el estudio de la viabilidad económica de una usina generadora de energía.

Fue tomado como objeto de estudios el Aterramiento Sanitario Metropolitano Santa Tecla, un aterramiento brasileño localizado en la región metropolitana de Porto Alegre, en la Carretera Henrique Closs, km 6, en la municipalidad de Gravataí, conforme la Figura 1.



Figura 1: Localización del Aterramiento Metropolitano Santa Tecla. (Datos cartográficos, Google 2008).

Según el Departamento Municipal de Limpieza Urbana, DMLU (2005), hasta el año de 1999 el área fue operada como depósito de basura, cuándo se ejecutaron obras de remediación e implantación del aterramiento sanitario de 10 hectáreas. El aterramiento es del tipo rampa, con una zona antigua cerrada que contiene 570 mil toneladas de residuos y una zona activa más reciente, con capacidad de 2 millones de toneladas. La profundidad máxima de los residuos, en el área más antigua, es de, aproximadamente, 25 metros y en el área más reciente de 35 a 40 metros.

De acuerdo al Departamento Municipal de Limpieza Urbana, el aterramiento recibió hasta mayo de 2005 las cantidades de residuos sólidos presentadas en la Tabla 1.

Año de operación del aterramiento	Cantidad (t)
Hasta 1999	380.000,00
1999	232.671,14
2000	266.632,76
2001	361.812,47
2002	375.787,43
2003	219.532,28
2004	134.746,81
2005 (hasta mayo)	72.025,36
Total	2.043.208,24

Tabla 1: Cantidad de residuos depositados en el Aterramiento Santa Tecla. (DMLU, 2005).

A seguir, están presentadas algunas características y atributos del aterramiento sanitario en estudio: (a) Un sistema de control del desagüe pluvial que impide que la mayor parte del agua se mezcle con el desecho y se transforme en percolado, o que fluya para adentro del sistema de tratamiento del lixiviado; (b) Cerca de 40% del aterramiento reposa sobre suelos originales, y 60% sobre una capa de 1m de arcilla compactada, con una conductividad hidráulica mínima de 1×10^{-7} cm/s. En la célula más reciente, de 2,4 hectáreas, el sistema de impermeabilización es hecho con geomembrana de polietileno de alta densidad; (c) Posee un sistema interno de colecta de percolado que desagua el material para una laguna de acumulación. El sistema colecta, en media, 200m^3 de lixiviado al día. Una porción de éste material es tratada en el sistema de lagunas del local; parte es recirculada para adentro del aterramiento; lo restante es transportado para una estación de tratamiento de aguas residuales; (d) Un sistema de ventilación de biogás que consiste en, aproximadamente, 140 desagües, conforme presenta la Figura 2.

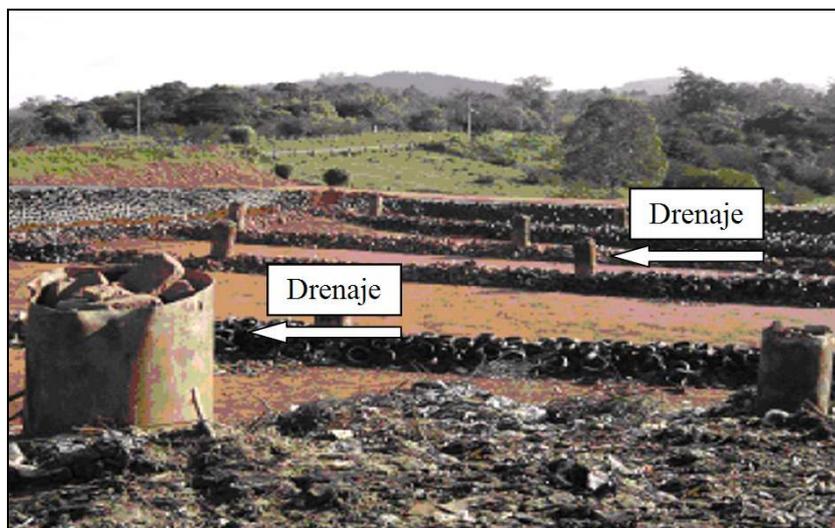


Figura 2: Sistemas de ventilación de gas del Aterro Metropolitano Santa Tecla.

Para la determinación del potencial de generación del gas metano fue utilizado el método de inventario de las emisiones de metano preconizado por la USEPA (1991), éste método, conocido como “decaimiento de primer orden” considera el gas metano emitido por largos periodos de tiempo. La determinación de la emisión anual de CH_4 para países, regiones, o casos individuales, puede ser calculada por la Ecuación 1.

$$Q = L_0 \times R(e^{-kc} - e^{-kt}) \quad 1$$

Siendo:

- Q = Generación de metano al año ($\text{m}^3/\text{año}$);
- L_0 = Potencial de generación de metano de los residuos (m^3/t de basura);
- R = Media anual de deposición de los residuos durante la vida hábil del aterramiento ($\text{t}/\text{año}$);
- K = Constante de decaimiento (año^{-1});
- e = Tiempo desde el cerramiento del aterramiento (años);
- t = Tiempo desde la apertura del aterramiento (años).

De acuerdo con la USEPA (1991), el factor L_0 depende de la composición de los residuos y de las condiciones del aterramiento para el proceso de mecanización, estando los valores encontrados entre $6,2$ y 270m^3 de metano por tonelada de residuos para aterramientos americanos. Según la USEPA (1991), es utilizado un valor pre-establecido de 170m^3 de metano por tonelada de residuos.

La constante de decaimiento (k) está relacionada con el tiempo necesario para la fracción de carbono orgánico degradable (COD) de la basura, decaer a la mitad de su masa inicial. Esta constante es influenciada por la disponibilidad de nutrientes, por el pH, por la temperatura y, principalmente, por el tenor de humedad. De acuerdo con la USEPA (1991), los valores típicos de k varían de 0,02 para aterramientos secos a 0,07 para aterramientos mojados, adoptándose 0,05 como valor pre-establecido para aterramientos con más de 625mm de precipitación al año.

Para la generación de energía eléctrica fue considerada la utilización de motores de combustión interna, acoplados a grupos generadores, que son prontamente disponibles en el mercado y pueden ser obtenidos en unidades modulares. Estos motores generadores están disponibles en varios tamaños con capacidades de generación de menos de 0,5 megawatts (MW) hasta más de 3MW por unidad, con un costo de capital relativamente bajo por KW y una mejor eficiencia que grande parte de las turbinas a gas, con la ventaja de la naturaleza modular de este sistema, que proporciona flexibilidad para mayor expansión, teniendo en vista la naturaleza incierta de la producción futura del biogás. Conforme datos del Banco Mundial (2004), el costo de capital de estos grupos generadores está entre US\$600 mil a US\$800 mil por MW de capacidad generadora, sin embargo, representan entre 40% a 60% del costo total del emprendimiento.

Para el análisis de la inversión fueron incluidos el estudio de las inversiones necesarias a la instalación de una usina generadora de energía, la forma de financiamiento, la formatación del flujo de caja, con recetas y gastos y el análisis de la viabilidad técnica-económica de la inversión. Por lo tanto, para la evaluación de alternativas de inversión, se procedió con el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

Para Souza y Clemente (1995), la TIR “consiste en la tasa (i) que iguala el flujo de entradas con el flujo de salidas”. En el criterio de decisión, la TIR es utilizada cuando el valor obtenido sea superior al costo de oportunidad, en éste caso, el proyecto puede ser acepto. La Tabla 2 presenta las condiciones de viabilidad llevándose en consideración la tasa interna de retorno y la tasa mínima de atractivos.

TIR	y	TMA	Viabilidad del proyecto
TIR	>	TMA	- Proyecto económicamente viable
TIR	<	TMA	- Proyecto económicamente inviable
TIR	=	TMA	- Indiferente invertir los recursos o dejarlos rindiendo ahorros

Tabla 2: Condiciones de viabilidad de proyecto (Motta y Calôba, 2002).

El análisis de la inversión fue realizado a través del cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) que representa el valor de costo de capital que vuelve el VPL nulo. También fue verificada la posibilidad de venta de créditos de carbonos a través de la reducción de emisión de gas efecto estufa (GEE).

Para el cálculo de la emisión de metano, a través de los residuos sólidos dispuestos en el aterramiento sanitario, fue utilizado el software *Landfill Gas Emissions, Version 2.0*, desarrollado por el *The United States Environmental Protection* (USEPA, 1991). En la evaluación de la infra-estructura para generación de energía eléctrica fue utilizado el software de inferencia estadística *Sisreg Windows* (TECSYS, 1998).

RESULTADOS

A partir de la media de residuos sólidos dispuestos en el aterramiento Santa Tecla, se puede obtener la curva de generación de metano a lo largo del tiempo, siendo que los parámetros utilizados para simulación de la curva de generación de metano están presentados en la Tabla 3. Para la generación de la curva de metano a lo largo del tiempo, fue utilizado el software *Landfill Gas Emissions, Version 2*.

Parámetro	Valor
Lo (m ³ /ton)	170
R (ton)	260.000
K (1/año)	0,05
Año de cerramiento	2006
Año de apertura	1998
Volumen de metano en el Biogás (%)	50
Índice de recuperación de metano (%)	75
Eficiencia del motor	0,2

Tabla 3: Datos del Aterramiento Santa Tecla para obtención de la curva de generación de metano.

En la Figura 3 se demuestra gráficamente los datos de la generación del metano a lo largo del tiempo. Se percibe que el ápice de generación de metano es en la fecha del encerramiento del aterramiento sanitario, en este caso en la mitad de 2006. Luego del cerramiento del aterramiento, cesa la entrada de residuos sólidos y la producción de biogás decae exponencialmente a lo largo del tiempo, representada por la constante de decaimiento k, en el modelo de decaimiento de primera orden.

La generación de energía eléctrica fue calculada con base en la curva de generación de metano del Aterramiento Santa Tecla, cuya densidad, de acuerdo con la CETESB (1999), es de $0,716\text{kg/m}^3$ y el metano representa 50% del volumen del biogás con recuperación típica de 75%.

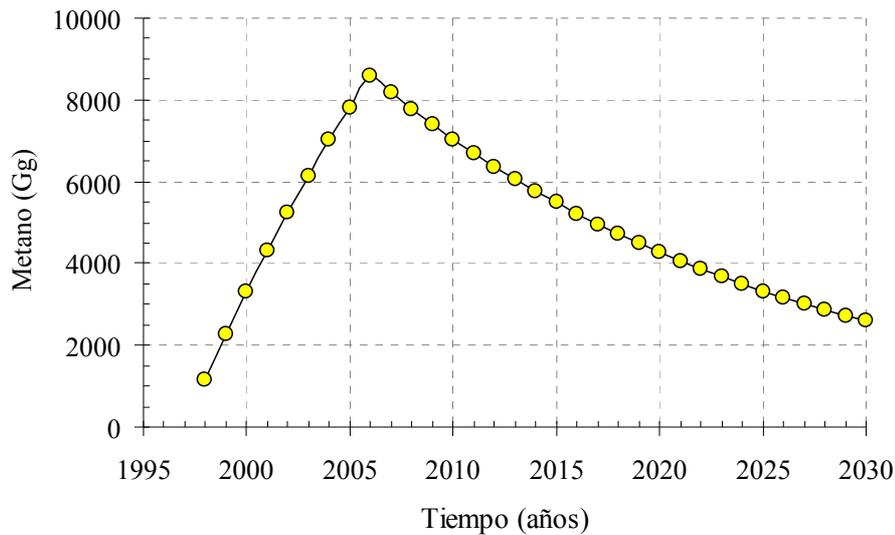


Figura 3: Estimativa de generación de metano en el Aterramiento Metropolitano Santa Tecla.

La eficiencia del motor para la combustión interna del biogás, normalmente utilizado en éste sistema, está en la franja de 20%, generando una curva de producción de energía eléctrica, conforme presentado en la Figura 4.

Se observa que la curva de generación de energía eléctrica es simétrica y proporcional a la generación de metano en el aterramiento sanitario. Iniciando con una potencia aproximada a 0,5MW llegando al máximo de 3,69MW, en el cerramiento del aterramiento y decayendo exponencialmente con el pasar de los años. Sin embargo, para el análisis de la inversión se debe definir un valor constante de generación de energía eléctrica por un intervalo de tiempo determinado. En éste caso, se definió el valor de 2MW para la generación de energía eléctrica de 2006 a 2016, pues la menor capacidad de producción de electricidad del periodo ocurrirá en 2016, que es de 2,24MW.

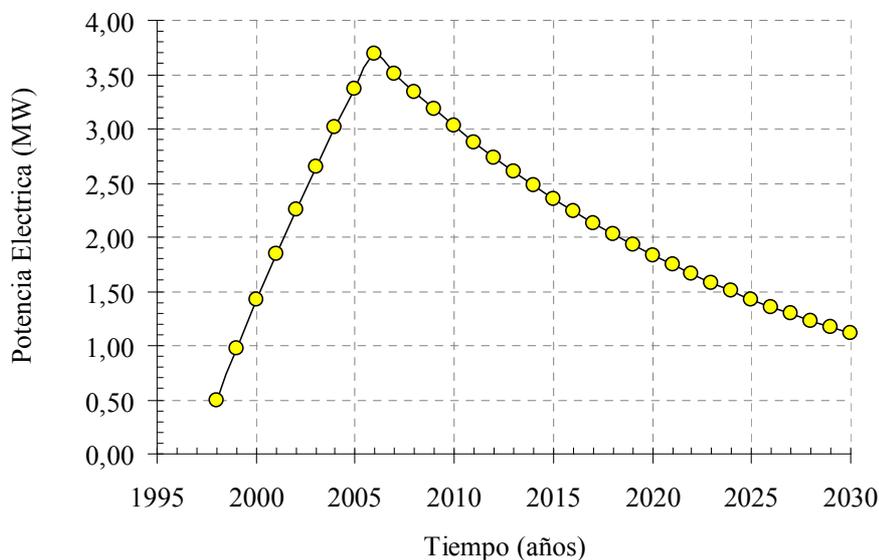


Figura 4: Estimativa de potencia eléctrica en el Aterramiento Metropolitano Santa Tecla.

Definida la potencia de la usina de generación de energía eléctrica, se simuló el valor necesario para la inversión del emprendimiento, con base en los estudios de pre-viabilidad del Banco Mundial (2005).

Se creó un banco de datos con los valores referentes a las inversiones en generación de energía, infra-estructura de captación, coleta del biogás y capacidad de disposición de residuos sólidos a través de los siguientes aterramientos sanitarios latino americanos: Muribeca de Pernambuco (Brasil), Gramacho de Rio de Janeiro (Brasil), Montevideo (Uruguay), Queretaro (México), Chihuahua (México), Huaycoloro (Peru), El Combeima (Colombia), La Esmeralda (Colombia) y El Carrasco (Colombia). Este banco de datos fue utilizado por el software de inferencia estadística – Sisreg, para la generación de ecuaciones conforme sigue:

$$\text{Inv.U.G. (milhõesUS\$)} = 0,08032049 + 0,9616 \times (\text{PotMW})$$

2

A partir de la Ecuación 2, se observa el valor de la inversión, en millones de dólares, en la usina de generación de energía eléctrica insiriendo la potencia de generación en MW, para el intervalo de la variable dependiente de 1 a 10MW. El software fornece información sobre la confiabilidad del modelo, en este caso, es de 99%.

El valor de la inversión, en la infra-estructura de colecta y captación del biogás representa de 40% a 60% del valor total de la inversión, según el Bando Mundial (2004).

Se obtuvo un valor de U\$2.004 millones para la usina de generación de energía eléctrica y U\$2.004 millones para el sistema de colecta y captación de biogás, totalizando la inversión en U\$ 4,008 millones con financiamiento total por el Banco Mundial, con renta de 8% a.a. depreciados por el sistema de amortiguación constante en la Tabla 4.

En el análisis de la viabilidad económica del emprendimiento fue considerada la posibilidad de la venta de créditos de carbono. Según el Protocolo de Quioto (MCT, 1998) el proyecto que se encuadre en el Mecanismo de Desarrollo Limpio – MDL debe contemplar los siguientes criterios: (i) Adicionalidad: el proyecto debe comprobadamente resultar en la reducción de emisiones de gases de efecto estufa y/o remoción del gas carbónico adicional a la que ocurriría en la ausencia del proyecto del MDL. Este ítem es atendido en el emprendimiento propuesto por la captación y quema del metano presente en el biogás, ya que no es usual la exploración del biogás como fuente energética en Brasil; (ii) Línea base: representa un escenario de forma razonable, en dónde las emisiones antrópicas de gases de efecto estufa ocurrirían en la ausencia de proyecto propuesto. Se considera como línea de base el valor de 13,5% del biogás generado, ya que existe un sistema de ventilación y quema del biogás con 140 desagües; (iii) Viabilidad del emprendimiento condicionada a la venta de los créditos de carbono: el proyecto solamente será catastrado en el MDL si la venta de los créditos de carbono fuere imprescindible a la viabilidad económica del proyecto, o sea, sin la venta de éstos créditos el proyecto sería económicamente inviable.

Período	Saldo Deudor	Prestación	Amortización	Intereses
0	4.008.481,74			
1	3.607.633,57	721.526,71	400.848,17	320.678,54
2	3.206.785,39	689.458,86	400.848,17	288.610,69
3	2.805.937,22	657.391,01	400.848,17	256.542,83
4	2.405.089,05	625.323,15	400.848,17	224.474,98
5	2.004.240,87	593.255,30	400.848,17	192.407,12
6	1.603.392,70	561.187,44	400.848,17	160.339,27
7	1.202.544,52	529.119,59	400.848,17	128.271,42
8	801.696,35	497.051,74	400.848,17	96.203,56
9	400.848,17	464.983,88	400.848,17	64.135,71
10	-	432.916,03	400.848,17	32.067,85

Tabla 4: SAC do emprendimiento.

La Tabla 5 presenta ocho simulaciones de escenarios para análisis de inversiones. Para elaboración de éstos escenarios, fueron atribuidos valores para la venta de los certificados de reducción de emisiones (CER) y para la venta de energía eléctrica generada en el aterramiento.

Escenarios	Precio del CER (US\$)	Precio Energía Eléctrica (US\$/kwh)	TIR (%)	VPL (tasa 8%)
I	5,00	0,0592	13,76%	\$1.322.238,85
II	6,00	0,0592	14,95%	\$1.599.016,11
III	4,00	0,0592	12,54%	\$1.041.950,00
IV	5,00	0,0746	22,64%	\$3.572.963,10
V	5,00	0,0439	2,24%	(\$1.221.389,35)
VI	-	0,0746	16,96%	\$2.189.076,77
VII	-	0,0592	7,19%	(\$188.162,46)
VIII	-	0,0439	-7,01%	(\$3.098.835,01)

Tabla 5: Escenarios para análisis de la inversión.

En el primer escenario se consideró un valor conservador para los créditos de carbono, de U\$5 por tonelada, y un valor también conservador para la venta de energía eléctrica, de U\$0,0592 por kwh, lo que resultó en una TIR de 13,76% y un VPL de U\$1.322.238,85 para una tasa mínima de atractivo de 8% a.a. Siendo así, la inversión se vuelve económicamente viable en esa situación.

Para el segundo escenario, se creó una situación optimista para la venta de los créditos de carbono, considerándose el valor de U\$6 por tonelada y manteniéndose el valor conservador para la venta de energía eléctrica, lo que resultó en una TIR de

14,95% y VPL de U\$1.599.016,11 para una tasa de atractivo de 8%. En ésta condición, la inversión también se vuelve económicamente viable.

En el tercer escenario, se presentó una condición conservadora para la venta de los créditos de carbono, con valor de U\$4 por tonelada y nuevamente, manteniéndose un valor conservador para la venta de energía eléctrica, que resultó en una TIR de 12,54% y un VPL de U\$1.041.950,00 para una tasa mínima de atractivo de 8%. Nuevamente, la inversión se presentó viable económicamente.

Para el cuarto escenario, se adoptó una situación conservadora para la venta de los créditos de carbono, de U\$5 por tonelada, y un valor optimista para la venta de la energía eléctrica, de U\$0,0746 por kwh, lo que resultó en una TIR de 22,64% y un VPL de U\$3.572.963,10 para una tasa de 8%, que resultó en la viabilidad económica del emprendimiento con la mayor TIR y VPL simulados.

En el quinto escenario, se creó una situación conservadora para la venta de los créditos de carbono y una situación pesimista para la venta de energía, de U\$0,0439 por kwh, que resultó en una TIR de 2,24% y un VPL negativo de U\$1.221.389,35 para una tasa de 8%, que resultó en la inviabilidad económica de la inversión.

Para el caso del proyecto no ser catastrado no MDL, fueron creados el sexto, sétimo y octavo escenarios. Así, no pudieron ser considerados valores para la venta de créditos de carbono. Fueron atribuidos valores de escenarios optimistas, conservadores y pesimistas, de U\$0,0746, U\$0,0592 y U\$0,0439, respectivamente, para la venta de energía eléctrica.

En el sexto escenario, presentado en el Apéndice G, se obtuvo una TIR de 16,96% y un VPL de U\$2.189.076,77 para una tasa de 8%, que resultó en la viabilidad económica del proyecto. Cabe resaltar que en este escenario fue atribuido un valor extremadamente optimista para la venta de la energía eléctrica, y con eso, el proyecto no se encuadraría en el MDL.

En el séptimo escenario, se obtuvo una TIR de 7,19% y un VPL negativo de U\$188.162,46, volviendo el proyecto económicamente inviable para una tasa de 8%.

Para el octavo escenario, se creó una situación pesimista para la venta de la energía eléctrica, resultando en una TIR negativa de 7,01% y un VPL también negativo de U\$3.098.835,01, volviéndose el escenario con los valores más bajos para la TIR y para el VPL simulados.

En todos los escenarios presentados fue considerado que el biogás será adquirido del propietario del aterramiento sanitario. En este caso, las municipalidades de Porto Alegre, Gravataí, Esteio e Cachoeirinha, generarían una receta de U\$1.864.061,30, en 11 años de operación de la usina.

Luego del análisis de éstos escenarios, se observa que el catastro del proyecto en el mecanismo de desarrollo limpio es indispensable para la viabilización económica del emprendimiento. En los escenarios VI, VII y VIII, en donde no se contemplaba la venta de créditos de carbono, apenas se presentó viable el proyecto en la situación de venta de energía eléctrica a un valor extremadamente optimista. Con esto, el proyecto acoge todos los requisitos exigidos por el MDL para la venta de los créditos de carbono: adicionalidad, línea base y viabilidad del emprendimiento condicionada a la venta de los créditos de carbono. En los demás escenarios, el proyecto apenas no se presentó viable en la situación de venta de energía eléctrica a un valor pesimista, siendo las demás situaciones todas viables financieramente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la aplicación del procedimiento para el análisis de la viabilidad económica del emprendimiento en la usina de generación de energía eléctrica, utilizando el biogás del Aterramiento Metropolitano Santa Tecla para una situación conservadora de venta de energía eléctrica y venta de los créditos de carbono, se demostró viable económicamente con una TIR de 13,76% y un VPL de U\$1.322.238,85 para una tasa mínima de atractivo de 8% a.a, sin embargo con grande sensibilidad a la cotización del dólar en R\$2,28.

Es relevante resaltar que la instalación de la usina de generación de energía podrá generar una receta al propietario del aterramiento de U\$1.864.061,30 por la compra del biogás, en éste caso las municipalidades propietarias de los aterramientos, que, por su vez, compran energía eléctrica para la iluminación pública y para los establecimientos municipales. Eso podría ser compensado y adquirido por un precio más accesible que el valor de las concesionarias, redistribuyendo a los munícipes una tasa inferior de iluminación pública y colecta de basura urbana.

Desde el punto de vista de la matriz energética, es estratégica la diversificación de fuentes generadoras de energía, siendo el biogás una fuente alternativa, renovable, disponible, próxima a los centros consumidores de energía eléctrica y hasta el presente, con apenas 6% del potencial utilizado.

Desde el punto de vista económico, la venta de los créditos de carbono al mercado internacional contribuye para el superávit de la balanza comercial. Sin embargo, las altas tasas de intereses practicadas en Brasil disminuyen el atractivo para inversiones de ésta naturaleza y la inestabilidad de la cotización de la moneda nacional en relación al dólar alejan a los inversionistas extranjeros que optan por aplicar en el mercado financiero.

Cabe el desafío de fomentar la utilización del potencial del biogás de aterramientos sanitarios para la generación de energía eléctrica, generando beneficios ambientales y económicos.

BIBLIOGRAFIA

- Alves F. M. (2005). Tese mostra potencial energético do biogás. *Jornal da Unicamp*. Disponível em <<http://www.unicamp.br>>. Acesso em: 12 dez. 2005.
- Banco Mundial. (2005). Estudos de pré-viabilidade. *Landfill Gas*. Disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_estudios_prefac_po.htm> Acesso em: ago 2005.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2005). Pesquisa sobre emissões de metano dos depósitos de lixo no Brasil. São Paulo: 1999. Disponível em <<http://www.mct.gov.br>> Acesso em 23 jun. 2005.
- Departamento Municipal de Limpeza Urbana - DMLU. Informações técnicas. Porto Alegre, 2005. Disponível em <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu>. Acesso em 12 de nov. 2005.
- Ensinas A. V. (2003). Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Google. Dados cartográficos. (2008). LeadDog Consulting, Maplink/Tele Atlas, Europe Technologies. Disponível em <http://maps.google.com.br/>. Acesso em 10 de fev. 2008.
- Hinrichs R. A. y Kleinbach M. K. (2003). Energia e meio ambiente. 3ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Lima L. M. Q. (1995). Lixo: tratamento e biorremediação. 3ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda.
- Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. (1998). (Trad.) Protocolo de Quioto. Brasília.
- Ministério de Minas e Energia - MME. (2004). Balanço energético nacional 2003. Disponível em <<http://www.agg.ufba.br>> . Acesso em: 27 dez. 2004.
- Motta R. R. y Calôba G. M. (2002). Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais. São Paulo: Atlas.
- Serpa A. C. A. y Lima L. M. Q. (1984). Processo de metanização de resíduos orgânicos. Cap. III, Projeto Phoenix. Pesquisa de resíduos sólidos em Campinas, Prefeitura Municipal de Campinas, Campinas.
- Souza A. y Clemente A. (1995). Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. São Paulo: Atlas.
- Tecsys Engenharia. (1998). Sisreg: Sistema de regressão. Belo Horizonte, TECSYS engenharia.
- United States Environmente Protection Agency – USEPA. (1991). Air emissions from municipal solid waste landfills – background information for proposed standards and guidelines. Emission Standards Division.
- Zulauf, M. (2006). Geração com biogás de aterros de lixo. In: Dossiê: Energia Positiva para o Brasil 2004. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org.br>>. Acesso em: 12 dez. 2006.

ABSTRACT: This study aimed to examine the economic viability of the electric energy generation through biogas from the anaerobic decomposition of waste from the Santa Tecla sanitary landfill in the city of Gravataí - RS. The adopted procedures were shown economically viable with a TIR of 13,76% and a VPL of U \$1.322.238,85 for a minimum attractiveness tax of 8% a.a., however with great sensibility to the dollar quotation.

Keywords: Methane gas, sanitary landfill, energy production, economic viability.