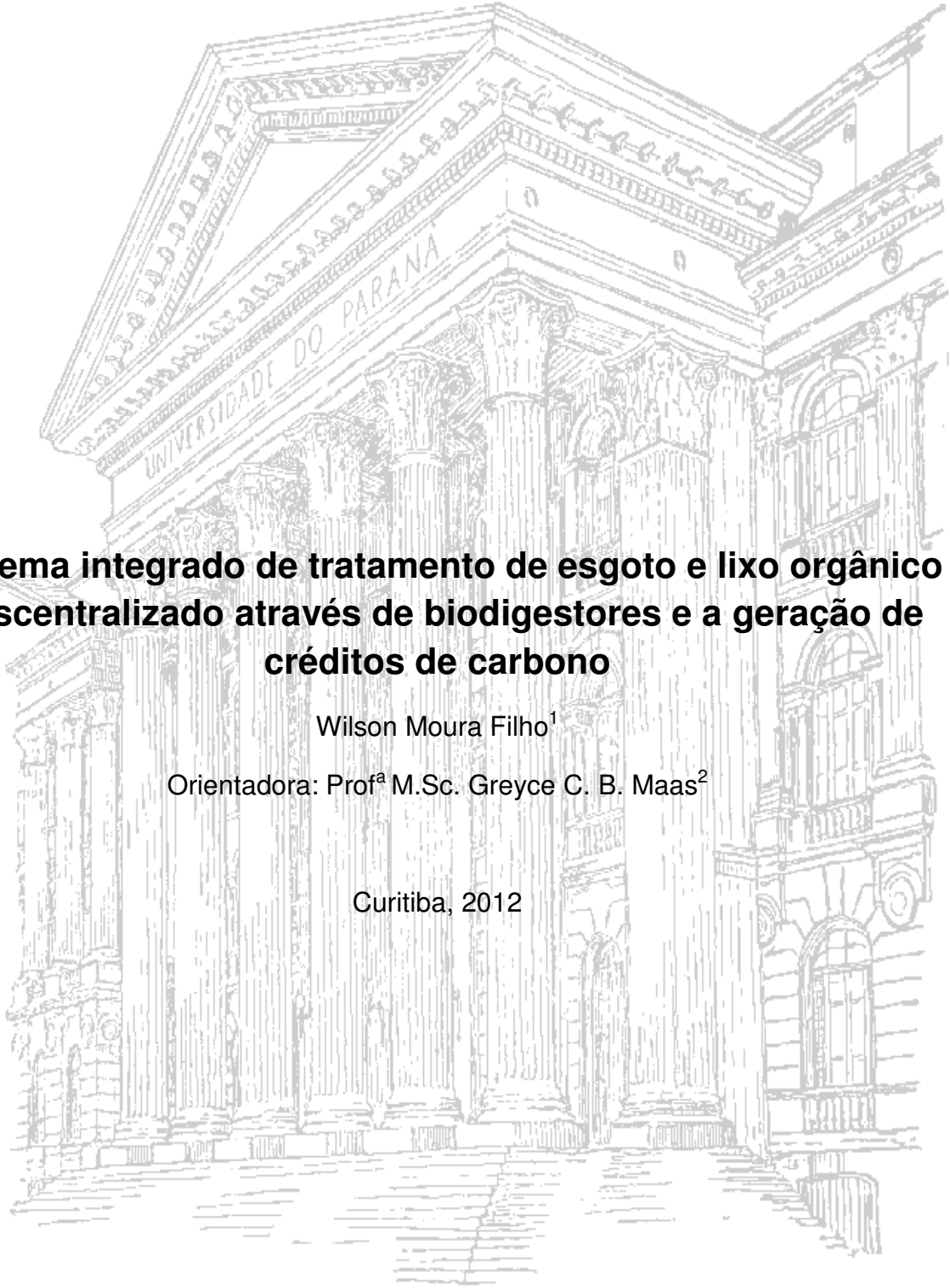
Universidade Federal do Paraná

Pós-Graduação em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono



Sistema integrado de tratamento de esgoto e lixo orgânico descentralizado através de biodigestores e a geração de créditos de carbono

Wilson Moura Filho[1]

Orientadora: Profª M.Sc. Greyce C. B. Maas[2]

Curitiba, 2012

[1] Engenheiro Eletricista. Diretor da WMT Engenharia e Professor da Escola da Cidade – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – SP. E-mail: w.mouraeng@terra.com.br

[2] M.Sc. em Ciências Florestais e Ambientais pela UFMT, Doutoranda em Engenharia Florestal pela UFPR. E-mail: greycemaas@ufpr.br

RESUMO

A situação do saneamento básico no Brasil, apesar do avanço observado nos últimos 10 anos, não alcança a totalidade da população, principalmente no que tange a coleta e tratamento de esgotos sanitários. Os modelos de saneamento usualmente adotados consideram a centralização do tratamento de esgotos, levando a consideráveis extensões de redes coletoras e grandes estações de tratamento. A proposta deste trabalho é propor um sistema descentralizado utilizando-se biodigestores e sistema de zona de raízes para o tratamento do esgoto em conjunto com a fração degradável dos resíduos sólidos urbanos. O sistema de biodigestores deverá ser localizado nos cruzamentos dos arruamentos, recolhendo o esgoto das ruas de confluência de cada uma das esquinas, formando um mosaico de biodigestores. O biodigestor trabalhará como um tanque séptico durante um primeiro período, com o tratamento complementado por "zona de raíz", e como biodigestor de batelada no período subsequente. O biogás gerado será encaminhado a uma central onde o gás será purificado e utilizado na geração de energia para alimentação do sistema de iluminação pública. Como fonte de recursos para manutenção do sistema, teremos o biogás transformado em energia elétrica para a iluminação pública, o biofertilizante que deverá ser vendido para a área rural mais próxima, e os possíveis créditos de carbono obtidos através da emissão evitada de metano, além de, a critério da prefeitura local, a cobrança total ou parcial da coleta e tratamento de esgoto. A educação ambiental e a manutenção permanente do sistema deverão ser realizadas por agentes da própria comunidade, de modo a viabilizar a fundamental participação desta no adequado funcionamento do sistema.

---

1. INTRODUÇÃO

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2008, de um total de 5.564 municípios brasileiros, a coleta de esgoto ocorre somente em 3.069 municípios, e o tratamento em 1.597.

Mesmo municípios com grande população, tais como Nova Iguaçu e São João do Meriti, ambos no estado do Rio de Janeiro, não possuem sistemas de coleta e tratamento adequado.

Existem 2.824 municípios que destinam seu lixo para "lixões", ou vazadouros, também conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2008. Com isto, milhões de pessoas não têm acesso a sistemas adequados de saneamento embora a cada R$ 1,00 investido em saneamento, temos uma economia de R$ 4,00 gastos com o sistema de saúde (FUNASA, 2004).

Além dos impactos sobre a saúde, temos ainda a contaminação do solo, águas subterrâneas, rios e mares, além das emissões de gases de efeito estufa decorrentes da decomposição de efluentes e resíduos, com efeitos nocivos sobre o clima global.

Os sistemas tradicionais de tratamento de esgoto e lixo pressupõem amiúde, uma centralização com estações de tratamento de grande porte, sendo necessário conduzir os efluentes por distâncias significativas, muitas vezes com a utilização de estações elevatórias de bombeamento.

A lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 proíbe determinantemente, já a partir de 2014, a deposição de resíduos em lixões ou vazadouros. No entanto, o cumprimento desta lei ainda parece uma meta distante.

A crônica falta de recursos dos pequenos e médios municípios tornam as estações de tratamento centralizadas e os aterros controlados, uma opção de difícil viabilização, exceto se subsidiada pelo governo federal. A situação se agrava, quando se fala da manutenção dos sistemas físicos e dos programas continuados de educação ambiental.

A utilização de biodigestores para o tratamento de esgoto não é nova, sendo a China e a Índia os países com o maior volume de efluentes tratados e a maior tradição da utilização do sistema. No Brasil, os biodigestores vêm sendo utilizados com sucesso na área rural, principalmente para tratamento dos dejetos de suínos e bovinos, sendo aproveitado o biogás em máquinas e equipamentos e o biofertilizante utilizados nas culturas próximas. Especificamente para tratamento de esgoto doméstico, temos exemplos em Petrópolis, na região serrana do Rio de Janeiro, onde existe uma experiência localizada com tratamento de esgoto por biodigestores, e de uma comunidade de pescadores integrando biodigestor com um sistema de "alagados construídos".

Como solução alternativa aos sistemas centralizados, este trabalho pretende apresentar uma opção para a solução integrada de tratamento de esgoto e resíduos sólidos orgânicos, utilizando biodigestores distribuídos sob os arruamentos, com o aproveitamento econômico do biogás e biofertilizante gerados, e utilizando os créditos de carbono gerados como instrumento de continuidade dos programas de manutenção das instalações físicas e educação ambiental.

Desta forma, seria criada uma rede de tratamento descentralizada com a participação da prefeitura e comunidade, reduzindo a condução de efluentes a grandes distâncias, o transporte de resíduos e também a área necessária para disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Saneamento básico

O saneamento básico é considerado pelo IBGE como composto pelos temas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. O IBGE mapeou os dados dos referidos temas através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, a qual atualiza os dados da PNSB de 2000.

2.2 Esgotamento sanitário

Conforme a PNSB de 2008 do IBGE 55,2% dos municípios brasileiros possuía sistema de esgotamento sanitário. No entanto é preciso observar que este percentual se refere somente à existência do serviço no município, sem levar em consideração a extensão da rede, o número de economias conectadas, ou mesmo se este esgoto recolhido é tratado.

O número de domicílios com acesso a rede coletora no Brasil era de 44% em 2008, sendo 69,8% na região sudeste, 33,7% na região centro oeste, 30,2% na região sul, 22,4% na região nordeste e 3,8% na região norte.

Não basta, no entanto somente coletar o esgoto. A PNSB de 2008 demonstra que somente 28,5% dos municípios realizaram o tratamento do esgoto coletado. Apesar deste número, o volume nacional de esgoto coletado tratado foi de 68,8%. Este número sugere que os 28% dos municípios que tratavam do esgoto concentravam um volume significativo deste tratamento, uma vez que somente os municípios com mais de 1.000.000 de habitantes tratavam um volume superior a 90%.

Considerando que no Brasil em 2008, foram consumidos 57.004.486m^3 de água, e que foram coletados 12.304.128 m^3 de esgoto, e tratados somente 8.460.590 m^3, concluímos que 14,84% do volume de esgoto gerado recebe algum tipo de tratamento.

Estes números demonstram que os pequenos municípios, em função da menor densidade demográfica, do menor atrativo econômico da coleta e tratamento de esgoto, e dos problemas crônicos de recursos, não apresentam números ou perspectivas promissoras, sendo necessária uma abordagem descentralizada e de menor custo.

2.3 Manejo de resíduos sólidos

Conforme dados da PNSB de 2008 do IBGE, a quase totalidade dos municípios apresentou serviços de manejo de resíduos sólidos. Os serviços compreendem a coleta, limpeza pública e destinação final destes resíduos. De competência do poder público local, estes serviços têm forte influência sobre os orçamentos dos municípios, podendo atingir até 20% dos gastos.

Apesar dos significativos avanços nas últimas duas décadas, os lixões a céu aberto ainda constituíam em 2008 o maior destino final dos resíduos sólidos com 50,8%, seguido de aterros controlados com 22,5% e aterros sanitários com 27,7% (PNSB 2008). A região sul destinava em 2008 15,8% de seus resíduos aos lixões, a região sudeste 18,7%, a região norte 85,5% e a nordeste 89,3%. Conforme a PNSB do IBGE existiam 994 programas de coleta seletiva de lixo no Brasil em 2008, representando um avanço em relação a 1989 de 1700%, quando só existiam 58 programas.

A lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 proíbe a destinação final de resíduos a partir de 2014 em lixões, além de tornar obrigatória a coleta seletiva e reciclagem de lixo. Considerando que a responsabilidade dos serviços de manejo de resíduos sólidos é, em sua grande maioria dos municípios, e que os pequenos e médios municípios dispõem de recursos escassos, a dúvida sobre o cumprimento desta lei é bastante razoável.

Os resíduos sólidos brasileiros possuem normalmente 51,4% de conteúdo orgânico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA, ABRELPE 2011). Desta forma a destinação dos resíduos orgânicos para o sistema proposto, reduzirá significativamente o volume de resíduos sólidos transportados e depositados em aterros.

2.4 O biodigestor

2.4.1 Histórico

Em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira unidade operacional de biodigestor para servir de combustível (biogás) ao hospital de hansenianos. Em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica de digestão anaeróbica na cidade de Exeter, Inglaterra, para tratamento de esgoto, utilizando o biogás na iluminação pública. Em 1939, no Instituto Indiano de pesquisa agrícola, em Kanpur, foi desenvolvida a primeira usina de gás utilizando como material o esterco. Pesquisas realizadas pelo centro de pesquisas “Gobar Gás Institute” em 1950, permitiram a construção de quase meio milhão de unidades de biodigestores no interior do país (HAAK, 2009).

A China, durante o período da guerra fria, buscou alternativas de descentralização energética, tornando a implantação de biodigestores uma solução vital estratégica, para evitar a destruição das centrais energéticas. Em 1958 a China incorporou a tecnologia em sua matriz de energia tornando-se um país de destaque no uso de biodigestores. Até 1972 já haviam sido instalados 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio Amarelo. Também países como Taiwan, Koréia, Tanzânia, Uganda, Bangladesh, Fiji, Nova Guiné e México, adotaram a utilização de pequenos biodigestores (HAAK, 2009).

2.4.2 A digestão anaeróbica

A digestão anaeróbica, ou biodigestão, é um processo natural onde à matéria orgânica é degradada por bactérias que vivem sem a presença de oxigênio, denominadas bactérias anaeróbicas.

O processo de conversão da digestão anaeróbia se da em 04 fases, sendo elas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogêse respectivamente. Segundo Santos (2001), o processo de degradação de matéria orgânica complexa inicia-se com a hidrólise dos biopolímeros particulados como proteínas, carboidratos e lipídios. Na acidogênese, os monômeros são transformados em ácidos graxos voláteis. Na acetogênese, esses ácidos graxos voláteis são transformados em ácido acético, gás carbônico e hidrogênio gasoso. Na metanogêse, o ácido acético é transformado em metano e gás carbônico pelas bactérias metanogênicas acetoclásticas e o gás carbônico e hidrogênio são combinados, formando o metano, pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas.

2.4.3 Tipos de biodigestores

2.4.3.1 Modelo Indiano

O modelo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa ou em um selo de água, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmera de fermentação. Este biodigestor trabalha com pressão constante, uma vez que à medida que o gás é produzido e não consumido, o gasômetro se desloca verticalmente mantendo a pressão constante. O resíduo a ser utilizado para o biodigestor deve apresentar uma concentração de sólidos não superiores a 8%. O abastecimento deve ser contínuo e apesar da facilidade construtiva apresenta o inconveniente de necessitar um gasômetro de metal que pode aumentar o seu custo (DEGANUTTI, 2008).

2.4.3.2 Modelo Chinês

Formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobadado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre a descompressão. Constituído quase totalmente em alvenaria, dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos. Cuidados especiais deverão ser tomados com a vedação e impermeabilização para que não ocorram vazamentos. Neste tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Semelhante ao modelo Indiano, o resíduo a ser utilizado para o biodigestor deverá apresentar uma concentração de sólidos não superiores a 8%, e o abastecimento deverá ser contínuo (DEGANUTTI, 2008).

2.4.3.3 Modelo Batelada

De concepção simples, este biodigestor é composto de um tanque anaeróbio ou vários deles em série. Neste tipo de biodigestor, o abastecimento é feito de uma só vez, mantendo-se a fermentação por um período adequado. O gás é retirado através de uma tubulação situada no topo do biodigestor, interligando outras unidades conforme conveniência. O tempo de retenção hidráulica, conforme Oliver (2008) varia entre 30 e 60 dias, dependendo da matéria orgânica utilizada.

2.4.7 Biodigestor de Lona

Atualmente o modelo mais difundido no Brasil, o biodigestor de lona, é composto basicamente de uma caixa de entrada e mistura do material a ser tratado, de câmera de fermentação revestida e coberta por manta plástica, de uma tubulação de saída do biofertilizante, um reservatório para armazenamento do biofertilizante e uma tubulação de saída do gás (HAAK 2009).

2.5 Fossa séptica

Um tanque séptico ou fossa séptica tem o mesmo funcionamento de um biodigestor, diferindo basicamente por não possuir sistema de coleta de gás e pelo tempo de detenção do efluente, normalmente entre 12 e 24 horas.

Conforme a norma Brasileira NBR 7929/1993 (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os tanques sépticos, também conhecidos como “fossas sépticas” são indicados:

- Para áreas desprovidas da rede pública coletora de esgoto;
- Como alternativa de tratamento de esgoto em áreas desprovidas de rede coletora local;
- Para retenção prévia dos sólidos sedimentáveis.

O dimensionamento físico deverá levar em conta o número de pessoas a serem atendidos, o período de detenção dos efluentes e o tempo de limpeza em anos. Os tanques poderão ser cilíndricos ou prismáticos retangulares e deverão obedecer as dimensões máximas e mínimas pré-determinadas. É recomendado um sistema de tratamento complementar para polimento do efluente antes do lançamento em sumidouros ou corpos d’água.

2.6 Zona de raiz

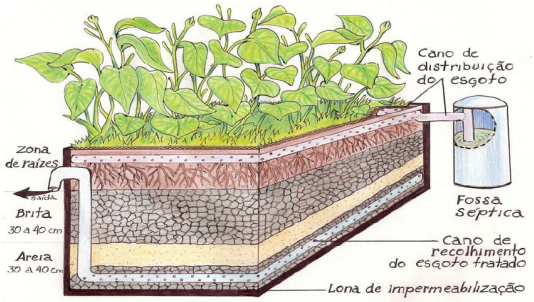
Em um sistema de zona de raízes, normalmente utilizado como tratamento complementar, os efluentes são colocados em contato com as raízes de plantas denominadas de “macrófitas”, que promovem a liberação de oxigênio.

Segundo Van Kaick (2002), nas raízes das plantas que compõe a zona de raízes da estação de tratamento de esgoto(ETE), fixam-se bactérias que recebem oxigênio e nitrogênio conduzidos pela planta por meio dos aerênquimas do caule até as raízes. Em troca, as bactérias decompõem a matéria orgânica, transformando-a em nutrientes que são repassados às plantas. As raízes funcionam ainda como um filtro, eliminando o mau cheiro.

Este processo acontece em um tanque impermeabilizado, com aproximadamente 1 metro de profundidade, onde são dispostas camadas de brita, areia, brita e terra, formando um filtro, onde ocorrem às interações entre efluente, solo, planta, microrganismos e atmosfera.

Conforme Van Kaick (2002) a combinação deste sistema com outros métodos de tratamento de esgoto pode ser variada. No entanto, para todos os sistemas aplicados recomenda-se um tratamento primário, seja uma simples peneiração para retenção de sólidos grosseiros, sedimentação ou até digestão da matéria orgânica. Um esquema de tratamento por zona de raízes pode ser observado na Figura 1 a seguir.

FIGURA 1 – Desenho esquemático do sistema de tratamento por zona de raízes



Fonte: Von Kaick, 2002

Nas ETEs instaladas na Alemanha, as áreas utilizadas para o tratamento do esgoto são entre 3 a 5 m^2 por habitante (KAICK, 2002). A área para tratamento de esgoto de uma estação experimental em Antonina (PR) utilizando zona de raízes, foi reduzida por Sipinski e Kaick (2000) para 1 m^2 por habitante. Nas ETEs por meio de zona de raízes pode ocorrer evaporação de 800 a 1000 litros de água por m^2 por ano (KAICK, 2002), o que reduzirá o volume de efluentes que deverá ser conduzido aos corpos d’agua, redes de águas pluviais ou sumidouros, conforme a situação local.

A vantagem deste sistema é que o tratamento do esgoto passa por duas etapas; o tratamento primário por fossa séptica e o secundário por zona de raízes, podendo o efluente resultante do tratamento ser devolvido apresentando uma redução de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis, evitando a contaminação do corpo d´agua ou solo. Outro aspecto positivo é a ausência da produção de lodo (VAN KAICK, 2002).

2.7 O biogás e a geração de energia elétrica

O metano é o principal componente do biogás e não tem cheiro, odor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de ovo podre ou alho. O poder calorífico do biogás varia entre 5000 a 7000 kcal/m^3 (GALBIATTI, 2009).

O biogás consta basicamente de gás metano (CH_4) em torno de 50% a 60%; gás carbônico (CO_2) em torno de 35 a 40%; hidrogênio (H_2) em torno de 1 a 3%; oxigênio (O_2) em torno de 0,5 a 1%; e gases diversos em torno de 1 a 5% (ARRUDA et al., 2002).

Sendo o gás carbônico incombustível, com sua eliminação através da dissolução em água, é possível a obtenção de um biogás com cerca de 95% de metano de poder calorífico de cerca de 8500 Kcal/m^3 (ARRUDA et al., 2002).

Os dados existentes nas bibliografias disponíveis, normalmente consideram separadamente o gás produzido por aterros sanitários, e o gás produzido por efluentes de esgoto ou dejetos de animais, sendo o último mais estudado.

Os resíduos sólidos brasileiros têm normalmente 51,4% de conteúdo orgânico (ABRELPE 2011). Esta componente orgânica é responsável pela maioria do biogás produzido.

A *Clean Air Act*, lei do ar puro americano considera a produção de biogás em aterros sanitários como sendo de 170 m^3/tonelada de lixo, ou 0,17 m^3/kg (CEPEA, 2004).

Em média cada habitante no Brasil produz 1,223 kg de lixo por dia ou 446 kg por ano (ABRELPE 2011).

Conforme ALVES E VIEIRA (1998), o peso específico do biogás é de 0,72 kg/m^3.

As componentes de lixo e esgoto deverão ser somadas para efetuar os cálculos de produção de biogás.

2.8 O biofertilizante

Após a digestão anaeróbia no biodigestor, o material se transforma em biofertilizante, que apresenta alta qualidade para uso agrícola, com teores médios de 1,5 a 2% de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1,0% de potássio (K) (OLIVER, 2008).

O biofertilizante é um adubo orgânico, isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas. Apresenta pH em torno de 7,5 funcionando como corretivo de acidez. Favorece também a multiplicação de bactérias, melhorando solos degradados (OLIVER, 2008).

O valor comercial do biofertilizante pode ser calculado considerando o preço médio do fertilizante (preço importação mais a tarifa) necessário para obter a mesma quantidade de nutriente existente no efluente do biodigestor (COSTA, 2012).

2.9 Aspectos sobre a educação ambiental

A Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.983/81), estabelece que a Educação Ambiental deva ser oferecida em todos os níveis de ensino e em programas específicos direcionados para a comunidade.

A Política Nacional do Meio Ambiente define que a educação ambiental será desenvolvida como uma prática educativa integrada, contínua e permanente em todos os níveis e modalidades do ensino formal, e não formal, prevendo que o poder público deverá utilizar de meios de comunicação, da participação da escola, da universidade e de organizações não governamentais na formulação e execução de programas e atividades vinculadas à educação ambiental não formal.

Também a constituição promulgada em 1988 criou um capítulo sobre o meio ambiente, no qual a educação ambiental passou a ser dever do Estado.

Conforme Gesser (2004) na percepção das comunidades sobre “o que é meio ambiente”, a maioria o percebe como “a natureza preservada”, como algo que está distante deles, não havendo uma consciência de que a própria casa e os seres humanos que vivem em uma comunidade pertencem ao meio ambiente.

A Educação Ambiental permanente prevista com a utilização dos recursos gerados pelos créditos de carbono, além de facilitar o cumprimento das obrigações legais do estado, representado pela prefeitura, se mostra como uma necessidade fundamental para o entendimento da população de que a sua participação é de fundamental importância para o sucesso do programa.

2.10 A redução de emissão de CO_2 e os créditos de carbono

Desde a década de 80, diversas evidências científicas relacionaram a emissão de gases de efeito estufa antrópicas com a mudança do clima global. Apesar da polêmica em torno das evidências, em 1990, a Assembléia Geral das Nações Unidas estabeleceu o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do clima (INC/FCCC).

O INC/FCCC preparou a redação da convenção e adotou-a em maio de 1992, entrando em vigor em 1994. As partes reúnem-se anualmente na Conferência das Partes (COP) para rever a implementação da Convenção, (MCT, 2009).

A conferência da Partes (COP), o órgão supremo da Convenção, reuniu-se pela primeira vez no início de 1995 em Berlim. A COP 2 aconteceu em julho de 1996 nas Nações Unidas em Genebra.

A Convenção divide os países em dois grupos: os listados no seu Anexo I (conhecidos como "Partes do Anexo I") e os que não são listados nesse anexo (as chamadas "Partes não-Anexo I"), sendo as partes do Anexo I os países industrializados que mais contribuíram no decorrer da história para a mudança do clima, (MCT, 2009).

Em 1997, na cidade de Quioto no Japão, foi realizada a terceira Conferência das partes, com a adoção por consenso, do Protocolo de Quioto. O mesmo estabeleceu metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), para os países desenvolvidos e definiu melhor os objetivos inicialmente apresentados. Para obter as reduções de emissões previstas pelo Protocolo de Quioto, foram criados mecanismos de flexibilização. Estes mecanismos de flexibilização permitiam que os excedentes de redução de GEEs gerado em um País fossem vendidos a outro para o atendimento de suas metas.

Três mecanismos de flexibilização foram criados, sendo um deles o MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que visa transferir reduções de emissões de GEES de projetos realizados em países em desenvolvimento, que não tem metas obrigatórias de redução, para outro com metas obrigatórias.

Estes mecanismos de flexibilização criaram um mercado de créditos de carbono, sendo que somente o MDL é de fato acessível aos países "não anexo I". Além destes mercados denominados de "regulamentados", também um mercado voluntário foi se formando, principalmente considerando que os Estados Unidos não aderiram ao Protocolo de Quioto. Apesar de voluntário, este mercado segue regras bem definidas, de modo a dar transparência a geração de créditos de carbono.

Além dos mercados voluntários da Europa e Estados Unidos, outros mercados tem se formado, como por exemplo, a bolsa verde no Rio de Janeiro.

Para as análises da geração de recursos neste trabalho, foi considerado o mercado voluntário, utilizando cotação da BOVESPA, já que esse mercado possui uma certificação mais flexível.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objeto de estudo

Para permitir uma análise qualitativa e quantitativa da presente discussão, na Figura 2 pode ser observado um desenho esquemático da proposição do sistema de biodigestores. Neste esquemático, foi assumida a existência de quadras "perfeitas" de 100 x 100 metros. Naturalmente será necessário estudar detalhadamente a configuração da região onde o sistema deverá ser aplicado, adaptando a proposição a cada caso.

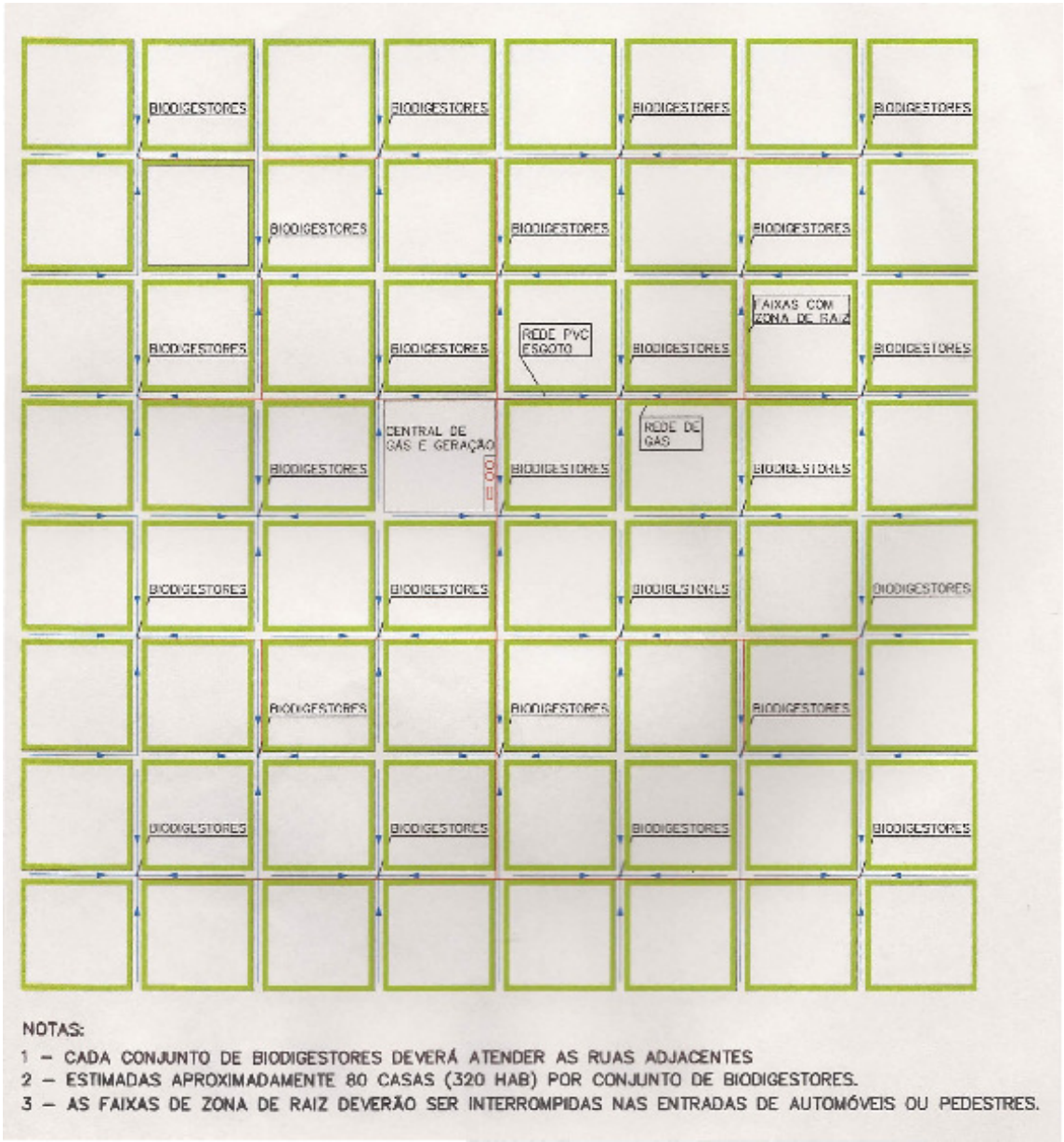
Foi assumido que em cada trecho de rua haveria 10 residências com 04 habitantes cada, de ambos os lados da rua, totalizando 20 casas e 80 habitantes. Considerando que cada conjunto de biodigestores é responsável pelas ruas adjacentes, teremos um total de 80 casas, e 320 habitantes para cada sistema, que é a população que será considerada para os cálculos do volume de esgoto, quantidade de lixo orgânico descartado em peso, produção de biogás, produção de biofertilizante e geração de créditos de carbono. No desenho esquemático podem ser observados 25 conjuntos de biodigestores, atendendo uma população de 8.000 habitantes e 12.800 metros de ruas.

Uma central de tratamento e armazenamento de gás, contendo também um grupo gerador, será responsável pelo controle do gás e pela geração de energia que deverá alimentar as luminárias públicas. Junto às calçadas dos arruamentos, deverá ser implantado um sistema de zona de raízes,

com 1,0 metros de largura, e aproximadamente 1,0 metro de profundidade, interrompida tanto nos acessos de garagens e pedestres, quanto nas implantações de postes e árvores.

Conforme a NBR 9050 da ABNT, calçadas, passeios e vias exclusivas de pedestres devem incorporar faixa livre com largura mínima recomendável de 1,5 metros, sendo o mínimo admissível de 1,2 metros, e altura livre mínima de 2,10 metros. Se tomarmos como base o decreto 45.904/05 da prefeitura municipal de São Paulo, a faixa de serviço mínima deverá ser de 0,75 metros. A calçada, portanto deverá ter uma largura entre 2,20 metros e 2,50 metros, sendo o canteiro da zona de raízes 25 cm maior que a faixa mínima de serviço. A legislação municipal deverá ser consultada para cada situação de implantação do sistema.

FIGURA 2 – DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE BIODIGESTORES



Fonte: O Autor

3.2 Metodologia de análise

Sobre o objeto de estudo aqui apresentado, será descrito em seguida o funcionamento do sistema de biodigestores e zona de raízes, sua operação, as sistemáticas de manutenção e educação ambiental, e as possibilidades de geração de recursos financeiros, através da cobrança de tarifas, utilização do biogás para geração de energia a ser utilizada na iluminação pública, na venda do biofertilizante e na geração de créditos de carbono.

3.3 O Conjunto de Biodigestores

A Figura 3 apresenta um detalhe do conjunto de biodigestores. Cada biodigestor deverá ser composto de 06 anéis de concreto de 4,0 metros de diâmetro e 0,5 metros de comprimento, instalado sobre um fundo cônico de concreto, formando uma câmera de 4,0 metros de diâmetro e 3,0 metros de profundidade, no qual consideramos uma profundidade útil de 2,8 metros.

É importante observar, que esta é apenas uma solução possível, cabendo diversas outras configurações, que poderão ser influenciadas por fatores tais como: altura de lençol freático, tipo de solo, largura e comprimento das ruas atendidas, topografia do terreno, etc. Um projeto de engenharia individualizado para o local específico deverá necessariamente ser desenvolvido.

Considerando que o modelo de biodigestor Indiano necessita da instalação de um gasômetro, o que não será possível sobre os arruamentos, e na dificuldade de vedação completa do modelo Chinês, principalmente durante as operações de carregamento de lixo, optou-se pelo modelo de batelada, de construção e operação mais simples.

Nesta opção, o conjunto de biodigestores poderá ser totalmente enterrado, com a retirada do biogás através dos dutos de gás, do biofertilizante através de sucção, e tendo o acesso para manutenção ou monitoramento por tampas de ferro lacradas, localizadas no arruamento.

Cada sistema de biodigestores da hipótese apresentada atende a 320 habitantes. A geração de esgoto, conforme NBR 7229 ABNT, varia entre 100 e 160 litros por habitante, sendo utilizado aqui o valor de 120 litros de esgotos por dia. Considerando um tempo de retenção hidráulica de 30 dias, mínimo necessário para a formação de gás e biofertilizante (OLIVER, 2008) seria necessário um volume de:

V = C x N x T, onde:

V = Volume do biodigestor em litros;
N = Habitantes atendidos pelo biodigestor;
C = Contribuição de despejos em litros por pessoa por dia;
T = Tempo de retenção hidráulico em dias.

V = 120 x 320 x 30 = 1.520.000 litros = **1.520 m^3**

Um biodigestor com este volume seria de fato impraticável, tanto pelas dimensões exigidas quanto pelo custo envolvido. Como alternativa, adotou-se um sistema composto por 04 biodigestores dispostos lado a lado, funcionando em rodízio constante. No início de operação cada biodigestor, funcionaria como um tanque séptico, retendo os sólidos sedimentáveis incluindo o oriundo do lixo orgânico despejado.

Conforme a NBR 7229 ABNT, o período de retenção mínimo para volumes maiores que 9 m^3 é de 12 horas. Na configuração apresentada, cada biodigestor terá um volume útil de aproximadamente 35 m^3. O volume diário de despejos será de:

V = 120 x 320 = 38.400 litros = 38 m3/dia

O período de retenção será portanto:

Pr = (Vu/ V) x Hd onde:

Pr = Período de retenção em horas
Vu = Volume útil do biodigestor
V = Volume de despejo diário
Hd = Número de horas no dia

Pr = (35 / 38) x 24 = 22,1 Horas

Este tempo de retenção atende com folga o tempo de retenção mínimo exigido, que é de 12 horas.

Este regime de operação será mantido por 7 dias, aumentando a concentração de matéria orgânica, sendo então lacrado através do sistema de válvulas, passando a funcionar como um biodigestor de batelada pelas próximas 3 semanas.

De modo a aperfeiçoar o funcionamento do sistema, outros intervalos de tempo poderiam ser utilizados, tais como 10 dias funcionando como tanque séptico e 30 dias como biodigestor, ou ainda 15 dias funcionando como tanque séptico e 45 dias como biodigestor. Estes ajustes poderão ser feitos utilizando uma planta piloto de testes e não são esperados resultados com diferenças significativas.

Durante o período de uma semana de carregamento do biodigestor, além do esgoto, é esperado um despejo de resíduo sólido orgânico, de:

Lixo orgânico em kg = L_h x $L_{\%}$ x N x D_l, onde:

L_h = Peso de lixo bruto produzido por habitante por dia; = 1,223 kg/habitante/dia
$L_{\%}$ = Percentual de resíduo orgânico contido no lixo brasileiro = 51,4%;
N = Habitantes atendidos pelo biodigestor;
D_l = Dias de coleta de lixo orgânico considerado = 7

Lixo orgânico = 1,223 x 51,4% x 320 x 7 = **1408 kg**

Que é o peso do lixo carregado no biodigestor para entrar em funcionamento por batelada.

Para o cálculo do percentual de contribuição dos resíduos sólidos no volume total a ser tratado no biodigestor considerou-se para um peso de 1408 kg de lixo e um volume de água de 35.000 litros.

Percentual lixo orgânico = (peso do lixo lançado / peso da água) x 100

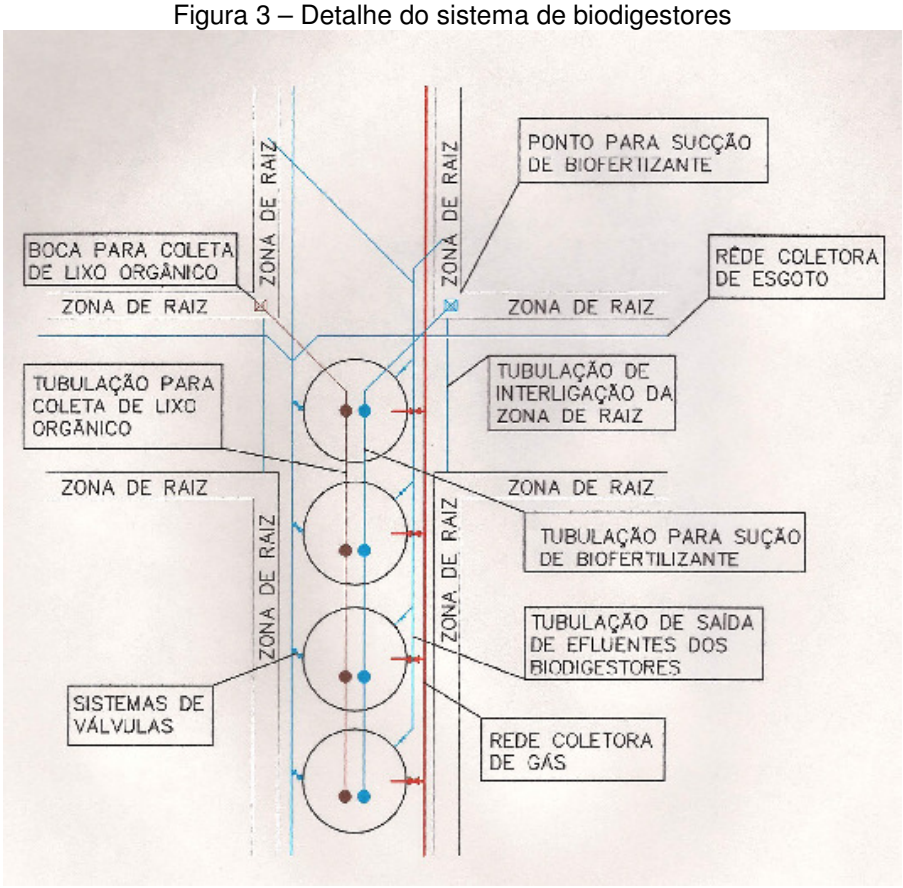
Percentual de lixo orgânico = (1408 / 35.000) x 100 = **4,02%**

Para lacrar o biodigestor após o período de uma semana, um sistema de válvulas deverá fechar a entrada e saída de efluentes, transferindo este fluxo para o outro biodigestor, e assim sucessivamente.

Durante o período de intensa produção de gás, este deverá ser recolhido através de uma tubulação interligada em uma rede que encaminhará o gás para uma central onde o mesmo deverá ser processado, armazenado e utilizado para a geração de energia.

Após o término deste período, o biofertilizante deverá ser retirado do biodigestor, através de caminhões com bomba de sucção, encaminhando-o para a utilização em áreas rurais próximas.

Figura 3 – Detalhe do sistema de biodigestores



Fonte: O autor

3.4 A Rede Coletora de Esgoto

Cada conjunto de biodigestores deverá atender somente as ruas adjacentes. No desenho esquemático apresentado, o maior trecho de arruamento é de 100 metros lineares.

Considerando as contribuições de Unidades Hunter, conforme NBR-8160 da ABNT, e que cada residência possuirá os aparelhos indicados na tabela 1 abaixo, e ainda considerando que no primeiro trecho do arruamento, a rede coletora receberá a contribuição de 10 residências teremos:

Tabela 1. Unidades Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários – primeiro trecho do arruamento

Aparelho	Unidades Hunter	Casas atendidas	Total
Vaso sanitário	6	10	60
Chuveiro	2	10	20
Pia bwc	1	10	10
Pia cozinha	3	10	30
Tanque	3	10	30
			150

Obs: A UNIDADE HUNTER é uma grandeza adimensional

De acordo com a NBR 8160 da ABNT, para uma declividade de 1% e considerando o somatório de UNIDADES HUNTER de 150, o diâmetro necessário da rede coletora deverá ser de 100 mm.

Para o segundo trecho do arruamento, que deverá receber a contribuição do primeiro trecho e mais as 10 residências do segundo trecho, totalizando 20 residências, teremos:

Tabela 2. Unidades Hunter de contribuição dos aparelhos sanitários – segundo trecho do arruamento

Aparelho	Unidades Hunter	Casas atendidas	Total
Vaso sanitário	6	20	120
Chuveiro	2	20	40
Pia bwc	1	20	20
Pia cozinha	3	20	60
Tanque	3	20	60
			300

Obs: A UNIDADE HUNTER é uma grandeza adimensional

De acordo com a NBR 8160 da ABNT, para uma declividade de 1% e considerando o somatório de UNIDADES HUNTER de 300, o diâmetro necessário da rede coletora deverá ser de 150 mm.

Desta forma teremos uma rede coletora bastante simplificada, composta de tubos de 100 mm e 150 mm.

3.5 O Sistema de Zona de Raízes

O sistema de zona de raízes terá o objetivo de complementar o tratamento de efluentes, no período de 7 dias em que o biodigestor estiver funcionando como um tanque séptico. O efluente após passar pelo biodigestor, o qual funciona neste período como tanque séptico, será encaminhado para o sistema de zona de raízes que, conforme já relatado, aplica um tratamento aeróbico neste efluente.

O sistema de zona de raízes será composto por um canteiro linear com 01 metro de largura e 01 metro de profundidade, devidamente impermeabilizado, disposto ao longo dos arruamentos, sendo estes canteiros interrompidos nas entradas de garagens e pedestres e nas implantações de postes e árvores. No lugar da brita, poderá eventualmente ser utilizado entulho quebrado, ou cacos de telha, ou ainda outro material local, adequado a substituição da brita.

Considerando que cada conjunto de biodigestores deverá atender a uma população de 320 habitantes, e que a faixa linear das ruas adjacentes em ambas às calçadas soma 800 metros, concluímos que com 40% desta área disponível, será possível atender a especificação de 1 metro quadrado de zona de raízes por habitante.

Caso a largura mínima da calçada não possa ser adequada a 2,20 metros descrito no item 3.1, a largura da faixa de zona de raízes deverá ser reduzida, ou alternativamente, utilizadas outras áreas públicas para obter a área mínima de implantação necessária.

Entre outras, poderão ser utilizadas plantas tais como o copo de leite - Zantedeschia a ethiopica, o lírio do brejo - Hedychium Coronarium, e o mini papiro - Cyperus isocladus (Zanela Luciano, 2013)

3.6 A coleta de gás

Uma tubulação de gás deverá percorrer os arruamentos, conforme mostrado no esquemático da Figura 2. Considerando a presença de vapor d'água no biogás, deverão ser previstos pontos para drenagem do líquido ao longo desta tubulação.

Da mesma forma que a entrada e saída de efluentes, também o sistema de coleta de gás deverá ser controlado através de um conjunto de válvulas. Este gás deverá ser encaminhado para uma central de processamento, e movimentar um grupo gerador, que deverá atender a iluminação pública destes mesmos arruamentos.

3.7 A central de biogás

Em um lote do objeto de estudo, deverá ser construída uma central para recebimento do biogás, que deverá possuir equipamentos adequados à purificação do mesmo e o seu armazenamento temporário, além da instalação de um grupo gerador com capacidade para gerar energia elétrica necessária para a alimentação do sistema de iluminação pública dos arruamentos.

Com a publicação da portaria n^{o} 482 da ANEEL, em 17/04/12, que estabelece as condições para micro geração e o sistema de compensação de energia elétrica, a tarefa de equilibrar o balanço energético entre a geração e o consumo ficou bastante facilitada, já que a partir desta portaria é

possível repassar energia para a rede elétrica interligada quando excedente, e receber energia desta mesma rede na situação de falta, compensando o fluxo energético.

3.8 O despejo de lixo orgânico

Conforme pode ser observado no detalhe, haverá dois pontos sobre as calçadas, sendo um ponto de coleta de lixo orgânico, e o outro de retirada do biofertilizante. O ponto de coleta do lixo orgânico deve permitir que o lixo previamente separado seja lançado em um compartimento contendo um triturador, que deverá reduzir os resíduos a dimensões adequadas para lançamento no biodigestor.

O detalhamento deste compartimento deverá ser objeto de futuro estudo de engenharia, sendo que, durante este detalhamento, cuidados especiais deverão ser tomados para garantir que o biogás gerado do biodigestor não retorne e se perca.

3.9 A geração de gás e sua utilização

Para determinação do biogás gerado serão considerados separadamente os componentes do esgoto e do lixo orgânico. Para determinação do componente esgoto, foi consideranda a metodologia proposta pelo Intergovernmental Painel on Climate Change - IPCC (2006) de levantamento de metano do tratamento de esgotos sanitários.

Conforme Alves e Vieira (1998) tem-se o valor da demanda básica de oxigênio (DBO), como sendo de 18,25 kg de DBO/habitante/ano. Considerando os 25 conjuntos de biodigestores do croqui apresentado, teremos um total de:

DBOt = Nc x N x DBOh, onde:

DBOt = Total de DBO para a área considerada por ano;
Nc = Conjuntos de biodigestores considerados;
N = Habitantes atendidos por conjunto de biodigestores;
DBOh = DBO por habitante por ano.

DBOt = 25 x 320 x 18,25 = **146.000 kg DBO/ano**

O fator de emissão de metano será:

EFj = Bo x MCFj, onde:

EFj = Fator de emissão em kg CH4/kg DBO
Bo = Capacidade máxima de produção em kg CH4/kg DBO
Conforme a tabela 6.2 do IPCC 2006, Bo = **0,6 kg CH_4/kg DBO**
MCFj = Fator de correção de metano.
Conforme a tabela 6.3, MCFj para reatores anaeróbicos = **0,8**

EFj = 0,8 x 0,6 = **0,48 kg CH_4/kg DBO**

A emissão de Metano será:

Em = EFj x DBOt, onde:

Em = Emissão de metano em kg CH_4 / ano;
EFj = Fator de emissão de metano;
DBOt = Total de DBO para a área considerada por ano.

Em = 0,48 x 146.000 = 70.080 kg metano / ano.

O biogás é composto de aproximadamente 55 a 60% de metano. Desta forma, considerando o valor mais conservador de 55% teremos um total de biogás de:

Biogás esgoto = (Em / Pm) x 100, onde:

Biogás esgoto = Quantidade de biogás de esgoto em kg por ano;
Em = Emissão de metano em kg de metano por ano;
Pm = Percentual de metano presente no biogás.

Biogás de esgoto = (70.080 / 55) x 100 = **127.418 kg**/ano

Para o componente lixo orgânico, considerou-se uma geração média de lixo de 1,223 kg por habitante por dia tendo-se para a mesma base:

Lixo = L_h x Nc x N x D_a, onde:

Lixo = Total de lixo bruto produzido por ano;
L_h = Peso de lixo bruto produzido por habitante por dia = 1,223 kg;
Nc = Quantidade de conjuntos de biodigestores considerados = 25;
N = Habitantes atendidos pelo biodigestor = 320;
D_a = Dias de coleta de lixo considerado em um ano = 365 dias.

Lixo = 1,223 x 25 x 320 x 365 = 3.571.160 kg /ano = 3.571 ton/ano

Considerando a produção de biogás em aterros sanitários como sendo de 170 M^3 de biogás por tonelada de lixo (CEPEA 2004), teremos:

Biogás de lixo = Lixo x produção por tonelada

Biogás de lixo = 3.571 x 170 = 607070 M3 de biogás

A produção de biogás de lixo no biodigestor, poderá não ser a mesma que a produção de biogás em aterro sanitário, devendo esta situação ser melhor investigada em experimento posterior.

Considerando os dados de Alves e Vieira (1999), a densidade do biogás é de 0,72 kg/m^3, e a percentagem de metano no biogás é de 55%. Desta forma podemos apresentar a tabela abaixo com o metano em kg, e o biogás em kg e m^3.

Tabela 3 Produção de biogás (ano)

	Metano (kg)	Biogás (kg)	Biogás (m^3)
Esgoto	70.080	127.418	176.969
Lixo	240.399	437.090	607.070
Total	310.479	564.508	784.039

Conforme Santos (2009), o poder calorífico do biogás é de 5100 Wh/m^3, e o fator de eficiência dos equipamentos de conversão em energia elétrica ciclo Otto é de 34%.

Teremos um potencial de geração de energia de:

Pkwh = (Bt x Pkcal x ef) / 1000, onde:

Pkwh = Energia em KWh;
Bt = Volume de biogás em m^3 por ano;
Pkcal = Poder calorífico do biogás em Kcal/m^3;
Ef = Eficiência estimada do grupo gerador.

Pkwh = (784.039 x 5100 x 0,34) / 1000
Pkwh = 1.359.523 KWh / ano
Pkwh = 113.293 KWh / mês

A energia será utilizada para a alimentação parcial da iluminação pública. No esquemático apresentado, temos aproximadamente 12.800 metros de arruamento. Considerando uma luminária de 250 W a cada 30 metros temos:

Pd = (Arruamento x Pl) / Dl, onde

Pd = Potência demandada total em Watts;
Arruamento = Somatório dos comprimentos dos arruamentos em metros;
Pl = Potencia demandada de cada luminária instalada em poste em Watts;
Dl = Distância entre as luminárias em Watts.

Pd = 12.800 x 250 / 30 = 106.666 Watts = 166 kW

Considerando 10 horas de funcionamento por dia a energia consumida será:

Pkwh = Pd x Hd x Dm , onde:

Pkwh = Potência consumida em Kwh;
Pd = Potência demandada total em Kw;
Horas = Número de horas de funcionamento por dia;
Da = Dias considerados no mês.

Pkwh = 166 x 10 x 30 = 49.800KWh

Teremos um excedente mensal de energia de aproximadamente 63.493 KWh, que poderá ser compensada para a prefeitura, ou ainda vendida para o sistema elétrico nacional, considerando a portaria da ANEEL n^{o} 482.

O custo da energia para iluminação pública, conforme dados da CEMIG – CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS, é de aproximadamente R$ 0,27/KWh. Teremos, portanto uma redução anual de custo com energia de aproximadamente:

Re = Pkwh x Te, onde

Re = Receita de redução do custo de energia em R$ / ano;
Pkwh = Consumo de energia em um ano = 699.809 Kwh;
Te = Tarifa de energia para iluminação pública em R$ / Kwh.

Re = 1.359.523 x 0,27 = **R$ 367.071,00 por ano.**

3.10 A geração e utilização do biofertilizante

Conforme Santos (2009) 80% de toda matéria orgânica utilizada durante o processo de obtenção do biogás se transforma em biofertilizante.

Para a contribuição do esgoto, foi considerado o total de DBO, ou seja 146.000 kg DBO/ano, ou ainda 146 toneladas DBO/ano.

Para a contribuição do lixo orgânico foi considerado o percentual orgânico presente no lixo. Para um total de 3.571.160 kg de lixo, com 51,4% de componente orgânico, temos:

Lixo orgânico = lixo x 51,4% = 1.835.576 kg = **1835 toneladas**

A tabela 4 apresenta a produção de biofertilizante por ano:

Tabela 4. Produção de biofertilizante (toneladas por ano)

	Peso (t)	Peso x 0,8
Esgotos	146	117
Lixo orgânico	1.835	1.468
Total	1.981	1585

Para determinarmos o valor mínimo do biofertilizante, podemos utilizar o percentual mais conservador de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, conforme Oliver (2008), e determinar o peso de cada componente para uma tonelada de biofertilizante.

Tabela 5 - Peso NPK por tonelada de biofertilizante

Componente	% do componente	Peso em Kg do componente
Nitrogênio	1,5	15
Fósforo	1,0	10
Potássio	0,5	5

Fonte: OLIVER(2008)

Para determinar o valor de mercado de cada componente, foi utilizada a cotação da Uréia, do super triplo e do cloreto de potássio (VALOR ECONÔMICO 18/09/2012), e considerado ainda as concentrações de cada componente presentes na Uréia, super triplo e cloreto de potássio, conforme DIAS e FERNANDES (2006), resultando na Tabela 6.

Tabela 6. Valor do componente (NPK) por Kg. (VALOR ECONÔMICO)

Produto	Componente	% presente	Cotação (R$/ton)	Cotação (R$/kg)	Valor do componente (R$/kg)
Ureia	Nitrogênio	45	1250,00	1,25	2,77
Supertriplo	Fósforo	41	1310,00	1,31	3,19
Cloreto de potássio	Potássio	58	1465,00	1,465	2,52

Fonte: OLIVER(2008)

Considerando os valores e pesos dos componentes presentes no biofertilizante teremos:

Tabela 7 - Peso NPK por tonelada de biofertilizante

Componente	Peso do componente (Kg)	Valor do componente (R$/Kg)	Valor do componente (R$)
Nitrogênio	15	2,77	41,55
Fósforo	10	3,19	31.9
Potássio	5	2,52	12,6
TOTAL			**86,05**

Considerando **1585 toneladas** de biofertilizante/ano, e o valor calculado acima, teremos uma receita de aproximadamente:

Receita = Produção de biofertilizante em tonelada x Valor da tonelada

Receita = 1.585 x 86,05 = **R$ 136.389,00**

3.11 Os créditos de Carbono

Realizou-se um cálculo simplificado da geração de créditos de carbono, considerando a geração de créditos de carbono, considerando a geração de metano conforme tabela 2 e o GWP do metano.

Emissões evitadas = 310 x 21 = **6.510 tCO_2/ano – 6.510 créditos de carbono**

Foram desprezadas tanto as fugas representadas pela construção do empreendimento e transporte do biofertilizante, quanto os ganhos com a redução do transporte do lixo e importações de fertilizantes químicos.

Pela dimensão do projeto e considerando maior facilidade em aprovação, estaremos considerando a venda no mercado voluntário VCS e não para o mercado regulado. Será utilizado o valor do leilão da BOVESPA realizado em 12/06/12, com créditos de carbono VCS comprados pela

Prefeitura de São Paulo por 3,3 euros, ou R$ 8,64, valor este bastante conservador para os créditos de carbono.

Receita = 6.510 x R$ 8,64 = **R$ 56.246,00** / **ano**

3.12 Receitas previstas

Além dos valores já relatados, existe ainda a possibilidade de cobrança dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, normalmente com o mesmo valor da água fornecida.

Conforme a NBR 7229,o volume total de esgoto tratado equivale a 80 % da água fornecida. Para a consideração de 120 litros de esgoto por habitante, teremos:

Va = Ve/80% onde

Va = Volume de água fornecido
Ve = Volume de esgoto tratado

Va = (120/80) x 100 = 150 litros por habitante por dia

No objeto em estudo, considerando uma população de 320 x 25 = **8.000** habitantes. Desta forma o consumo anual de água será:

Consumo = Pt x Ch x Na, onde:

Consumo = Consumo de água da área considerada por ano;
Pt = Número de habitantes na área considerada;
Ch = Consumo de água por habitante por dia;
Na = Número de dias no ano.

Consumo = 8000 x 150 x 365 = **438.000 m^3.**

A receita da cobrança de esgoto, considerando uma tarifa mínima de R$ 1,516/M^3 será:

Receita = 438.000 x 1,516 = **R$664.008,00**

Tabela 8. Receitas esperadas por R$/ano

DESCRIÇÃO RECEITAS	Valor R$
Energia reduzida	367.071,00
Venda biofertilizante	136.389,00
Créditos de carbono	56.246,00
Cobrança de esgoto	664.008
TOTAL	**1.223.714**

Cabe uma cuidadosa avaliação sobre a cobrança de tarifa de esgoto. Embora prática comum e desejável do ponto de vista econômico, a necessidade da participação da comunidade pode não recomendar esta prática.

3.13 Agentes comunitários de manutenção do sistema e educação ambiental

Com os recursos gerados pela economia em energia de iluminação, na redução do custo de coleta de lixo, com a cobrança de tarifas de esgoto, a venda do biofertilizante e a geração de créditos de carbono, é recomendado manter em caráter permanente uma equipe de manutenção e educação ambiental da comunidade.

Estes “agentes ambientais comunitários”, preferencialmente da comunidade envolvida, poderão ser treinados e remunerados adequadamente de modo que, além de realizar a operação e manutenção permanente do sistema, possam atuar também como promotores da conscientização ambiental.

A assistência e apoio permanente por uma equipe de profissionais capacitados poderá conferir um melhor desempenho a estes “agentes ambientais comunitários”. A mesma equipe de profissionais poderá prestar apoio a diversos grupos de “agentes”.

Palestras e campanhas regulares e constantes sobre a importância de separação do lixo orgânico, sobre a necessidade de redução do uso de detergentes, óleos e outros agentes prejudiciais ao processo de biodigestão, em escolas, associações de bairro, igrejas, além da convocação da população envolvida será de grande importância.

Sem estas providências, o sistema corre o risco de fracassar, já que uma separação inadequada do lixo, por exemplo, pode quebrar a continuidade do processo, desacreditando a eficácia do projeto implantado.

3.14 Fontes de financiamento

Múltiplas fontes de financiamento estão disponíveis para projetos de esgotamento sanitário e resíduos sólidos. A FUNASA, Fundação Nacional de Saúde, por exemplo, possui uma linha de financiamento destinada a projeto de esgotamento sanitário para cidades até 50.000 habitantes, e possui também uma linha de apoio para a educação ambiental.

Com a aprovação da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos o governo federal deverá destinar R$ 1,5 bilhões para projetos para erradicar os lixões. Também a Caixa Econômica Federal, através de convênio com o Banco Mundial e o Banco do Brasil possuem linhas específicas para esta finalidade.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1 Conclusões

A adoção da alternativa descentralizada apresentada, de tecnologia construtiva relativamente simples e passível de execução por empreiteiras locais, se apresenta como mais uma possibilidade de solução do problema do saneamento, principalmente para cidades até 50.000 habitantes, ou para vilas rurais de difícil acesso a coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos.

Além das pequenas cidades, a utilização desta proposição em grandes condomínios poderá possibilitar ganhos representativos que poderão refletir em reduções de taxas de condomínio. Traz como ganho adicional, além da solução dos problemas inerentes ao saneamento básico, a possibilidade de incorporar na matriz brasileira uma nova fonte energética renovável.

O aproveitamento imediato do biogás gerado através do sistema de iluminação pública e da interligação com o sistema elétrico nacional ajuda a resolver o problema do armazenamento e distribuição do biogás.

Com a disponibilidade de recursos energéticos renováveis, há a possibilidade sustentável de manter um sistema de iluminação pública de boa qualidade, aumentando com isto a segurança pública, poderá se tornar viável.

A geração de recursos do sistema permitirá às pequenas prefeituras, normalmente carentes de recursos financeiros, a obtenção de financiamentos públicos e a contínua manutenção do sistema, além de possibilitar a adoção de um programa permanente de educação ambiental.

A separação da parcela orgânica do lixo facilitará a adoção de um programa de reciclagem, fomentando o emprego e renda.

A utilização de biofertizante para a produção de alimentos aumentará a disponibilidade local, evitando a importação de quantidade equivalente de fertilizantes químicos.

4.2 Recomendações

A confirmação das hipóteses levantadas nesta proposição deverá necessariamente ser verificada através de um projeto piloto, com o monitoramento dos resultados.

A adequação da proposição para condições específicas de cada local necessitará de uma equipe multidisciplinar, não só para o projeto e construção, mas para as ações educacionais, de planejamento da manutenção permanente, e de monitoramento dos resultados.

Durante o monitoramento dos resultados do projeto piloto deverão ser verificados, por exemplo: os períodos de funcionamento das fases produtivas, a qualidade do biofertilizante produzido e a eficiência do uso de co-digestão anaeróbia de esgoto e resíduos sólidos urbanos.

A receita advinda dos créditos de carbono deverá ser avaliada com mais rigor por meio de um estudo de viabilidade econômico-financeira do projeto.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2011. Disponível em http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2011.pdf, acesso em 11 out. 2012

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, **Resolução normativa nº 482** de 17 de Abril de 2012.

ALVES, J. W. S.; VIEIRA S. M. M., **Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo manejo de resíduos** – 1990 a 1994. CETESB, 1998.

AMBROS, EHRHARDT; KERSCHBAUMER. **Planzer-klaranlagen selbst gebaut. Stuttgart: L.S. Verlag**, 1998. 148p.

ARRUDA, M. H. et al. **Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, ano 1, n. 2, Dezembro de 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8160: **Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9050: **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**.

BAHLO, K.; WACH, G. **Naturnahe Abwasserreinigung. Freiburg: Ocobuch**, 1996. 137p.

BM&F BOVESPA. **Leilões de Créditos de Carbono**. Disponível em: http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/mercados/mercado-de-carbono/leiloes-de-credito-de-carbono-login.aspx?idioma=pt-br, acesso em 24 set. 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Convenção sobre mudança do clima**. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, Brasília. 27 p. Disponível em: http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/convencao clima.pdf . Acesso em: out. 2012

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Protocolo de Quioto**. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo Quioto. pdf, acesso em: out 2012.

CEMIG, CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS. **Atendimento, valores de tarifa e serviços**. Disponível em: http://www.cemig.com.br/Atendimento/Paginas/ValoresDeTarifaEServicos.aspx, acesso em 24 set. 2012.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA, **Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos aterros sanitários nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil**. Disponível em http://pt.scribd.com/doc/2363344/4/Estrutura-do-trabalho. Acesso em 10 out 2012.

DEGANUTTI, R. P. et al. Biodigestores Rurais: **Modelo Indiano, Chinês e Batelada**, São Paulo, Editora
da UNICAMP, 2008.

DIAS, Victor Pina, Fernandes Eduardo. Fertilizantes: **Uma visão global sintética**. BNDES setorial, Rio de Janeiro nº 24 p-97-138. 2006.

FUNASA, FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 2004, p. 11.
FUNASA, FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Sistema de Esgotamento Sanitário**. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/sistema-de-esgotamento-sanitario/ , acesso em 24 set. 2012.

GALBIATTI, J. A. Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, 2009.

GESSER, MANIVETE et al. **A construção de um programa de educação ambiental na comunidade, Interdisciplinaridade, Subjetividade e Cidadania**. Anais do 2º Congresso Brasileiro de extensão Universitária. Disponível em: https://www.ufmg.br/congrext/Meio/Meio9.pdf, acesso em 24 set. 2012.

HAACK, S. C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido Baiano**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**.

OLIVER, André de Paula Monis et al -Winrock International Brasil – **Manual de treinamento em Biodigestão**. Versão 2, Fevereiro de 2008.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – CASA CIVIL. **Lei 12305** de 12 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – CASA CIVIL. **Lei 6.938** de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

SANTOS, A. F. da S. **Estudo de Viabilidade de aplicação do biogás no ambiente Urbano**. USP-FUNDACE. 2009.

SILVA, C. L. et al. – **Energia no lixo: Uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos**. IV Encontro Nacional da ANPPAS. 4,5 e 6 de Junho de 2008.

SIPINSKI, M. A.; VAN KAICK, T.S. **Estação de tratamento de esgoto (ETE) piloto na reserva Morro da Mina/SPVS, Antonina Paraná**. Cadernos do Litoral, Curitiba n. 3, p. 64, 2000.

SPERLING, M.V. **Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d´agua e de lançamento de efluente líquidos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 13. N.1. Jan./Mar. 1998. P. 111-132

VALOR ECONÔMICO. "**Preços de Fertilizantes tem alta em Setembro**, 18/09/2012". Disponível em: http://www.valor.com.br/empresas/2834378/precos-de-fertilizantes-tem-alta-em-setembro. Acesso em 29 set. 2012.

VAN KAICK, T. S. **Estação de Tratamento de Esgoto por meio de Zona de Raízes: Uma proposta de Tecnologia apropriada para Saneamento Básico no Litoral do Paraná**. Dissertação de mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – Programa de Pós Graduação em Tecnologia.

ZANELA LUCIANO et al. **Wetlands – construídas vegetadas com plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes domésticos**. Disponível em http://www.fec.unicamp.br/~sapsa05/3sapsa/IISAPSAlucianozanella.doc Acesso em 29/09/2012.