



FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ANA CAROLINA MARTINS FLORÊNCIO
DELLYS OLIVEIRA DO AMARAL

POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS PARA PROJETO DO ATERRO
SANITÁRIO DE PORTO NACIONAL-TO

PORTO NACIONAL - TO

2017

ANA CAROLINA MARTINS FLORÊNCIO

DELLYS OLIVEIRA DO AMARAL

**POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS PARA PROJETO DO ATERRO
SANITÁRIO DE PORTO NACIONAL-TO**

Monografia submetida ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Ltda, como requisito para obtenção do grau de Bacharel, junto a Faculdade de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Leonardo Alves Lopes

PORTO NACIONAL - TO

2017

ANA CAROLINA MARTINS FLORÊNCIO

DELLYS OLIVEIRA DO AMARAL

**POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS PARA PROJETO DO ATERRO
SANITÁRIO DE PORTO NACIONAL-TO**

Monografia submetida ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Monografia apresentada e defendida em ____/____/____ pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Me. Leonardo Alves Lopes - Orientador

Prof. Me. Silvia Barroso Gomes Souto

Prof. Me. Ângelo Ricardo Balduino

0

PORTO NACIONAL – TO

2017

Dedicamos este trabalho primeiramente a DEUS, por ser essencial em nossas vidas, autor de nosso destino, nosso guia, socorro presente nas horas das angustias, aos nossos pais: GILVAN FLORÊNCIO, JURACY OLIVEIRA, as nossas mães: VERALICE MARTINS, VALDIRA AMARAL aos nossos irmãos:

LINO, MARCUS, KELLY, LILIAN e aos
nossos filhos: LUÍSA.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a DEUS, por ter me ajudado a chegar até o presente momento, pois sem ele eu não teria conseguido chegar até aqui.

Agradeço imensamente a minha parceira de dupla DELLYS OLIVEIRA, pelo incentivo, motivação.

A minha família, em especial a minha mãe VERALICE, por sempre me estender a mão nas horas que mais necessitei.

Agradeço a minha filha LUÍSA, por ser minha fonte de inspiração.

Agradeço aos meus colegas de curso, pela força transmitida todos esses anos. Às minhas amigas: PRISCILA CRUZ, CAMILA DIAS MACÊDO, pessoas que eu sempre pude contar, nos momentos de aperto.

Agradeço ao meu orientador LEONARDO ALVES LOPES, pela paciência e conhecimento passado, pela ajuda que nos forneceu.

Agradeço toda a minha família.

A DEUS, toda honra e toda glória!

Meu muitíssimo Obrigada!

ANA CAROLINA MARTINS FLORÊNCIO

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Agradeço a minha parceira de dupla Ana Carolina Martins, pela motivação, sem ela não teria chegado até aqui.

A minha família por toda dedicação e paciência contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil.

Agradeço ao meu orientador LEONARDO ALVES LOPES, pela paciência e conhecimento passado, pela ajuda que nos forneceu.

Enfim, agradeço a todos as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

Obrigada!

DELLYS OLIVEIRA DO AMARAL

RESUMO

Os resíduos sólidos são resultado do ciclo da matéria prima decorrente de bens e serviços. Há vários materiais que são caracterizados como resíduos sólidos como lixo urbano, resíduos de construção, indústrias, sanitários, entre outros. A grande quantidade de resíduos sólidos, tanto domésticos quanto industriais da construção civil têm sido em elevada escala devido ao aquecimento de obras e infraestrutura em todo o país que geram milhares de toneladas de resíduos sólidos. A ausência de gerenciamento e das condições de saneamento básico, destinação de coleta e aterros sanitários são apontamentos que fazem com que os resíduos nem sempre tenham a destinação correta e viável. Existe um método em que um aterro sanitário pode ser ajustado, para produzir biogás. Esse sistema funciona por meio da biodegradação que consiste num sistema basicamente elaborado por uma malha de drenos verticais e horizontais, onde há uma conexão com uma central de captação desse biogás. A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, uma opção energética, com reconhecida vantagem ambiental. Verificou-se que o volume de metano produzido anualmente será 70.367,98 metros cúbicos, onde a vazão diária corresponde a 192,79 m³CH₄ e a mensal possui uma vazão de 5.783,67 m³CH₄. Com base nos cálculos desenvolvidos conclui-se que a conversão energética mensal do aterro é de R\$ 53.377,24. O custo de implantação sistema de captura e queima do biogás teria um gasto inicial de R\$ 6.705.000,00, assim esse investimento seria pago em três anos e meio, demonstrando a viabilidade econômica do aterro sanitário de Palmas para o aproveitamento de biogás.

Palavras-chave: Aproveitamento. Metano. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Solid waste is the result of the cycle of raw material arising from goods and services. There are several materials that are characterized as solid waste like urban waste, construction waste, industries, toilets etc. The large amount of solid waste, both domestic and industrial, has been on a large scale due to the heating of works and infrastructure throughout the country, and generated thousands of tons of solid waste. The lack of management and the conditions of basic sanitation, collection destination and sanitary landfills are notes that do not always have the correct and feasible destination. There is a method in which a landfill can be adjusted to produce biogas. This system is through biodegradation. This system is basically elaborated by a mesh of vertical and horizontal drains, where there is a connection with a central of capture of this biogas. Anaerobic digestion is a process of treatment of organic materials that develops in the absence of oxygen and, simultaneously, an energetic option, with recognized environmental advantage. It was verified that the volume of methane produced annually will be 70,367.98 cubic meters, where the daily flow corresponds to 192.79 m³CH₄ and the monthly one has a flow of 5,783.67 m³CH₄. Based on the calculations developed, it is concluded that the monthly energy conversion of the landfill is R \$ 53,377.24. The cost of installing the biogas capture and burning system would have an initial cost of R \$ 6,705,000.00, so this investment would be paid in three and a half years, demonstrating the economic viability of the Palmas landfill for the use of biogas.

Keywords: Utilization. Methane. Environmental Impacts.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Digestão anaeróbica de material orgânico.....	21
FIGURA 2 – Processo de captação do biogás.....	23
FIGURA 3 – Google Maps da cidade.....	31
FIGURA 4 – Aterro sanitário a céu aberto de Porto Nacional – TO	32

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Evolução demográfica de Porto Nacional (2005-2013), em habitantes	33
GRÁFICO 2 - Estimativa de geração de lixo no ano de 2013	34
GRÁFICO 3 - Evolução mensal de coleta domiciliar nos anos de 2010 a 2013.....	35

LISTA DE SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	International Panel on Climate Change
SEPLAN	Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 CONCEITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	15
2.2 ATERRO SANITÁRIO NO BRASIL	18
2.3 NOVA LEI DE ATERRO SANITÁRIO.....	18
2.4 BIOGÁS	19
2.4.1 Definição	19
2.4.2 Histórico do Biogás.....	20
2.4.3 Formação do Biogás	20
2.4.4 Situação Atual do Aproveitamento de Biogás no Brasil.....	21
2.5 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS	22
2.6 CAPTAÇÃO DO BIOGÁS	22
2.7 ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE BIOGÁS	Erro! Indicador não definido.
3 OBJETIVOS.....	29
3.1 OBJETIVO GERAL	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
4 MATERIAS E MÉTODOS	30
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE PESQUISA	31
4.2 METODOLOGIA.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1 CRESCIMENTO DE RESÍDUOS	34
5.2 CALCULANDO O GÁS METANO GERADO A PARTIR DO ATERRO SANITARIO DO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL-TO.....	36
5.3 GERAÇÃO DE RENDA E VIABILIDADE ECONÔMICA	38
REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e o estilo de vida da sociedade atual desencadeia uma série de problemas ligados a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. A intensificação do processo industrial, aliada ao crescimento vegetativo e à consequente procura por bens de consumo gera um aumento significativo no consumo de energia elétrica. O homem tem produzido grandes quantidades de resíduos sólidos, dentre eles vários tipos que acabam se tornando um sério problema ambiental e de saúde pública, causando poluição e degradação do meio ambiente.

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais e de saúde pública e tende a se agravar com o aumento do consumo de bens descartáveis.

Uma das alternativas para a disposição final e de tratamento desses resíduos sólidos é a utilização de aterros sanitários, mas nem todas as cidades brasileiras possuem aterro sanitário controlado, e sim lixões a céu aberto. Esta disposição gera um grande volume de material, com este acúmulo inadequado, e a partir da decomposição anaeróbica destes materiais orgânicos, é produzido uma mistura gasosa composta primariamente de metano e dióxido de carbono, com pequenas quantidades de ácido sulfídrico e amônia. Há pouco tempo, essa mistura era considerada como um dos subprodutos provenientes da decomposição do material orgânico. Este gás, o metano, oriundo desse procedimento, é um combustível que seria possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia renovável.

Existe um método em que um aterro sanitário pode ser ajustado, para produzir biogás. Esse sistema atua com a biodegradação, onde elabora-se uma malha de drenos verticais e horizontais, unidas por uma conexão com uma central de captação desse biogás. São instalados condensadores, sopradores, queimadores, que formam todo o sistema de controle, onde ocorre a medição do biogás.

Apesar dos benefícios ambientais que a combustão do biogás oferece, também há uma redução do efeito estufa e emissão do mau cheiro, a produção e venda do biogás pode ser uma atividade rentável monetariamente.

O aumento dos combustíveis convencionais e o crescente desenvolvimento econômico vêm estimulando pesquisas de fontes renováveis para produção de energia. Um dos grandes produtores de energia renovável é o aterro sanitário, que pode ser considerado como um autoprodutor e, assim, fazendo o uso de produtos que seriam descartados de forma totalmente negativa, gerando o biogás que seria lançado para um centro de distribuição ou produzir energia elétrica agregando valor.

Atualmente no Brasil, a utilização do biogás para geração de energia ainda está pouco difundida, mas, com a quantidade de aterros com potencial para geração de energia e, após ter entrado em vigor a Lei nº 12.305, de 2010, que obriga todas as cidades do país a fecharem seus lixões e construir aterros sanitários para receber o lixo produzido, essa prática está sendo cada vez mais incentivada, visando um compromisso de redução de emissão de gases, os benefícios com o surgimento do mercado de créditos de carbono e o potencial energético que o aterro sanitário possui.

Existe um método de cálculo de emissões de gases, provenientes desses resíduos sólidos é usada a metodologia do Intergovernamental Panel on Climate Change - IPCC (1996). Este método segue uma equação que envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no lixo, calculando sua a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, considerando diferentes classes de resíduos sólidos domésticos.

A geração de energia elétrica, produzida pelo biogás dos aterros sanitários contribui para minimizar as consequências das mudanças climáticas, já que o gás metano, produzido pelos resíduos sólidos, é mais nocivo que o gás carbônico (CO_2) no aumento do efeito estufa. Com isso, projetos que façam aproveitamento desse recurso são passíveis de comercialização de créditos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, como estabelece o Protocolo de Quioto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme a Lei 12.305/2010 do Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2011), regulamentada pelo Decreto 7.404/2010, a definição de resíduos sólidos consiste em:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos, que são designados como lixo urbano, são àqueles que não têm importância e são descartados pelo proprietário. A Norma Técnica NBR - 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) caracteriza resíduos sólidos "como sendo aqueles no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e agrícola".

Saiote (2012) explica que os resíduos sólidos são classificados em:

1. Resíduo sólido urbano: proveniente de habitações.
2. Resíduo hospitalar: resulta da prestação de serviços de saúde a pessoas ou animais.
3. Resíduo de construção e demolição: proveniente de obras de construção e demolição de edificações.
4. Resíduos industriais: proveniente de processos produtivos industriais e na produção de distribuição de eletricidade, água e gás.

Observa-se que os resíduos sólidos possuem diversas composições. Para tanto, existem normas e leis estaduais e federais que normatizam sua classificação, natureza ou origem, periculosidade, características físicas, químicas e

biológicas. De acordo com o artigo 3º, da Lei Federal nº 12.305, os resíduos sólidos são classificados, conforme:

- a) À origem: domiciliares; de limpeza urbana; urbanos (domiciliares e limpeza urbana); de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; dos serviços públicos de saneamento básico; industriais; de serviços de saúde; da construção civil; agrossilvopastoris; de serviços de transportes; de mineração.
- b) À periculosidade: perigosos e não perigosos.

Um dos princípios destacados na norma é priorizar a não geração de resíduos e proibir disposição final em locais inadequados como aterros, bota-foras, lotes vagos, aterros sanitários, encostas, copos-d'água e áreas protegidas por lei (SAIOTE, 2012).

A disposição incorreta dos resíduos sólidos urbanos pode provocar o assoreamento de rios, córregos e lagos, entupimento da drenagem urbana, servir de depósito irregular para resíduos, multiplicação de vetores de doenças, além de comprometer a saúde da população próxima ao canteiro de obras (MOREIRA, 2013).

A forma como os resíduos sólidos são transportados assim como a caracterização, segregação ou triagem, acondicionamento e destinação final interferem no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2010). O grande volume de resíduos sólidos mal gerenciados provoca problemas ambientais e degradação, diminuindo a qualidade da vida urbana, acarretando problemas de saúde como a transmissão de doenças infecciosas e contagiosas como disenteria, poliomielite, tuberculose, amebíase, febre tifoide, febre paratifoide.

Em 2002, o Brasil estabeleceu normas, políticas públicas e especificações técnicas para o manejo adequado dos resíduos sólidos se destacando no Hemisfério Sul em procedimentos e processos na gestão de resíduos (BRASIL, 2002).

Segundo Moreira (2013), a regulamentação e atuação eficaz das normas técnicas devem ser fiscalizadas pelo Poder Público e órgãos reguladores, contudo a falta de efetividade em alguns casos aliado ao descompromisso dos gestores faz com que não haja o manejo correto e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, o que provoca alguns impactos ambientais como:

- Degradação das áreas de manancial e de proteção permanente;
- Proliferação de agentes transmissores de doenças;
- Assoreamento de rios e córregos;

- Obstrução dos sistemas de drenagem, tais como piscinões, galerias, sarjetas.
- Ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, com prejuízo à circulação de pessoas e veículos, além da própria degradação da paisagem urbana;
- Existência e acúmulo de resíduos que podem gerar risco por sua periculosidade.

No Quadro 1 é apresentada a classificação dos resíduos, quanto à sua origem.

QUADRO 1 - Classificação quanto à origem

Classificação quanto à origem	Características
Lixo Comercial	É oriundo de estabelecimentos comerciais como lojas lanchonetes, restaurantes, escritórios, hotéis, bancos, etc. Os componentes mais comuns neste tipo de lixo papéis, papelões, plásticos, resto de alimentos, embalagens de madeira, resíduos de lavagens, sabões etc.
Lixo Residencial	Também chamado de lixo domiciliar ou doméstico, é constituído, em geral, por sobras de alimentos, invólucros, papéis, papelões, plásticos, vidros, trapos etc.
Lixo Industrial	É todo e qualquer resíduo resultante de atividades industriais, estando neste grupo o lixo proveniente das construções.
Lixo especial	Trata -se de resíduos em regime de produção transiente, como veículo abandonados, podas de jardins e praças, mobiliário, animais mortos, descargas clandestinas etc.
Lixo Hospitalar	Geralmente dividido em dois tipos, segundo a forma de geração: resíduos comuns, compreendendo os restos de alimentos, papéis, invólucros etc. Resíduos especiais, que são os restos oriundos das salas de cirurgias, das áreas de internação e isolamento.
Lixo Radioativo	São os resíduos que emitem radiações acima do permitido pelas normas ambientais. Normalmente são provenientes da atividade nuclear em centros de pesquisa, alguns hospitais ou em usinas de geração de energia elétrica.
Outros	Neste tipo de lixo estão incluídos os resíduos não contidos nos itens anteriores e aqueles provenientes de sistemas de varredura e limpeza de galerias e bocas de lobo.

Fonte: Adaptação LIMA (2014).

As principais substâncias que formam e a classificação de degradação dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários são apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2 - Tipos de degradação

Classificação	Tipos de resíduos
Facilmente Degradáveis	Restos de comida, excrementos e animais mortos, cascas de frutas.

Moderadamente Degradáveis	Produtos celulósicos, papelão, papel.
Difícilmente Degradáveis	Borracha, pano, madeira, couro, osso, plástico.
Não degradável	Metal, vidros, cinzas, terra, cerâmica e areia.

Fonte: MORAES (2008).

Os tipos de degradação dos resíduos sólidos influencia diretamente no meio ambiente, onde o aterro sanitário se localiza. Logo adiante, trataremos sobre o conceito e funcionamento de aterro sanitário.

2.2 ATERRO SANITÁRIO NO BRASIL

A conceituação de aterro sanitário consiste no local onde são depositados resíduos sólidos urbanos, sendo resíduos de origem doméstica. Os demais tipos de resíduos sólidos como resíduos industriais devem ser destinados a outros aterros conforme as especificidades previstas quanto às características e condições de periculosidade (ABNT, 2004). Os resíduos sólidos urbanos domésticos são comumente chamados de lixo.

Os aterros sanitários são conhecidos como o método mais oportuno e barato para dispor a parcela sólida não reciclável. Entretanto, esse método simples pode causar vários problemas como, por exemplo, a poluição das águas subterrâneas, lixiviação, emissão de metano e contaminação dos solos (VIEIRA, 2012).

As reclamações dos moradores das imediações do aterro devido ao desagradável odor causado pelo chorume, que decorre da decomposição do lixo, a poluição visual da região é um dos principais pontos negativos sobre a utilização de aterros sanitários. Além da possível contaminação de afluentes de rios e córregos nas proximidades do aterro (GUSMÃO, 2008).

2.3 NOVA LEI DE ATERRO SANITÁRIO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída por meio da Lei nº 12.305/2010 no Brasil. A legislação é um instrumento essencial para uniformizar e determinar ações para a correta destinação de resíduos sólidos. Com a PNRS houve a necessidade de substituir lixões por aterros sanitários prevendo a

diminuição no impacto ambiental causado pela má destinação dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

No artigo 1º, a lei nº 12.305/2010 estabelece:

Princípios, objetivos e instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), bem como dispõe acerca de diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Segundo uma pesquisa realizada em 2012 pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) mostrou que de 2011 a 2012 houve o crescimento na geração de resíduos urbanos em 1,3%. Sendo que 58% dos resíduos foram destinados a aterros sanitários, 17,8% para lixões e 24,2% para aterros controlados (ABRELPE, 2012).

A eliminação dos lixões do país e implantação de aterros sanitários em todos os municípios brasileiros requer a atuação concreta de todos os setores envolvidos no processo do ciclo de vida dos produtos. Nesse aspecto, a implantação da coleta seletiva sem participação social é inviável; a disposição de resíduos em aterros sanitários sem constantes monitoramentos e investimentos tecnológicos é ineficaz; da mesma forma, não se pode falar em não geração, redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos sem educação ambiental (RAMOS, 2014)

Para tanto, a nova lei de aterro sanitário criou mudanças na destinação dos resíduos sólidos no intuito de gerenciar e erradicar o uso dos lixões no Brasil.

2.4 BIOGÁS

2.4.1 Definição

O biogás é uma mistura de gases composta por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio. O metano possui um elevado potencial energético (energia química), em função das ligações químicas entre os átomos de hidrogênio e carbono, que ao reagir com oxigênio, libera uma grande quantidade de calor (energia térmica), se tornando um gás de fácil combustão. Ao realizar sua captação forçada do biogás gerado no interior dos aterros, tem que promover sua destruição por meio da oxidação térmica do metano,

ou seja, sua queima, dada pela reação $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{ENERGIA TÉRMICA}$ (HOLANDA, 2014).

2.4.2 Histórico do Biogás

Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, no século XIX, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35° C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria (NOGUEIRA, 1986).

Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação (HOLANDA, 2014).

Segundo Lima (1995), embora as incertezas de muitos projetos visando à exploração do gás metano em aterros sanitários vêm sendo estabelecidos nas últimas décadas em todo mundo. Esta mobilização iniciou-se em 1973, com a crise do petróleo, que desencadeou grupos de pesquisa na América do Norte, Suíça, Alemanha e Grécia. Somente nos Estados Unidos, mais de sessenta unidades foram instaladas, mobilizando fundos do governo americano e de empresas privadas ligadas ao uso do gás ou à exploração de recursos energéticos alternativos, tem exemplos como o Aterro de Monterey Park (112.000 m³/ dia de gás metano), Aterro de San Fernando (100.000 m³/ dia), Aterro de Liosia – Atenas – Grécia (192.000 m³/ dia).

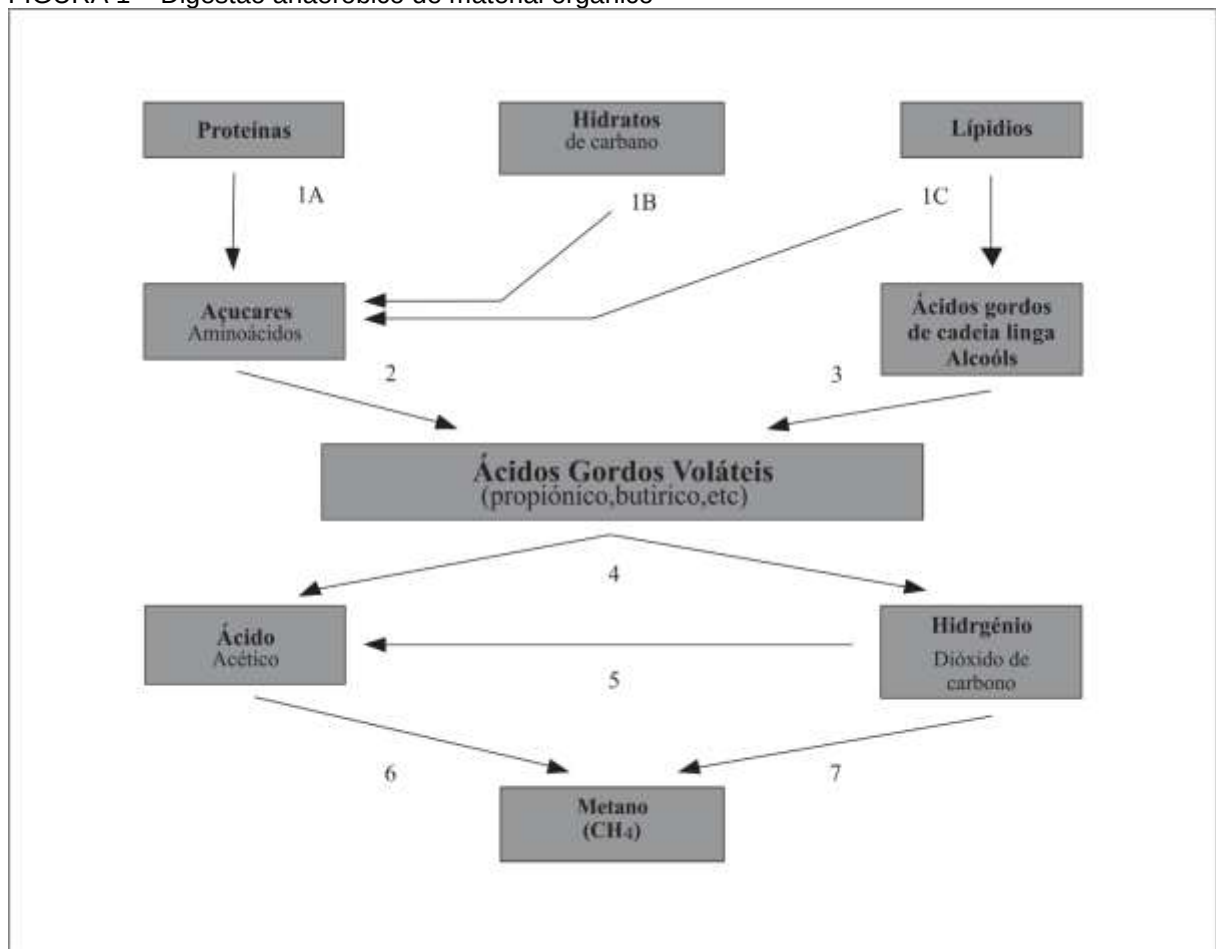
2.4.3 Formação do Biogás

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, uma opção energética, com reconhecida vantagem ambiental. Um dos benefícios do processo, que logo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente em uma fonte de energia, o biogás (ROYA, 2011).

O biogás proveniente da atividade dos micro-organismos é composto por uma mistura de diversos gases, entre eles o metano, o dióxido de carbono, o hidrogênio e o dióxido de enxofre. O biogás é inflamável devido ao metano, gás mais leve que o ar, sem cor e odor. O que causa o odor no biogás é o dióxido de enxofre,

que mesmo em quantidades pequenas é perceptível pelo olfato e bastante corrosivo (RAMOS, 2014). Os micro-organismos que atuam na ausência de oxigênio atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (FARIA, 2010). A Figura 1 descreve a decomposição anaeróbica de compostos orgânicos, realizada pelos micro-organismos. É apresentada como um processo de sete passos.

FIGURA 1 – Digestão anaeróbica de material orgânico



Fonte: FARIA (2010).

2.4.4 Situação Atual do Aproveitamento de Biogás no Brasil

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 2009, o aproveitamento do biogás originado dos resíduos sólidos urbanos para geração de eletricidade no Brasil ainda é incipiente, com apenas 42 MW de capacidade instalada e 20 MW em construção (ZANETTE, 2009).

No Brasil, amplia-se o número de aterros que implantam esses projetos, destacando-se os dois aterros públicos da cidade de São Paulo, Bandeirantes e São João. No país, até 31 de janeiro de 2011, de 496 atividades de projetos de MDL realizados em diversos setores, 36 consistiam em aterros sanitários (BRASIL, 2011).

2.5 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS

O biogás pode ser empregado em praticamente todas as aplicações desenvolvidas para o gás natural. Para algumas aplicações, entretanto, o biogás deve ser tratado, pois existem diferenças consideráveis entre os requerimentos para as aplicações estacionárias do biogás e como combustível ou para a distribuição em tubulações (ZANETTE, 2009).

O poder calorífico de um combustível, é de suma importância, pois é o que representa a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa do mesmo (kJ/kg) é denominada poder calorífico, conhecido também como poder de queima, calor, potência calorífica ou poder de combustão (ROYA, 2011).

Conforme Costa (2002), o convertimento energético do biogás pode ser proporcionado como uma solução para o grande volume de gases gerado através resíduo sólido produzido por atividades humana, visando uma redução no potencial tóxico das emissões destes gases e ao mesmo tempo em que produz energia, agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos.

Por ter um grande poder calorífico do biogás, em muitos aterros, além da sua simples queima, visando à diminuição dos impactos ambientais, têm sido implantadas unidades de geração de energia elétrica. Para cada tonelada de resíduo, são gerados cerca de 200 Nm³ de biogás, essa geração é iniciada alguns meses após o início do aterramento dos resíduos e continua até cerca de 20 anos após o encerramento da operação na unidade (BICA; NETO; SOARES, 2010).

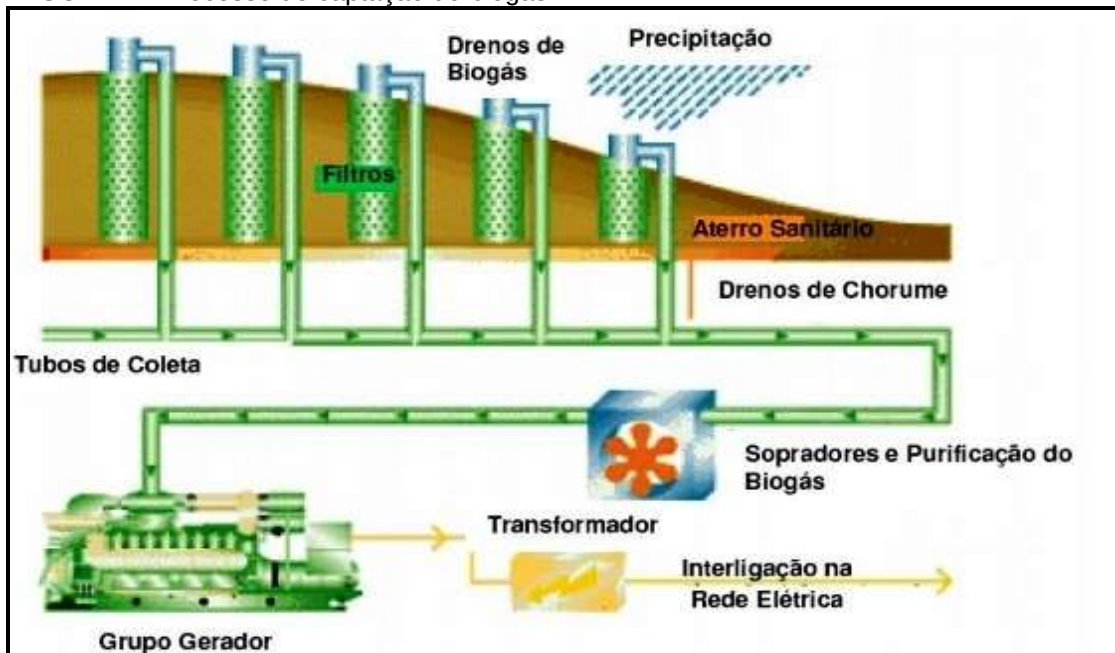
2.6 CAPTAÇÃO DO BIOGÁS

Segundo Bicca et al. (2010) para a captação do biogás oriundo de aterro, inicialmente é preciso ter um sistema de impermeabilização do solo, para evitar a oxidação do gás com o solo. Um sistema simples de coletar gases do aterro é

através de tubos verticais perfurados com tubos de sucção horizontais com membrana protetora, que é colocado quando o lixo ainda está sendo depositado no aterro e assim ele poderá ser extraído desde o início da sua produção.

O biogás é coletado do aterro através de poços de coleta e tubos condutores que são ligados a um sistema de compressão e um sistema de purificação do biogás e conduzidos a um sistema de queima de gás por meio de *flare* com capacidade para queimar a quantidade máxima coletável de biogás, instalados de acordo com a topografia do terreno. Além disto, para os aterros sanitários com sistema de recuperação energética, o biogás é conduzido para usinas de geração de energia (PROBIOGAS, 2014).

FIGURA 2 - Processo de captação do biogás



Fonte: ROYA (2011).

(Equação 1 - Produção de metano gerado [$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$])

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{P_{\text{poURB}} \times \text{TaxaRSD} \times \text{RSDf} \times L_0}{\rho_{\text{CH}_4}}$$

Onde:

- Q_{CH_4} : metano gerado [$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$];
- P_{poURB} : população urbana [habitantes];

- Taxa RSD: taxa de geração de RSD por habitante por ano [kg de RSD/habitante.ano];
- RSDf: fração de RSD que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [adimensional];
- L0: potencial de geração de metano do lixo [kg de CH₄/kg de RSD];
- ρCH₄: massa específica do metano [kg/m³].

Adotou-se o valor de 0,740 kg/m³ para a massa específica do metano. O potencial de geração de metano (L0) representa a produção total de metano (m³CH₄) por tonelada de lixo. O valor de L0 depende da composição do resíduo e, em particular, da fração de matéria orgânica presente. O valor de L0 é estimado com base no conteúdo de carbono do resíduo, na fração de carbono biodegradável e num fator de conversão estequiométrico. Valores típicos para esse parâmetro variam de 125 m³ a 310 m³ de tonelada CH₄/tonelada de resíduos. O potencial de geração de metano a partir do lixo (L0) pode ser obtido pela metodologia apresentada em IPCC (1996), que segue a Equação 2.

(Equação 2 - Potencial de geração de metano a partir do lixo)

$$L_0 = FCM \times COD \times CODf \times F \times (16/12)$$

Onde:

- FCM: fator de correção de metano [adimensional];
- COD: carbono orgânico degradável [kg de C/kg de RSD];
- CODf: fração de COD dissociada [adimensional];
- F: fração em volume de metano no biogás [%];
- (16/12): fator de conversão de carbono em metano [kg de CH₄/kg de C].

O fator de correção de metano (FCM) varia em função do tipo de local. O IPCC define quatro categorias de locais: Aterros Inadequados, Aterros Controlados, Aterros Adequados (Aterro Sanitário) e Aterros Sem Classificação. Para cada uma das categorias o FCM apresenta um valor diferente, conforme a Tabela 1.

TABELA 1 - Valores de FCM

Tipos de local de disposição	FCM
------------------------------	-----

Lixão	0,4
Aterro Controlado	0,8
Aterros Sanitários	1,0
Locais sem categoria	0,6

Fonte: IPCC (1996).

O cálculo da quantidade de carbono orgânico degradável (COD) segue a Equação 3, sendo baseado na composição do lixo e na quantidade de carbono em cada componente da massa de resíduo, conforme IPCC (1996), apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Valores de COD

Componente	% COD (massa)
A) papel e papelão	40
B) resíduos de parques e jardins	17
C) restos de alimentos	15
D) tecidos	40
E) madeira*	30

Fonte: Birgemer; Crutzen (1987).

(Equação 3 - Quantidade de carbono orgânico degradável)

$$\text{COD} = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,4 \times D) + (0,3 \times E)$$

Onde:

- A: fração de papel e papelão no lixo;
- B: fração de resíduos de parques e jardins no lixo;
- C: fração de restos de alimentos no lixo;
- D: fração de tecidos no lixo;
- E: fração de madeira no lixo.

A fração de COD dissociada (COD_f), segundo Birgemer e Crutzen (1987), indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica, e pode ser obtida pela Equação 4.

(Equação 4 - A fração de COD dissociada)

$$\text{COD}_f = 0,014 \times T + 0,28$$

- T: temperatura na zona anaeróbia [°C].

2.8 PROPOSTA DE PRECIFICAÇÃO DO BIOGÁS

O metano puro, em condições normais (pressão a 1,0 atm e temperatura de 0 °C, possui um poder calorífico de 9,9 kWh/m³, ao passo que o biogás com concentração de metano variando entre 50% e 80% tem um poder calorífico de 4,95 a 7,9 kWh/m³, conforme Centro para Conservação e Energia (CCE, 2000).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2004), o poder calorífico médio do biogás é equivalente a 5,5 kWh/m³.

CASSULA et al. (2010) propõem que inicialmente a tarifa do biogás seja a mesma tarifa praticada para a venda de gás natural canalizado para o segmento Cogeração de Energia Elétrica destinada à revenda para distribuidor, por se tratar de biogás proveniente de aterro sanitário e este biogás será revendido aos consumidores. Devido o biogás ser mais pobre energeticamente que o gás natural, a sua tarifa de venda deve ser calculada por uma média ponderada em relação à porcentagem de moléculas de metano, ou em relação ao poder calorífico superior. Considerando a Área de Concessão da Comgás, e segundo Deliberação ARSESP no 113, de 09/12/2009, com vigência a partir de 10/12/2009, a tarifa praticada para a venda de gás natural canalizado para o segmento Cogeração de energia elétrica destinada à revenda a distribuidor, classe 6 (para volumes mensais de 2.000.001 a 4.000.000 m³), sem considerar o imposto ICMS, e de R\$ 0,154531/m³. Com este valor de tarifa para o gás natural é considerando uma ponderação em relação à porcentagem de moléculas de metano, expressa pela Equação 5.

(Equação 5 - Ponderação em relação à porcentagem de moléculas de metano)

$$S_{\text{BIOGÁS}} = \frac{\%CH_4 \text{ BIOGÁS}}{\%CH_4 \text{ GN}} \times S_{\text{GN}} \left[\frac{R\$}{m^3 \text{ BIOGÁS}} \right]$$

Onde:

- \$Biogás: proposta de tarifa de venda do biogás gerado em ASE ou ETE;
- \$GN: tarifa praticada para a venda de gás natural canalizado para o segmento Cogeração de Energia Elétrica destinada à revenda a distribuidor;

- %CH₄GN: porcentagem de moléculas de metano (CH₄) presentes no gás natural (GN) considerado;
- %CH₄Biogás: porcentagem de moléculas de metano (CH₄) presentes no biogás gerado (igual a F).

Aplicando a Equação 5 obtém-se o valor da tarifa sugerida para a venda do biogás gerado em ASE ou ETE, que é de R\$ 0,097692, ou 63,2% da tarifa praticada para o gás natural.

Para a obtenção da tarifa considerando uma ponderação em relação ao poder calorífico superior (PCS), deve-se realizar um procedimento análogo, conforme a Equação 6.

(Equação 6 - Tarifa considerando uma ponderação em relação ao poder calorífico superior)

$$S_{\text{BIOGÁS}} = \frac{\text{PCS}_{\text{BIOGÁS}}}{\text{PCS}_{\text{GN}}} \times S_{\text{GN}}$$

Onde:

- \$Biogás: proposta de tarifa de venda do biogás gerado em ASE ou ETE;
- \$Biogás: tarifa praticada para a venda de gás natural canalizado para o segmento Cogeração de Energia Elétrica destinada à revenda a distribuidor;
- PCSGN: poder calorífico superior do gás natural (GN) considerado;
- PCS Biogás: poder calorífico superior do biogás gerado.

Considerando o PCS do Biogás igual a 5,5 kWh/m³ e o PCS do Gás Natural 10,5 kWh/ m³, e utilizando a mesma tarifa praticada para a venda de gás natural, de R\$ 0,154531/ m³, obtém uma tarifa para venda do biogás gerado de R\$ 0,080945/ m³, ou 52,4% da tarifa de venda do gás natural.

2.9 VIABILIDADE ECONÔMICA

Conforme Cassula (2010) para uma viabilidade econômica de um projeto de recuperação de biogás em aterro sanitário deve ser feito inicialmente uma verificação se a inclusão do biogás no gasoduto de gás natural não prejudica os parâmetros de qualidade estabelecidos pela RT ANP 02/2008, principalmente em relação à porcentagem de moléculas de metano e ao poder calorífico superior PCS. Para determinar a porcentagem de moléculas de metano na mistura final do gás no

gasoduto, já incluindo o biogás, utiliza-se a Equação 7, que é uma ponderação em relação ao volume de cada gás.

(Equação 7 - Porcentagem de moléculas de metano na mistura final)

$$\%CH_4_{FINAL} = \frac{\%CH_4_{GN} \times VOL_{GN} + \%CH_4_{BIOGÁS} \times VOL_{BIOGÁS}}{VOL_{GN} + VOL_{BIOGÁS}}$$

Onde:

- %CH₄Final: porcentagem de moléculas de metano (CH₄) presentes na mistura final, incluindo o gás natural (GN) e o biogás;
- %CH₄GN: porcentagem de moléculas de metano (CH₄) presentes no gás natural (GN);
- VolGN: capacidade média de transporte do gasoduto de gás natural [m³/dia];
- %CH₄Biogás: porcentagem de moléculas de metano (CH₄) presentes no gás natural (GN);
- Vol Biogás: volume de biogás gerado que será inserido diariamente no gasoduto de gás natural [m³/dia].

Para determinar o poder calorífico superior da mistura gasosa contendo o gás natural do duto mais o biogás gerado no ASE utiliza-se a Equação 8.

(Equação 8 - Poder calorífico superior na mistura final)

$$PCS_{FINAL} = \frac{PCS_{GN} \times VOL_{GN} + PCS_{BIOGÁS} \times VOL_{BIOGÁS}}{VOL_{GN} + VOL_{BIOGÁS}}$$

Onde:

- PCS Final: poder calorífico superior da mistura final, incluindo o gás natural (GN) e o biogás;
- PCSGN: poder calorífico superior do gás natural;
- PCS Biogás: poder calorífico superior do biogás.

Segundo o autor supracitado, considerando estes valores nas Equações (7 e 8) obterá um resultado para a mistura final dos gases uma porcentagem final de moléculas de metano e um poder calorífico superior deverão estar dentro dos

valores limites estabelecidos pela RT ANP 02/2008, que estipula que o gás natural deve conter um poder calorífico superior (PCS) de 9,72 a 11,94 kWh/m³ (35 a 43J/m³) e uma porcentagem mínima de moléculas de metano de 85%.

Vanzin et al. (2006) especificaram que o investimento para a implantação do sistema de coleta e captação do biogás é de U\$ 2,004 milhões, ou R\$ 3,808 milhões (considerando US\$ 1 igual a R\$ 1,90) que podem ser financiados pelo Banco Mundial, com juros de 8% a.a.

Godoy Junior et al. (2002) esclarece que o custo da implementação do sistema de geração de biogás a partir de Aterro Sanitário Energético, considerando: tubulação vertical; gasômetro de armazenamento; *manifold* de coleta em polietileno de alta densidade; sistema de filtragem do biogás e compressão; acessórios diversos como válvulas, conexões, flanges, elementos de suporte e fixação; e Mão de obra, é de R\$ 6.705.000,00, em um prazo de instalação de 6 meses.

Na avaliação da viabilidade econômica dos projetos devem ser considerados inicialmente os custos de investimento e operação e manutenção para cada projeto específico e as receitas obtidas com a venda de energia ou a redução de custos proporcionada. Em geral, o aproveitamento do biogás é viável em estações de tratamento de efluentes com digestão anaeróbica do lodo e em aterros sanitários que atendem a uma população superior a 200.000 habitantes e emissões de metano, pois a curva de biogás de mais 15 anos será insuficiente (ZANETTE, 2009).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a potencialidade energética do aterro sanitário do município de Porto Nacional -TO, a partir da produção de biogás, quantificando os rendimentos para o município.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar quantidade de gás produzido pelo resíduo sólido;
- Quantificar a potencialidade energética do aterro sanitário;
- Analisar a viabilidade econômica da energia oriunda do biogás.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa foi embasada na análise da literatura e através do enfoque qualitativo, com sustentação de dados bibliográficos. Realizou-se a condução do trabalho de forma sistêmica mediante revisão de literatura e dados adquiridos na Secretaria de Infraestrutura da Prefeitura Municipal de Porto Nacional – TO. O município é mostrado na Figura 3.

A cidade de Porto Nacional está situada a margem direita do Rio Tocantins, com 234 média de 234 metros, entre as coordenadas geográficas de latitude 10°42'28" Sul e a uma longitude 48°25'01" Oeste, de clima tropical. A posição geográfica do município é norte e seus vizinhos são Miracema do Tocantins, Monte do Carmo, Brejinho de Nazaré, Paraíso, Pugmil, Silvanópolis, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016).

O município de Porto Nacional está localizado a 62 Km da Capital Palmas do Estado do Tocantins. Seu território é representado por uma área de 4.464,11 km² e a população estimada de Porto Nacional no ano de 2016, foi de 52.510 habitantes (IBGE, 2016).

FIGURA 3 – Localização de Porto Nacional - TO



Fonte: GOOGLE MAPS (2017).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE PESQUISA

O aterro sanitário de Porto Nacional está localizado a 5,4 quilômetros da área urbana da cidade, figura 4. Durante a visita campo observou-se que o aterro não segue muitas das determinações da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010) que caracterizam um aterro sanitário.

FIGURA 4 – Aterro sanitário a céu aberto de Porto Nacional – TO



Fonte: ARQUIVO PRÓPRIO (2017).

4.2 METODOLOGIA

Considerando uma avaliação de geração de biogás apenas através de aterros sanitários, o metano é o gás com maior poder calorífico presente no biogás, para sua comercialização como combustível é mais interessante conhecer a quantidade de metano que é gerada, do que o volume de biogás propriamente dito (CASSULA et al., 2010).

A International Panel on Climate Change (IPCC, 1996) desenvolveu uma metodologia de fácil aplicação para cálculo de emissão de metano a partir de resíduos sólidos para países ou regiões específicas. Esse método, conforme a Equação 1, envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no lixo, calculando assim a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, considerado diferentes categorias de resíduos sólidos domésticos. São necessários dados estatísticos sobre a população e sobre os resíduos sólidos urbanos. Caso não haja dados disponíveis para o cálculo no país, poderão ser usados dados padronizados fornecidos pelo IPCC. Essa equação também é conhecida como equação de inventário do IPCC.

$$Q_{CH_4} = \frac{Ppo_{URB} \times TaxaRSD \times RSDf \times L_0}{\rho_{CH_4}}$$

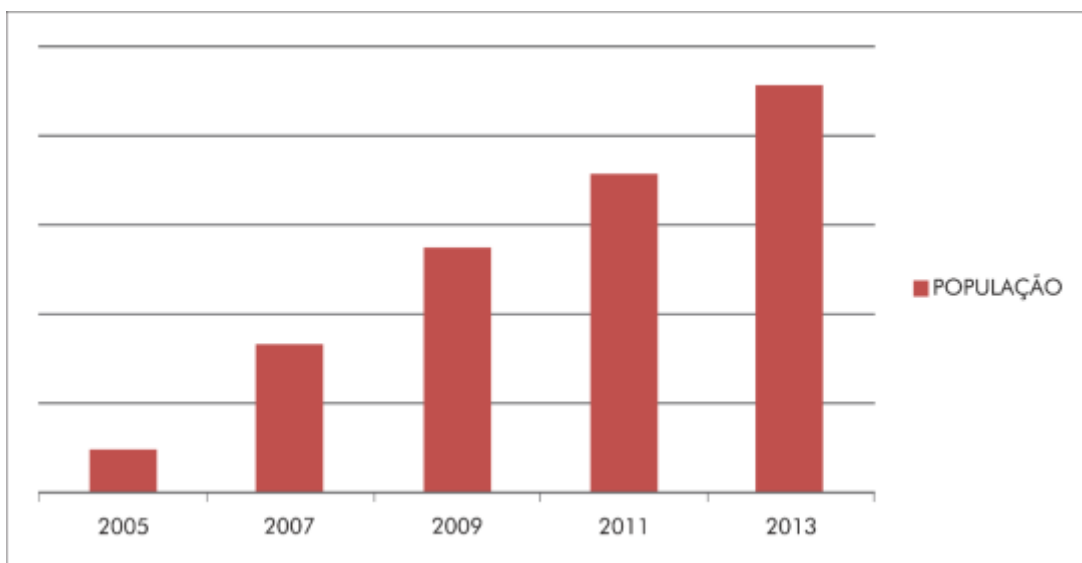
Onde:

- QCH_4 : metano gerado [m^3CH_4/ano];
- Pop URB: população urbana [habitantes];
- Taxa RSD: taxa de geração de RSD por habitante por ano [kg de RSD/habitante.ano];
- RSDf: fração de RSD que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos [adimensional];
- L_0 : potencial de geração de metano do lixo [kg de CH_4/kg de RSD];
- ρCH_4 : massa específica do metano [kg/m^3].

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo o IBGE (2016), Porto tem crescido desde 2013, com alta de 7,2%. A cidade tinha 47.995 moradores, em 2010. Em relação ao censo de 2005, o crescimento foi de 62,2% - há 12 anos Porto tinha 37.889 habitantes, distribuídos em 77,69% na zona urbana e 22,31% na zona rural. Na zona rural, teve um percentual bastante perceptivo, de modo geral, devido ao crescimento na área agropecuária. Com isso elevou-se o número de habitantes e, conseqüente a geração de resíduos. O Gráfico 1 mostra como foi a crescente demanda populacional na cidade de Porto Nacional do estado do Tocantins.

GRÁFICO 1 - Evolução demográfica de Porto Nacional (2005-2013), em habitantes



Fonte: IBGE (2016).

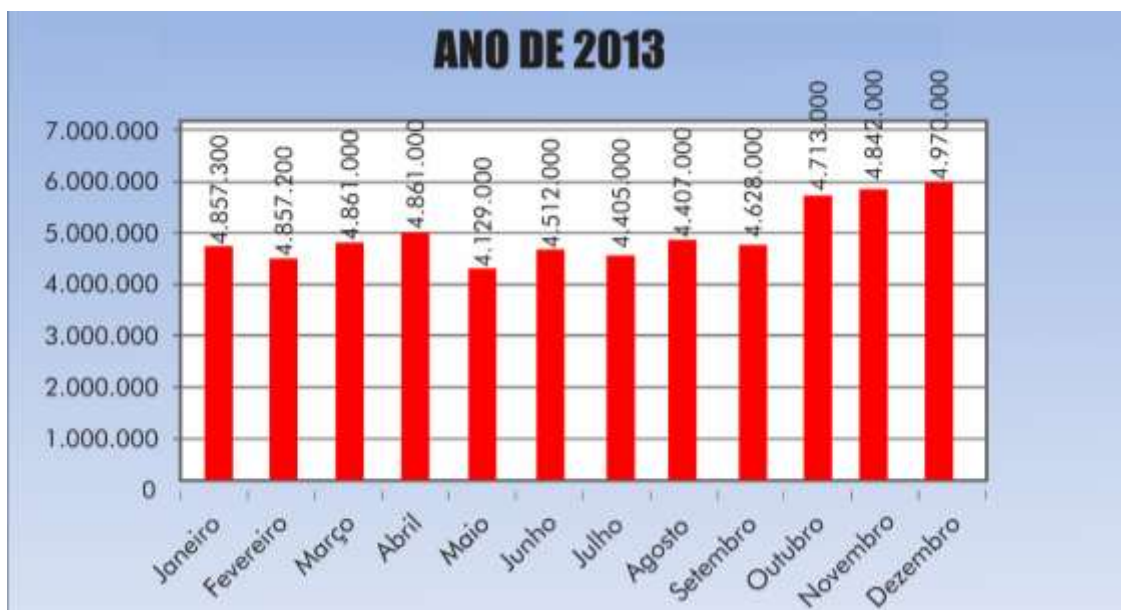
O aterro sanitário de Porto Nacional está localizado a 5,4 quilômetros (km) do centro da cidade em uma área rural. As comunidades circunvizinhas são encontradas em um raio de 1 km a 2 km de distância. O aterro recebe em média de 51.356 ton/dia, conforme os dados obtidos no Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Porto Nacional (2014).

Detalhando melhor sobre a geração de lixo, através dos dados da Secretaria de Infraestrutura, a produção de lixo no ano de 2010, o município de Porto Nacional correspondeu a cerca de 48.658 kg de resíduo sólido, com uma média de 2.885.124 kg por mês.

5.1 CRESCIMENTO DE RESÍDUOS

No ano de 2013 conforme mostra o Gráfico 2, a produção de lixo teve um aumento de 22% a mais em relação ao ano de 2008, um acréscimo considerável foi no mês de dezembro com aumento de 33% em relação ao mesmo mês do ano de 2008.

GRÁFICO 2 - Estimativa de geração de lixo no ano de 2013



Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Porto Nacional (2013).

De acordo com a evolução de habitantes no município, que eventualmente trouxe a geração de resíduo também acarretando uma evolução desenfreada, no ano de 2013 houve um aumento de 35% na geração de lixo.

Para melhor adequação, analisando o Gráfico 3, entre os anos de 2010 e 2013, é nítido o crescimento da quantidade de resíduos recolhidos no município de Porto Nacional. Esse crescimento de RSD é proveniente ao crescimento habitacional.

GRÁFICO 3 - Evolução mensal de coleta domiciliar nos anos de 2010 a 2013



Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Porto Nacional (2013).

Fazendo uma prévia análise, em si, dos vários resíduos e seus processos de gerenciamento, faz-se necessária à definição de resíduos sólidos e de suas variantes, classificando-o conforme suas origens e definindo os grupos e responsabilidades pelo gerenciamento dos mesmos, conforme normas técnicas e legislação em vigor (CORRÊA, 2012).

Verificou-se que não são utilizados métodos de gerenciamento dos RSD, é mais que necessário fazer a definição desses resíduos sólidos, variantes, dando classificações de suas origens e grupos. Conforme as normas técnicas e legislação em vigor, os mesmos são responsáveis por gerenciá-los.

5.2 CALCULANDO O GÁS METANO GERADO A PARTIR DO ATERRO SANITARIO DO MUNICÍPIO DE PORTO NACIONAL-TO

Para estimativas da população considerou-se o censo do IBGE (2016), constatando que a população é de 52.510 habitantes. Fazendo uma projeção da quantidade de resíduo produzido no município de Porto Nacional em 2016 foi aproximado de 51.160.870 quilos de lixo, tendo base de cálculo na produção dos anos de 2014 de julho a março de 2016.

De acordo com os dados obtidos pela Secretaria de Infraestrutura do município de Porto Nacional, cada habitante produz uma média de 0,721kg de

resíduos domésticos por dia, o que gera em um ano cerca 263,16 kg de RSD por habitante.

Com os dados do aterro sanitário conclui-se que a fração de resíduos sólida doméstica depositada em aterros ou lixões (RSDf) é de 100%. No entanto, para os cálculos será utilizado um valor mais conservador, de 95%. Assim tem-se:

- $\text{PopURB} = 52.510$ [habitantes];
- $\text{RSD} = 51.160.870$ [kg/ano]
- Taxa RSD = 263,16 [kg de RSD/habitante/ano];
- $\text{RSDf} = 0,95$;
- $\rho_{\text{CH}_4} = 0,740$ [kg/m³].

Para o cálculo do potencial de geração de metano do lixo (L0) será considerado um aterro sanitário, cujo fator de correção de metano (FCM) é igual a 1 (Tabela 2), ou seja:

- $\text{FCM} = 1$.

Para o valor do carbono orgânico degradável (COD) serão utilizadas as seguintes proporções de material que compõe o lixo: A = 18,0%, B = 12,0%, C = 25,0%, D = 0,3% e E = 1,0%. Substituindo estes valores na Equação 3 tem-se:

- $\text{COD} = 0,1449$ [kg de C/kg de RSD].

Para a fração de COD dissociada (CODf) adotou-se uma temperatura na zona anaeróbia dos resíduos de 35°C, e através da Equação 4 tem-se:

- $\text{CODf} = 0,77$.

A fração em volume de metano no biogás (F) pode ser obtida a partir de medições no local. Nesta avaliação será adotado o valor de 55% de metano (CH₄) no biogás, com pouca diluição de ar. Portanto:

- $F = 0,55$.

Com os valores calculados de FCM, COD, CODf e F, e utilizando a Equação 2 é possível obter o potencial de geração de metano do lixo (L0).

- $L0 = 0,1449$ [kg de CH₄/kg de RSD]

Por fim, ao se utilizar a Equação 1 obtém-se o valor do volume de metano gerado anualmente: $Q_{\text{CH}_4} = \underline{2.570,52}$ m³CH₄/ano.

Como apenas parte do biogás gerado é recuperada, para este caso considera-se um índice de recuperação igual a 75%. Portanto, o volume de metano gerado anualmente será de 192.789.00 metros cúbicos. Este valor também pode ser

fornecido sob a forma de vazão diária e mensal, respectivamente: 5.783,67 m³CH₄/diária e 70.367,98 m³CH₄/anual.

5.3 GERAÇÃO DE RENDA E VIABILIDADE ECONÔMICA

Através da metodologia apresentada em IPCC (1996) e considerando o poder calorífico superior do biogás igual a 5,5 kWh/m³ e utilizando a tarifa praticada para venda do biogás gerado de R\$ 0,080945/m³, ou 52,4% da tarifa de venda do gás natural.

O potencial de geração de energia elétrica deve ser considerado alguns fatores como o rendimento de motor que corresponde a 30% e do gerador de 90%, dados adquirido na especificação técnicas das marcas do gerador (marca WEG e do motor MWM X-12 6cil) tendo que o aterro sanitário com um volume mensal de 616.340, 80m³CH₄, com a conversão de kcal para kWh (Krall/kWh) igual a 859 kWh considerando o poder calorífico superior do biogás igual a 5,5 kWh/m³ e o Fator de correção para possíveis erros de cálculo de 0,95. Com estes dados à produção de energia elétrica é de 1012,23kWh.

Na venda do biogás utilizando a menor tarifa encontrada para a venda do biogás de R\$ 0,080945/m³, utilizando as Equações 7 e 8 obtêm para a mistura final dos gases uma porcentagem final de moléculas de metano igual a 85,7% e um poder calorífico superior de 5,5 kWh/m³. Esta tarifa aplicada a um volume de biogás de 2033,41868 m³CH₄/dia gera uma receita de diária de R\$ 2.509,49, ou uma receita mensal de R\$ 53.377,24.

Para uma análise da viabilidade econômica será considerada a referência Godoy Junior et al. (2002), onde o custo da implantação do sistema de captação de biogás e para geração de energia é de R\$ 6.705.000,00. Considerando que a receita mensal através da geração energética é de R\$ 53.377,24, o investimento se pagará em 125 meses, ou seja, em 10 anos, uma vez que a vida útil do aterro é em média de 20 anos.

Conclui-se, que neste caso pode-se considerar que a geração de energia fornecida através de biogás no aterro sanitário e um investimento tecnicamente e economicamente viável. O uso energético ou mesmo uma queima controlada do biogás em um aterro sanitário e um projeto que pode se enquadrar a um financiamento externo do chamado MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo),

previsto no Protocolo de Quioto. Entretanto, na análise da viabilidade econômica deste empreendimento renovável deve ser considerado aliado a possibilidade da venda de créditos de carbono.

6 CONCLUSÃO

O deste trabalho foi verificar a potencialidade energética do aterro sanitário do município de Porto Nacional, a partir da produção de biogás, quantificando os rendimentos para o município.

Através da análise dos dados para a geração de biogás do aterro observa-se que à medida que a população de Porto Nacional aumenta, conseqüentemente a produção de biogás no aterro aumenta devido à maior produção de resíduos.

Em 2010 a população da cidade era de 47.995 habitantes e a produção de resíduos correspondia a 2.885.124 kg por mês de lixo doméstico. Enquanto que em 2014 a população era de 51.846 habitantes e a produção saltou para 83.430,585 toneladas de lixo domiciliar.

Calculou-se que o volume de metano produzido anualmente será de 70.367,98 m³CH₄, onde a vazão diária corresponde a 192,79 m³CH₄ e a mensal possui uma vazão de 5.783,67 m³CH₄.

A conversão energética mensal do aterro é de com R\$ 53.377,24. Sabendo-se que o custo de implantação sistema de captura e queima do biogás teria um gasto inicial de R\$ 6.705.000,00, conclui-se que esse investimento seria pago em 125 meses demonstrando a viabilidade econômica do aterro sanitário de Porto Nacional para o aproveitamento de biogás.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- BENTO BICA; BRUNO NETO; JARLAN SOARES. **Geração de energia através do aterro sanitário**. 2010. Monografia pela Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.
- BICCA, Bento; NETO, Bruno; SOARES, Jarlan. **Geração de energia através de aterro sanitário**. Monografia, Alegrete, RS: 2010.
- BRASIL. Consulta Pública – Versão Preliminar para Consulta Pública do Plano Nacional de Resíduos Sólidos – **Ministério da Meio Ambiente** - Brasília - Setembro de 2011.
- BRASIL. Lei 12.305, de 02/08/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.
- BRASIL. Resolução Conama nº 275, de 25 de abril de 2001 - Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva - Publicada no DOU nº 117-E, de 19 de junho de 2001, Seção 1, página 80.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - **Resolução CONAMA Nº 307 de 05 de Julho de 2002**. (Publicado no D.O.U 17/07/2002), Brasília, 2002.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. Última compilação do site da CQNUMC: 31 de janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215186.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2011.
- CASSULA, A. M; GODOY JUNIOR, E.; SILVEIRA, J. L. **Proposta de precificação do biogás proveniente de aterro sanitário e estação de esgoto que atuam como agentes autoprodutores**. 2010. Disponível em:< http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2010/Artigos/65918_1.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017.
- CCE - Centro para Conservação e Energia. **Guia Técnico de Biogás**. Ed. Amadora. Portugal. 2000. 117 p.
- COSTA, D. F. **Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização**. Monografia – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.
- FARIA, M. **Aterro Sanitário: biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético**. 2010. 108f. (Monografia de Especialização) - São Paulo, 2010.
- GODOY JUNIOR, E.; SILVEIRA, J. L.; GIACAGLIA, G. E. O.; CAMARGO, J. R. Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Biogás em Termoelétricas a Gás Natural. **Anais do III Congresso Interamericano da Qualidade do Ar**, Canoas/RS. 2002.

GOOGLE MAPAS. **Programa Mapas**. Disponível em:< <https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

GUSMÃO, A. D. **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil**. Recife/PE. Gráfica Editora, 2008.

HOLANDA, F. H. R. Viabilidade econômica do aproveitamento do biogás de pequenos aterros sanitários na reciclagem de plástico. 2014. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2016. Disponível em:<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

LIMA, L. M. Q. Lixo: tratamento e biorremediação. 3a ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1995.

LIMA, L. M. Q. **Lixo, tratamento e biorremediação**. São Paulo: Ed. Hemus, 2014. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 1998).

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional 2004**. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br/mme>> Acesso em: 13 mar. 2017.

MORAES, Leidiana Dias. **Aspectos relevantes da potencialidade e da aplicabilidade da reciclagem de resíduos sólidos na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Departamento de Tecnologia – DETEC, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio, 2008.

MOREIRA, Marcelo Chaves. **Dados e informações sobre resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Brasília, 2013.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão, a alternativa energética**. Editora Nobel, p. 1-93. São Paulo, 1986.

PROBIOGAS. **Transformando resíduos em energia Geração de biogás a partir de resíduos orgânicos**. 2014. Disponível em: <<http://institutoideal.org/wp-content/uploads/2014/05/Biogas2.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

RAMOS, Silma Pacheco. A Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a meta de implantação de aterros sanitários no Brasil. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XVII, n. 121, 2014.

ROYA, B. et al. **Biogás – uma energia limpa**. Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149. 2011.

SAIOTE, Ricardo Miguel Louro. **Estudo da pirólise catalítica de resíduos plásticos**. 2012. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Universidade de Lisboa, Portugal, 2012.

VANZIN, Emerson. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica**: Aplicação no aterro Santa Tecla. Universidade de Passo Fundo. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Passo Fundo: 2006.

VIEIRA, A. C. M. Planejamento integrado e sustentável dos municípios com políticas públicas de fomento a cooperativas de catadores na gestão de resíduos sólidos urbanos. **II Encontro Brasileiro de Pesquisadores em Cooperativismo**. Porto Alegre - RS.2012.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Ceará. 2009.