

CARLOS CEZAR DA SILVA

ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS COM O USO DE INDICADORES
AMBIENTAIS

UNIP – UNIVERSIDADE PAULISTA
SÃO PAULO
OUTUBRO-2006

CARLOS CEZAR DA SILVA

ESTUDO DE CASO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS COM O USO DE INDICADORES
AMBIENTAIS

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção da
Universidade Paulista – UNIP,
para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia de
Produção.

Área de Concentração:
Produção e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a Dra. CECÍLIA M. V. B. DE ALMEIDA

Co-Orientadora: Prof^a Dra. SILVIA H. BONILLA

UNIP – UNIVERSIDADE PAULISTA
SÃO PAULO
OUTUBRO-2006

Silva, Carlos Cezar da
Estudo de Caso de Sistemas de Tratamento
de Efluentes Domésticos com o uso de
Indicadores Ambientais.

110p.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação
em Engenharia. Universidade Paulista (UNIP) São Paulo,
2006.

Área de concentração: Engenharia de Produção e
Meio Ambiente

Orientador: Cecília M. V. B. de Almeida

Co-orientador: Silvia H. Bonilla

1. Emergia 2. Efluente doméstico 3. Indicadores
ambientais

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Maria Aparecida, meu exemplo de coragem e persistência,

À minha esposa, Geslaine, amiga de todas as horas,

À minha filha, Adrielle, pelo grande empurrão nesta caminhada,

Ao meu filho, Cezar Augusto, por ter entendido minha ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelos obstáculos e pelas dádivas que me tornaram o que sou.

A orientadora, Prof^a. Dra. Cecília M. V. B. Almeida, por todo o apoio e paciência no decorrer de um curso de mestrado.

A co-orientadora Prof^a. Dra. Silvia H. Bonilla, pelo apoio e incentivo na busca do “fio condutor”.

Ao Prof^o Dr. Biagio F. Giannetti, por ter sido um amigo e crítico, o que contribuiu na elaboração deste trabalho, por suas observações sempre pertinentes.

Ao Prof^o Dr. André Henrique Rosa, pelas sugestões de aprimoramento deste trabalho.

Ao Engenheiro Humberto de A. Pizza da Silva, pelo impulso inicial e acompanhamento.

A minha família, pela torcida, pelo apoio, carinho e pelas horas de ausência que souberam suportar.

Aos colegas de curso, que através de suas sugestões possibilitaram um aprendizado em conjunto.

Aos companheiros da E.E. Senador Casemiro da Rocha, que colaboraram durante o decorrer deste período, com palavras e ações de incentivo a este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia de Produção da UNIP, pela oportunidade da realização do curso.

“[...] sendo todas as coisas causadas e causadoras, ajudadas e ajudantes, mediatos e imediatos, e sustentando-se todas por um elo [...] considero impossível conhecer as partes sem conhecer o todo, tampouco conhecer o todo sem conhecer particularmente as partes”

BLAISE PASCAL

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	viii
Lista de Figuras	vii
Lista de Abreviações e Símbolos	viii
RESUMO - ABSTRACT	x
Introdução.....	1
1.1 Evolução histórica da coleta e transporte de efluente domiciliar.....	1
1.2 Atualidade	2
1.3 Sistemas estudados	3
1.4 Estação de Tratamento por Lodo Ativado	3
1.5 Estação de Tratamento por Biodigestão	5
2. Revisão Bibliográfica	8
2.1 Análise Emergética.....	8
2.2 Indicadores Emergéticos.....	11
2.3 Trabalhos da literatura relativos à avaliação de sistemas de tratamento de efluentes com o emprego da análise emergética.....	13
3. Objetivos	15
3.1 Objetivo Geral.....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. Metodologia	16
4.1 Primeiro grupo de indicadores	18
4.2 Segundo grupo de indicadores	18
4.3 Terceiro grupo de indicadores	20
4.4 Quarto grupo de indicadores.....	21
5. Resultados.....	24
5.1 Estação de Tratamento de Lodo Ativado	24
5.1.1 Contabilidade emergética sem serviços ambientais	25
5.1.2 Contabilidade emergética com serviços ambientais	26
5.2 Estação de Tratamento por Biodigestão	27
5.2.1 Contabilidade emergética com e sem serviços ambientais	27
5.3 Cálculo dos indicadores	29
5.3.1 Primeiro grupo de indicadores	29
5.3.1.1 Análise da incerteza devida ao cálculo dos indicadores.....	32
5.3.1.2 Estação de Tratamento por Lodo Ativado	33
5.3.2 Sistema de Tratamento por Biodigestão	34
5.4 Segundo grupo de indicadores	39
5.5 Terceiro grupo de indicadores	41
5.5.1 Pegada Ecológica e Capacidade de Carga segundo ZHAO et al. (2004)	42
5.5.2 Capacidade de Carga, segundo BROWN e ULGIATI (2001).....	45
5.6 Área Indireta e Área de Suporte	46
5.6.1 Área Direta e Indireta, segundo GEBER e BJÖRKLUND (2001).....	47
5.6.2 Área de Suporte segundo Ulgiati e Brown (2002).....	48
5.6.3 Comparação dos resultados obtidos com o cálculo das Áreas Indiretas e de Suporte.....	48
5.7 Energia re-irradiada pelos sistemas, segundo TIEZZI et al. (1995).....	51
5.8 Pegada Ecológica dos sistemas de tratamento de efluentes por Lodo Ativado e por Biodigestão	52
6. Conclusões	54
6.1 Quanto ao uso de recursos.....	54
6.2 Quanto ao uso de área fora do sistema para fornecimento de recursos.....	55
6.3 Quanto à área necessária para diluir ou absorver os poluentes gerados.....	55
7. Sugestão para trabalhos futuros	57

8. Referências bibliográficas	58
ANEXO A	61
ANEXO B.....	70
ANEXO C	89
ANEXO D	108

Lista de Tabelas

<i>Tabela</i>	<i>Página</i>
Tabela 1. Transformidades e Emergia por massa usadas neste estudo.	17
Tabela 2. Indicadores emergéticos do primeiro grupo.	19
Tabela 3. Avaliação da Emergia do Tratamento de Efluente de Lodo Ativado.	25
Tabela 4. Avaliação da Emergia do Tratamento de Efluente por Biodigestão.	28
Tabela 5. Comparação entre a emergia por unidade do Lodo Ativado e do Biodigestor.	28
Tabela 6. Resumo dos índices emergéticos.	30
Tabela 7. Avaliação da Emergia do Sistema de Lodo Ativado com a fração renovável.	33
Tabela 8. Avaliação da Emergia do Tratamento de Efluente por Biodigestão com a fração renovável.	34
Tabela 9. Resumo dos índices emergéticos considerando-se a fração renovável dos fluxos de mão de obra e energia elétrica.	36
Tabela 10. Indicadores específicos para os sistemas de Lodo Ativado e Biodigestão.	39
Tabela 10.a. Indicadores específicos para os sistemas de Lodo Ativado e Biodigestão.	40
Tabela 10.b. Comparação dos indicadores específicos de BJÖRKLUND et al. (2001) e o sistema de Lodo Ativado deste estudo.	41
Tabela 11 – Cálculo da PE e da Cc dos sistemas de tratamento de esgoto por Lodo Ativado e por biodigestão segundo a proposta de ZHAO et al., 2004.	43
Tabela 12. Ranqueamento dos países por desempenho ambiental para instalação dos sistemas de tratamento de esgoto estudados.	44
Tabela 13. AS _r dos sistemas de tratamento de esgoto por Lodo Ativado e por Biodigestão segundo a proposta de BROWN e ULGIATI (2001).	45
Tabela 14. Emergia renovável real (R) e ideal (R*) para os sistemas de tratamento de esgoto por Lodo Ativado e por Biodigestão segundo a proposta de BROWN e ULGIATI (2001).	45
Tabela 15. Áreas diretas e indiretas dos sistemas de tratamento de efluentes de Lodo Ativado e Biodigestão.	46
Tabela 16. Área de Suporte dos sistemas de tratamento por Lodo Ativado e Bioigestão.	48
Tabela 17. Comparação de áreas.	49
Tabela 18. Emergia re-irradiada por m ³ de efluente tratado.	52
Tabela 19. Pegada Ecológica dos sistemas estudados, de acordo com os indicadores utilizados.	52
Tabela 20. Tabela dos indicadores utilizados no estudo, por grupo.	52

Lista de Figuras

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
Figura 1. Vista lateral da ETE Lodo Ativado (planta cedida pela SAAEG).	4
Figura 2. Fluxograma de massa mostrando os principais fluxos da Estação de Tratamento de Lodo Ativado.	5
Figura 3. Planta baixa do Biodigestor e Filtro.	7
Figura 4. Fluxograma de massa da Estação de Tratamento de Efluente com Biodigestor.	7
Figura 5. Símbolos para utilização nos diagramas emergéticos.	9
Figura 6. Diagrama de Energia da Estação de Tratamento de Efluente de Lodo Ativado.	24
Figura 7. Diagrama de Energia da Estação de Tratamento de Efluente do Biodigestor.	27
Figura 8. Triângulo emergético ternário dos sistemas de Lodo Ativado e Biodigestor, com e sem a consideração dos serviços ambientais.	31
Figura 9. Lodo Ativado sem serviços ambientais.	35
Figura 10. Lodo Ativado sem serviços ambientais considerando 70% sej/sej de Mão de obra e 67% sej/sej de Energia Elétrica renováveis.	35
Figura 11. Lodo Ativado com serviços ambientais.	36
Figura 12. Lodo Ativado com serviços ambientais considerando 70% sej/sej de MO e 67% sej/sej de EE como R.	36

Figura 13. Biodigestor com e sem sistemas ambientais.	36
Figura 14. Biodigestor considerando 70% sej/sej de Mão de obra e 67% sej/sej de Energia Elétrica renováveis	36
Figura 15. Diagrama emergético ternário dos sistemas de Lodo Ativado e Biodigestor, com e sem a consideração dos serviços ambientais e considerando as frações renováveis dos fluxos de energia elétrica e mão de obra.	38
Figura 16 – Área Direta, indireta e área de suporte para os sistema de tratamento de efluentes de Lodo Ativado e Biodigestão pelas abordagens de GEBER e BJORKLUND (2001) e ULGIATI e BROWN (2002).	50

Lista de Abreviações e Símbolos

%R	Porcentual de recursos renováveis (Renovabilidade)
A	Atmosfera
A _D	Área Direta
A _I	Área Indireta
ALGA	Sistema de Tratamento de Efluente Doméstico com Microalgas
A _P	Área Total do País
A _{RE}	Área Necessária para Prover Recursos de Absorção da Re-irradiação
AS	Área de Suporte
AS _r	Área de Suporte Renovável
A _T	Área Total da Terra
BIO	Biodigestor
C _c	Capacidade de Carregamento
CSA	Com Serviços Ambientais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
E _C	Energia Cinética do Vento
E _I	Energia Irradiada
EIR	Investimento Emergético (<i>Emergy Investment Ratio</i>)
ELR	Índice de Carga Ambiental (<i>Environmental Loading Ratio</i>)
ELR _r	Índice de Carga Ambiental de uma região específica
Em	Energia
Em _P	Energia Total do País
Emp _d	Razão Entre a Emergia Renovável da Região Pela sua Área
Em _T	Energia Total da Terra
E _R	Energia Re-irradiada
ESI	Índice de Sustentabilidade (<i>Environmental Sustainability Indice</i>)
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EYR	Rendimento Emergético (<i>Emergy Yield Ratio</i>)
F	Recurso Proveniente da Economia
g/y	Razão Entre o Percentual da Área da Terra da Região Geográfica Estudada
GEE	Gases de Efeito Estufa
H	Hidrosfera
I	Recursos obtidos localmente (R + N)
J	Joule
L	Litosfera
LA	Lodo Ativado
m ₁	Massa de Poluente Emitido
m ₂	Massa de Poluente na Atmosfera
N	Recurso Não Renovável
NSI	Índice de Não Sustentabilidade
OIA	O Instituto Ambiental

PCI	Poder Calorífico Inferior
PE	Pegada Ecológica
R	Recurso Renovável
R^-	Energia Renovável Desejável para o Sistema
R_2	Recurso Renovável Empregado na Diluição de Poluentes
SAAEG	Saneamento Autônomo de Águas e Efluentes de Guaratinguetá
sej	Joule de Energia Solar (<i>solar emergy joules</i>)
SSA	Sem Serviços Ambientais
TP+CW	Terras Alagadas Complementado com Insumos Químicos e Maquinários (<i>Treatment Plant + Chemical Wetland</i>)
Tr	Transformidade
Tr_1	Transformidade do Poluente Dissipado
USAID	Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional
V	Velocidade do Vento
WWTP	Sistema de Tratamento em Planta Convencional (<i>Waste Water Treatment Plant</i>)
Y	Energia Total (Saída do Sistema)

Observação

Os termos em línguas estrangeiras constantes neste trabalho estão grafados em *itálico*, a não ser quando em referências bibliográficas.

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados obtidos na comparação de sistemas de tratamentos de efluente domiciliar pela contabilidade emergética. Foram comparados dois sistemas: o primeiro utiliza um sistema de Biodigestão instalado na Comunidade Independência em Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro e o segundo opera com sistema de Lodo Ativado na Estação de Tratamento de Efluente – Campo Galvão, na cidade de Guaratinguetá, Estado de São Paulo. Os indicadores utilizados foram divididos em quatro grupos. No primeiro grupo estão os indicadores tradicionais propostos por ODUM (1996), no segundo os indicadores de desempenho, específicos para avaliar tratamentos de esgoto. No terceiro e quarto grupos, avaliou-se os dois sistemas com o emprego de indicadores que estabelecem uma relação entre a energia e a Pegada Ecológica. Nestes dois últimos grupos, foi possível não só comparar o uso de recursos pelos dois sistemas de tratamento de esgoto, mas também avaliar o alcance deste tipo de indicador. Da análise dos indicadores do primeiro grupo, que considera a renovabilidade da mão de obra e da eletricidade no Brasil, conclui-se que o sistema de biodigestão utiliza melhor os recursos de entrada. Os indicadores de desempenho para sistemas de tratamento de esgoto indicam que o sistema de biodigestão é mais eficiente que o de lodo ativado para reduzir a mesma quantidade de DBO. Os indicadores do terceiro e quarto grupos mostraram que a Pegada Ecológica do sistema de lodo ativado é 400 vezes maior que a do Biodigestor para cada m³ de esgoto tratado.

Palavras chave: Energia Efluente Lodo Ativado Biodigestor Indicadores de Sustentabilidade.

Abstract

The results obtained from the comparison of two municipal sewage treatment systems by means of emergy accounting are presented. The first system uses a biodigester installed at Comunidade Independência in Petrópolis, State of Rio de Janeiro and the second one works with activated sludge at the Effluent Treatment Station – Campo Galvão in Guaratinguetá, State of São Paulo. Indices employed were divided in four groups. In the first group, traditional indices proposed by ODUM (1996) were set, while the second group brings performance indicators, specific for sewage treatment units. With the third and the fourth groups, both sewage treatment units were assessed employing indices relating emergy with the Ecological Footprint. In this case, it was possible to evaluate not only the treatment units' environmental performance, but also the use of this kind of indicator. From the analysis of the indices from the first group, which considers the renewability of Brazilian labor and electricity, it was concluded that biodigestion uses more efficaciously its inputs. Performance indicators showed that biodigestion treatment units are more efficient in reducing DBO. Indices obtained from the third and fourth groups showed that the Ecological Footprint of activated sludge treatment unit is 400 times greater than that of the biodigester for each m³ of treated sewage.

Keywords: Emergy, Sewage, Activated Sludge, Biodigester, Sustainability Indices.

1. Introdução

1.1. Evolução histórica da coleta e transporte de efluente domiciliar

A Cloaca Máxima de Roma, construída no século VI antes de Cristo, é o mais conhecido canal subterrâneo para o esgotamento sanitário. Nessa época, a conexão direta das residências a esse conduto, não era prática generalizada, devido ao fato de que a saúde pública era pouco reconhecida e o saneamento obrigatório era considerado como uma violação do direito privado.

Estruturas similares aos drenos romanos foram utilizadas na Europa medieval. Porém, o lançamento de excretos humanos nesses condutos era terminantemente proibido, de modo que, os excretos eram dispostos nas ruas, até que a chuva ou lavagem das ruas os levasse para condutos de drenagem pluvial e os descarregassem no curso de água mais próximo.

Ao longo do tempo, o crescimento das comunidades, particularmente no continente europeu levou a uma situação em que a disposição dos excretos das populações se tornou impraticável. Isto levou ao uso de privadas onde os excretos se acumulavam apresentando problemas de odores e procriação de vetores transmissores de doenças. Embora a privada com descarga hídrica tivesse sido inventada em 1596, o uso generalizado demorou bastante para ocorrer. O seu uso, juntamente com as epidemias ocorridas no século XIX, foram fatores fundamentais para que a coleta e afastamento de efluentes merecessem a adequada atenção das autoridades, uma vez que a utilização das privadas hídricas é uma alternativa ao uso de privadas comuns, com a vantagem de afastarem os excretos para longe de sua origem, em um local onde possam ser tratados.

Seguindo a prática romana, os primeiros sistemas de coleta de água, tanto na Europa como nos Estados Unidos, foram construídos para coleta e transporte de águas pluviais. Foi somente em 1815 que se autorizou, em Londres, o lançamento de efluentes domésticos nas galerias de águas pluviais e, em 1847, tornou-se compulsório o lançamento de todas as águas residuais das habitações nas galerias públicas de Londres. Surgiu, então, o sistema combinado ou unitário de esgotamento, uma rede única de efluentes para águas servidas e águas pluviais.

Essa técnica de esgotamento foi aplicada pelos ingleses em cidades de outros países, como o Rio de Janeiro e Nova Iorque, em 1857, Recife em 1873, Berlim em 1874 e São Paulo, em 1883.

1.2 Atualidade

Segundo VON SPERLING (1996), os sistemas de tratamento de efluentes mais utilizados na atualidade são:

- ✓ Reator anaeróbico de manta de lodo (UASB), que exige baixa demanda de área, um custo reduzido de construção e operação, não consome energia elétrica, tem baixa produção de lodo e a eficiência na redução de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) está entre 60 e 90%.
- ✓ Lagoa anaeróbica, uma lagoa facultativa que apresenta produção reduzida de lodo, não consome energia elétrica, necessita de tratamento em conjunto com a lagoa facultativa e a sua eficiência na redução de DBO está entre 70 e 90%.
- ✓ Lagoa facultativa: necessita de pouca manutenção, tem baixo custo na operação, necessita de grandes áreas, não consome energia elétrica e sua eficiência na redução de DBO está entre 70 e 90%.
- ✓ Lagoa aerada facultativa, seguida de lagoa de decantação, que apresenta alto consumo de energia elétrica para aeração artificial, tem baixa produção de lodo e a sua eficiência na redução de DBO está entre 70 e 90%.
- ✓ Lodo ativado, o sistema mais difundido, apresenta grande consumo de energia elétrica para aeração artificial, tem grande produção de lodo e sua eficiência na redução de DBO está entre 85 e 98%.
- ✓ Biodigestão, não consome energia elétrica, não demanda uma grande área, apresenta baixa produção de lodo e sua eficiência na redução de DBO está entre 85 e 93%.

1.3 Sistemas estudados

Foram escolhidos dois sistemas de tratamento de efluentes para esta análise, um por Lodo Ativado, por ser o mais utilizado no Brasil, e outro por Biodigestão, por representar um sistema com possibilidade de ser utilizado em pequenas comunidades isoladas e ser o modelo mais difundido na China e Índia (SGANZERLA, 1983).

O tratamento de efluente por lodo ativado foi adotado no Brasil na década de 60, com o apoio da Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID). Neste tipo de tratamento, utilizam-se tanques de aeração, de sedimentação e adensadores.

O sistema de biodigestão foi instalado no Brasil pela primeira vez no ano de 1979, com uma unidade instalada na Granja do Torto em Brasília, que continua em atividade (SGANZERLA, 1983). Utilizam-se tanques de biodigestão e filtros.

Optou-se, neste trabalho, por estudar os sistemas da forma como estão instalados e operantes. Foram desta forma, considerados dentro dos limites dos sistemas o recolhimento de lodo no sistema de Campo Galvão (Lodo Ativado) e a queima de biogás no sistema de Biodigestão. A representação das fronteiras dos sistemas é mostrada nas figuras 6 e 7.

1.4 Estação de Tratamento por Lodo Ativado

A estação de tratamento de efluente estudada situa-se na cidade de Guaratinguetá, região do Vale do Paraíba, cone leste paulista, dista 163 km da Capital do Estado, pertence a SAAEG – Saneamento Autônomo de Águas e Efluentes de Guaratinguetá. A estação trata do efluente residencial de 9.985 habitantes do Bairro Campo Galvão utilizando o sistema de Lodo Ativado.

O tratamento de efluente com Lodo Ativado (Fig. 1) é um dos métodos mais utilizados no país. O lodo, por aeração e agitação, torna-se flocoso e acumula uma grande quantidade de bactérias aeróbicas, alguns protozoários e metazoários que juntos oxidam a matéria orgânica presente no efluente.

No sistema de Lodo Ativado por agitadores, o lodo absorve as matérias coloidais e

as que se encontram em suspensão no efluente. Um sistema Hi-Cone, composto por um tubo vertical de subida central e um rotor gigante em sua extremidade superior, descarrega a mistura sob forma de uma lâmina fina na superfície do tanque dando origem à agitação e à circulação do mesmo. Esse sistema opera durante 8 horas para realizar o processo de aeração do efluente. A aeração da mistura “efluente-lodo” passa por um decantador, onde o lodo é sedimentado e o efluente líquido é retirado, 13% da massa do lodo decantado retorna continuamente ao tanque de aeração para realimentar de lodo o sistema, enquanto os 87% restantes da massa do lodo são enviados para um tanque de adensamento, de onde são encaminhados a seu destino final (aterro sanitário). Segundo STEEL (1966), o consumo de ar livre varia de 3 a 10 litros, na pressão atmosférica, por litro de efluente, para satisfazer 100 mg/l de DBO no efluente que entra no tanque de aeração.

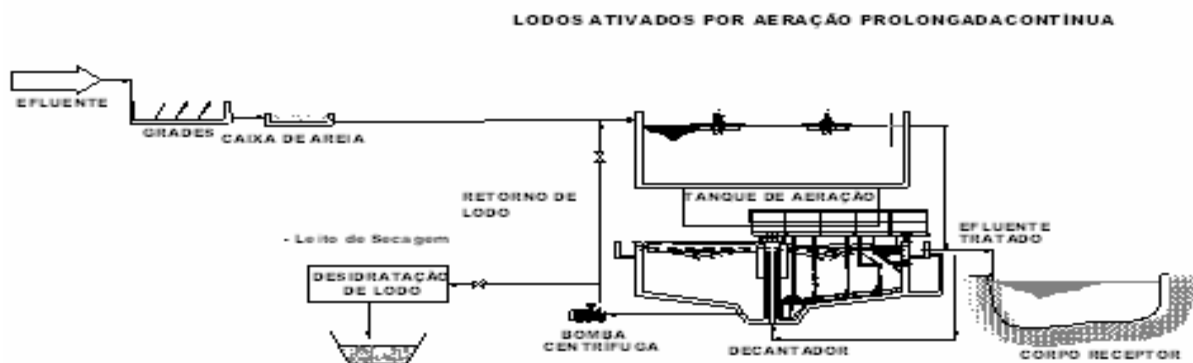


Figura 1. Vista lateral da ETE Lodo Ativo (planta cedida pela SAAEG)

Na figura 2 é apresentado o fluxograma de massa da estação de tratamento de efluente de Lodo Ativo, que mostra a quantidade de água que circula no sistema, no período de um ano.

O volume anual de efluente tratado é de 504.576 m³. O efluente é enviado a 4 tanques de aeração abertos, que recebem uma precipitação anual de 377,86 m³ e tem uma perda anual com evaporação de 124,16 m³ em volume de água evaporada; resultando em 504.829,7 m³ de efluente aerado. Este é acondicionado em 4 tanques

de decantação, onde fica em repouso para que o lodo se deposite em seu fundo. Parte do lodo, 157,43 m³ (13% m³/m³) volta ao tanque de aeração favorecendo o processo de tratamento do efluente por aeração. Esses tanques recebem uma precipitação anual de 212,54 m³ e tem uma perda anual de evaporação de 69,84 m³. O efluente tratado é liberado em um rio e o lodo, 1.210,98 m³ (87% m³/m³), é enviado a dois tanques adensadores, que acondicionarão este lodo até o embarque ao seu descarte final (aterro sanitário). Os adensadores ainda recebem anualmente 23,62 m³ de água por precipitação e perdem 8,73 m³ por evaporação, resultando num descarte anual de 1.226,84 m³ da mistura lodo + água. A quantidade de metano emitida é de 2,58x10⁴ kg (Anexo B). Esta quantidade foi representada na figura 2 apenas no tanque de aeração, mas refere-se à emissão de metano de todo o processo de tratamento. Estas quantidades estão associadas a um ano de operação do sistema.

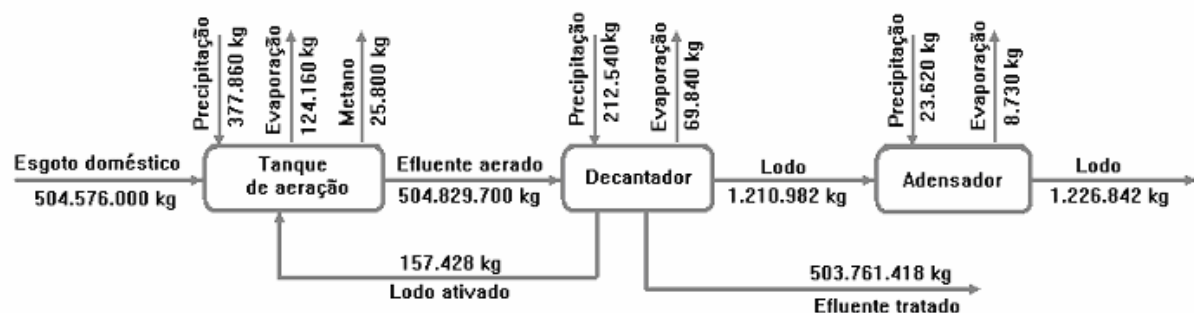


Figura 2. Fluxograma de massa mostrando os principais fluxos da Estação de Tratamento de Lodo Ativo (Cálculos Anexo A). A quantidade de metano está calculada no anexo B.

1.5 Estação de Tratamento por Biodigestão

Atualmente, este tipo de sistema vem sendo instalado em granjas de aves e de criação de suínos, onde além de tratarem o seu resíduo, disponibilizado como fertilizante após a biodigestão, possibilita o aproveitamento do biogás, que alimenta motores gerando energia elétrica para utilização em suas instalações.

Comunidades desprovidas de saneamento básico, também utilizam a biodigestão

com o intuito de melhorar seu entorno, tratando o efluente e ainda produzindo o biogás utilizado para cocção em creches locais.

A estação de tratamento de efluente estudada situa-se na cidade de Petrópolis, região Serrana do Rio de Janeiro, dista 65 km da capital do Estado e pertence à Comunidade Independência. A estação é administrada com acompanhamento da ONG OIA (O Instituto Ambiental) e trata do efluente residencial de 600 habitantes utilizando o sistema de Biodigestão.

O método de tratamento de efluente por Biodigestão é realizado mediante a coleta e armazenamento do efluente em um biodigestor (Fig. 3). Este sistema é constituído de um digestor (local onde ocorre a digestão do efluente) e um gasômetro (local em que se armazena o biogás). Esse sistema opera durante 24 horas para realizar o processo de digestão do efluente. Como o biodigestor é alimentado ininterruptamente, parte do sobrenadante (efluente que se encontra no nível da tubulação da saída do biodigestor) é deslocada para um filtro biológico, onde são retidos lodos em flutuação e o efluente líquido é liberado como biofertilizante, ou ainda pode ser despejado diretamente num corpo de água. O digestor tem a função de propiciar um ambiente favorável à digestão dos nutrientes, pelas bactérias metanogênicas, que transformam os nutrientes presentes no efluente em biogás (mistura de gás metano, dióxido de enxofre e CO_2). O biogás é empregado na geração de energia para uso na comunidade. Após o tratamento no Biodigestor, a porção líquida do efluente digerido passa por um filtro de pedra antes de ser liberado para um corpo d'água. Um Biodigestor tem o fundo de seu tanque em forma cônica, de modo a armazenar a areia que possa estar contida no lodo.

Um período em torno de cinco anos é necessário para que seja esvaziado o Biodigestor e retirado o lodo presente. Este lodo é utilizado como bio sólido para fertilização de uma horta local. 20% da massa do lodo em fase de digestão com bactérias metanogênicas ativas retornam continuamente ao tanque de digestão.

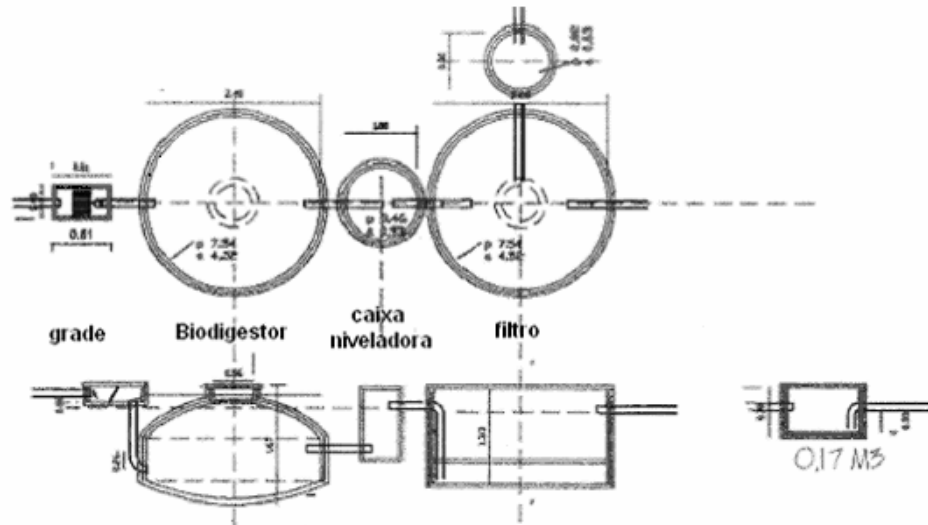


Figura 3. Planta baixa do Biodigestor e Filtro (cedida pela ONG OIA).

Na figura 4 é apresentado o fluxograma de massa da estação de tratamento de efluente por biodigestão, que mostra a quantidade de efluente que circula no sistema, no período de um ano.

O volume anual de efluente tratado é de 30.275 m³. O efluente é enviado a o tanque de biodigestão, entrando pela parte inferior, o que causa a agitação do lodo presente. O efluente sobrenadante é enviado a um filtro biológico para retirada do lodo residual e, então, despejado em um corpo de água.

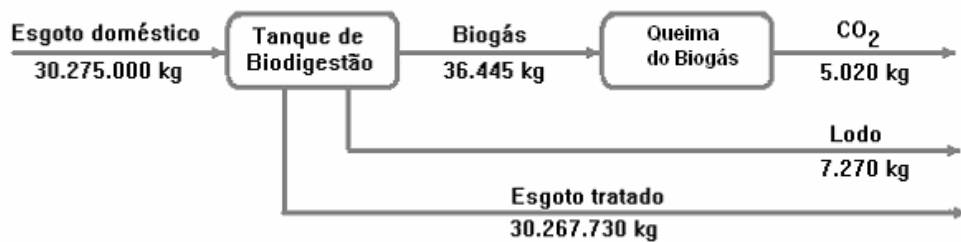


Figura 4. Fluxograma de massa da Estação de Tratamento de Efluente com Biodigestor (Cálculos Anexo A). As quantidades de biogás e CO₂ estão calculadas no Anexo B.

2. Revisão Bibliográfica

Esta revisão bibliográfica é dividida em três partes, a saber:

2.1. A princípio apresenta-se a contabilidade emergética, que é uma metodologia de síntese, pois sintetiza em um único número todos os fluxos de entrada do sistema em uma única unidade de medida, independente de sua origem. Este valor é capaz de resumir o custo ambiental total do sistema estudado.

2.2. A seguir, discutem-se os indicadores ambientais a partir das relações entre as fontes de recursos que interagem em determinado processo.

2.3. Finalmente, são discutidos os artigos encontrados na literatura, que estudam sistemas de tratamento de efluente por meio da contabilidade emergética e utilização de indicadores emergéticos.

2.1. Análise Emergética

ODUM (1996) desenvolveu uma metodologia capaz de avaliar o uso de recursos por um determinado sistema, sejam eles naturais ou antropogênicos. Tal metodologia baseia-se na contabilização da emergia solar, que é a quantidade de energia solar necessária de forma direta ou indireta para se obter um produto e/ou serviço num determinado processo, resultando em um valor numérico sintético, que contém o total da emergia.

Para uma melhor visualização dos fluxos que entram no sistema e podem ser provenientes da economia e do ambiente, ODUM (1996) desenvolveu a construção de diagramas de energia utilizando uma simbologia própria (Fig. 5). Nos diagramas são representados todos os fluxos que compõem o sistema ou processo estudado, sejam eles fluxos de recursos naturais renováveis, de recursos naturais não renováveis ou de recursos provenientes da economia.

Para avaliar diferentes recursos e processos com uma única métrica, ODUM (1996) criou o conceito de transformidade solar, que é a quantidade de emergia solar.

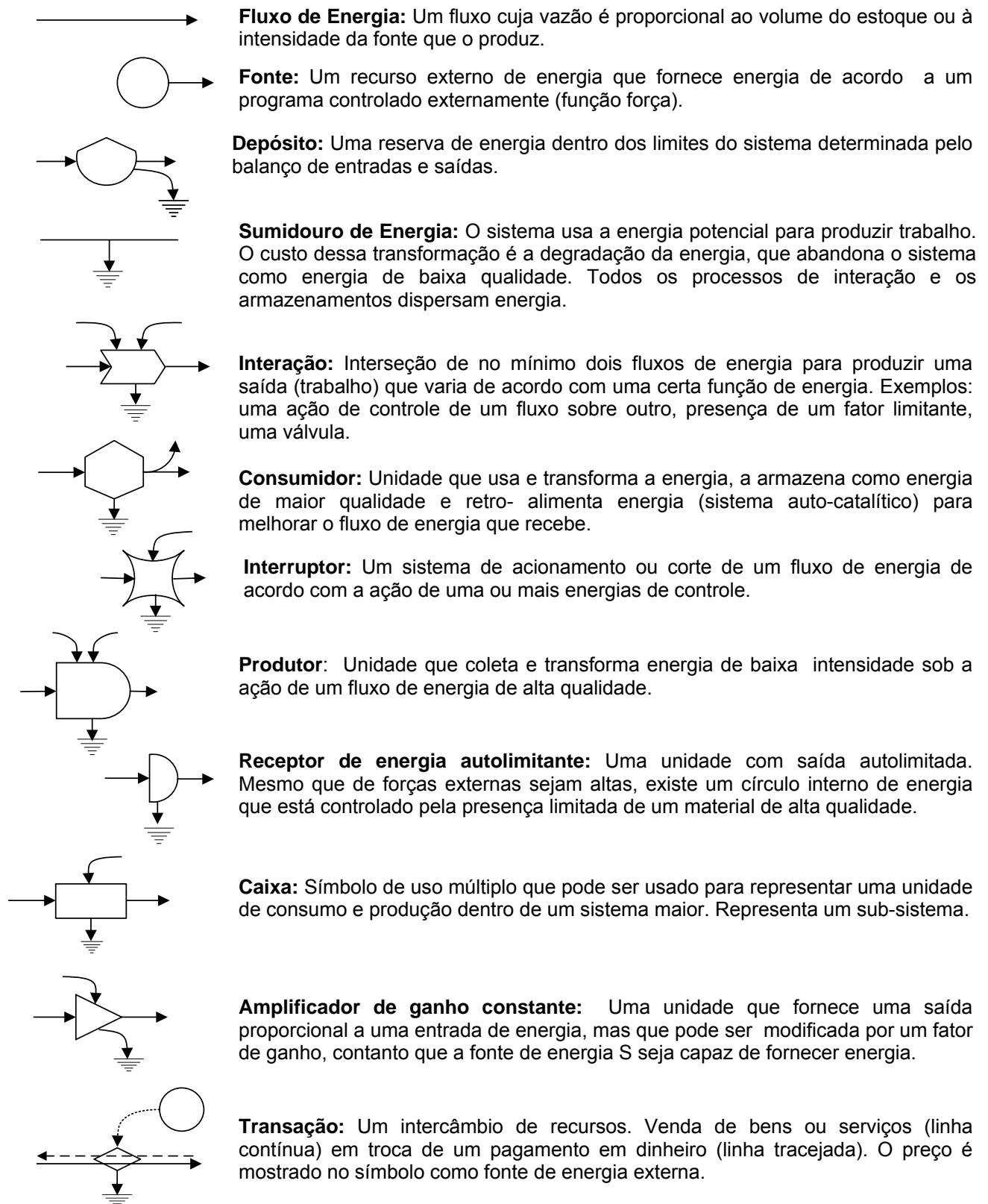


Figura 5. Símbolos para utilização nos diagramas emergéticos (ODUM,1996).

empregada direta ou indiretamente na obtenção de um joule de determinado produto ou serviço (sej/J). Uma vez determinada a transformidade de um certo número de produtos, torna-se possível calcular em cascata a energia solar indireta necessária para se obter outro produto ou processo.

BROWN e MCCLANAHAN (1996) sintetizaram de maneira prática e eficaz as etapas para observação e avaliação de um sistema produtivo com o uso da contabilidade emergética. Identificando as entradas requeridas para a implantação e a operação de cada processo, mostraram como construir um diagrama de energia, as tabelas de energia e como desenvolver a síntese emergética.

GIANNETTI et al. (2006) desenvolveram uma ferramenta gráfica que produz um diagrama triangular equilátero com três variáveis associadas a porcentagens, ao qual atribuem o nome de diagrama emergético ternário. Desta forma, a soma de R, R_2 , N e F (R_2 é acrescido em F, por ser considerado um custo ambiental) será sempre 100%. Com esta restrição, se podem representar três variáveis em duas dimensões.

Cada vértice do triângulo está associado a um fluxo (R, N e F) e os lados do triângulo representam combinações binárias. Combinações de três fluxos são representadas por pontos no interior do triângulo e o valor percentual de cada fluxo é dado pela perpendicular que une o ponto e a lateral oposta ao vértice de interesse. Uma descrição completa da ferramenta gráfica é encontrada em (BARRELLA et al., 2005, ALMEIDA et al. , 2005 e GIANNETTI et al., 2006).

O uso das propriedades dos triângulos equiláteros fornece informações adicionais sobre a dependência da empresa em um determinado tipo de fluxo (R, N ou F), sobre a (eco)eficiência da empresa quanto ao uso de reservas e sobre a eficiência do suporte do ambiente, necessário à operação da empresa. A ferramenta gráfica permite comparar empresas, produtos, processos e serviços, avaliar melhorias e acompanhar a performance do sistema ao longo do tempo. Com o auxílio dos diagramas, podem-se avaliar interações entre empresas ou o desempenho de um setor industrial e as interações da empresa ou do setor com o ambiente.

2.2. Indicadores Ambientais

Utiliza-se neste trabalho os indicadores calculados à partir da síntese emergética. Estes indicadores são utilizados neste estudo para a análise dos sistemas de efluente de Biodigestão e Lodo Ativado.

ODUM (1996) desenvolveu e aplicou o índice de rendimento emergético (EYR, *emergy yield ratio*), o índice de investimento emergético (EIR, *emergy investment ratio*), o índice de carga ambiental (ELR, *environmental loading ratio*) e o percentual de energia renovável (%R, *percent local renewable*), que fornecem informações importantes sobre o desenvolvimento e a operação de sistemas produtivos, considerando a capacidade de carga do ambiente. Por meio dos fluxos que entram no sistema, avaliam-se os indicadores emergéticos do sistema de produção, enfatizando a interação entre o sistema e o ambiente em que está inserido.

ULGIATI e BROWN (1998), desenvolveram o índice de sustentabilidade (ESI, *environmental sustainability indice*). As reservas utilizadas na obtenção dos produtos e componentes do sistema produtivo, constituem relações que são avaliadas por meio do índice de sustentabilidade emergética (EYR/ELR), considerando insumos disponíveis localmente, aqueles importados de fora do sistema e a fração de insumos renováveis e não renováveis. Um alto valor deste índice indica alto rendimento emergético, ou alta contribuição do processo ao sistema em que está inserido, associado a uma baixa carga ambiental.

TIEZZI e MARCHETTINI (1999) desenvolveram o índice de não sustentabilidade (NSI, *not environmental sustainability indice*), definido como a multiplicação entre transformidade e impacto ambiental, que facilita a visualização das diferenças entre processos, por se tratarem de valores maiores. Este indicador foi utilizado em um trabalho que descreve o índice das Comunas da Itália para produção de vinho.

BJÖRKLUND et al. (2001) utilizaram os indicadores de energia per capita, energia/kg reduzido de DBO, energia por uso de área em m², energia renovável por kg de DBO, área direta e indireta, na comparação entre três sistemas de tratamento de efluente doméstico na Suécia. Estes indicadores são específicos para sistemas de tratamento de esgoto e permitem comparar o desempenho de processos alternativos.

ULGIATI e BROWN (2002) calculam a Área de Suporte (As) necessária para a diluição dos poluentes liberados na geração de energia elétrica em cinco sistemas distintos (carvão, geotérmico, hidroelétrico, biogás e óleo), com base na razão entre a energia necessária para diluição e a densidade emergética do planeta. A opção de converter os valores de energia em valores de área, também utilizada de forma semelhante por BJÖRKLUND et al. (2001) e permite associar os resultados da síntese emergética com a Pegada Ecológica (REES e WACKERNAGEL, 1996). É importante ressaltar que a área indireta calculada por BJÖRKLUND et al. (2001), refere-se à área que seria utilizada pelo sistema se todos os fluxos importados fossem locais e renováveis. Já a área de suporte calculada por ULGIATI e BROWN (2002) refere-se à área global necessária para absorver ou diluir os poluentes emitidos pelo sistema.

O cálculo de ULGIATI e BROWN (2002), entretanto, não leva em conta o tempo de permanência dos poluentes na biosfera. TIEZZI et al. (1995) realiza o cálculo da energia re-irradiada pelos GEE (Gases de Efeito Estufa) gerados na queima de carbono para geração de energia. Desta forma, pode-se adicionar à energia total do sistema aquela associada ao trabalho da natureza para re-equilibrar o sistema. No caso de gases de efeito estufa, a energia associada à manutenção da temperatura do planeta.

Utilizando a síntese emergética, ZHAO et al. (2004) propõem um cálculo de Pegada Ecológica (PE) e Capacidade de Carga (Cc) modificadas. Para tanto, a Pegada Ecológica modificada é considerada como a área da região que corresponde ao fornecimento de recursos não renováveis e provenientes da economia ao sistema. A capacidade de carga modificada é associada à área do planeta necessária para o fornecimento de recursos renováveis ao sistema. As duas áreas foram calculadas para a Província de Gansu na China e estabeleceu-se que a diferença entre os dois valores (Cc-PE) indica se o sistema está em débito ou em crédito com a biosfera.

Ainda utilizando a síntese emergética, BROWN e ULGIATI (2001) propõe o cálculo da capacidade de carga para investimentos econômicos, com o nome de Área de Suporte renovável (AS_r), que reflete a área necessária para substituir por recursos renováveis os recursos da economia, os não renováveis e os renováveis para

diluição dos poluentes. Os autores utilizaram este indicador na comparação do desenvolvimento de pólos turísticos do México e de Papua Nova Guiné. Este indicador possibilita ainda o cálculo do fluxo desejável de energia renovável para que o sistema apresente uma boa performance ambiental, na região em que está inserido.

2.3. Trabalhos da literatura relativos à avaliação de sistemas de tratamento de efluente com o emprego da síntese emergética

Como este trabalho se restringe ao tratamento de efluente domiciliar, a seguir serão discutidos todos os artigos encontrados na literatura, nos quais foram realizadas as contabilidades emergéticas deste tipo de processo. Há uma grande quantidade de energia associada ao fluxo dos efluentes, o que por si só, já é um motivo para se tratar o efluente, além do impacto ambiental causado pela descarga destes efluentes sem tratamento em corpos de água. Nesta perspectiva, um grande montante de recursos e tecnologia tem sido investido pela sociedade para estes tratamentos.

Existem apenas três trabalhos na literatura que utilizam a contabilidade emergética para avaliar sistemas de tratamento de esgoto.

BJÖRKLUND et al. (2001), calcularam a transformidade da energia elétrica gerada através do aproveitamento do biogás produzido por um biodigestor instalado na estação de tratamento de esgoto com sistema de tratamento convencional (WWTP, *waste water treatment plant*), na Suécia. Comparando o valor obtido com a transformidade da energia elétrica utilizada no sistema, que é composta por uma parte de energia elétrica de usina nuclear e outra parte por energia elétrica de hidroelétrica, concluíram que se o sistema fosse utilizado para geração de energia elétrica, seria ineficiente, pois a transformidade encontrada é maior do que as de outras fontes de energia elétrica.

GEBER e BJÖRKLUND (2001) realizaram estudos em estações de tratamento de efluente também da Suécia, analisando sistema de WWTP e um sistema de tratamento com utilização de terras alagadas complementado com insumos químicos e maquinários (TP+CW, *treatment plant + chemical wetland*). Neste artigo, os autores utilizam apenas indicadores específicos como a energia por quilograma de

DBO reduzido, para comparar os sistemas. O cálculo das áreas indiretas utilizadas pelos dois sistemas indica que o uso total de área (direta+indireta) é similar para os dois tipos de tratamento.

GRÖNLUND et al. (2004) faz a análise de um sistema de tratamento de efluente doméstico com microalgas (ALGA) e compara com os resultados obtidos por GEBER e BJÖRKLUND (2001), concluindo que o sistema ALGA apresenta melhores resultados nos indicadores emergéticos, por utilizar uma quantidade maior de recursos renováveis que os anteriormente estudados. Na comparação, GRÖNLUND et al. (2004) utilizou o EYR, o ELR, o ESI e o %R, calculados para os seus dados e os de GEBER e BJÖRKLUND (2001), pois estes indicadores apresentam informações sobre a sustentabilidade e dão uma medida de carga ambiental de cada sistema.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa comparar o sistema de tratamento de efluente doméstico por Lodo Ativado e o sistema de tratamento por Biodigestão utilizando como ferramenta a contabilidade emergética e seus indicadores.

3.2 Objetivos específicos

Avaliar os recursos utilizados nos sistemas de tratamento de efluentes.

Calcular indicadores para avaliação dos sistemas de tratamento de efluentes.

Avaliar a sustentabilidade dos sistemas estudados com o uso de indicadores.

Verificar o alcance dos indicadores emergéticos na avaliação dos sistemas estudados.

Avaliar os serviços do meio ambiente para diluição das emissões de cada sistema.

Discutir o uso da fração renovável dos recursos no cálculo dos indicadores.

Comparar os sistemas quanto à sua contribuição ao meio ambiente.

Calcular a Pegada Ecológica Modificada dos sistemas com e sem a inclusão dos serviços do ambiente para diluição dos poluentes.

4. Metodologia

A Emergia (memória energética) é utilizada como ferramenta do presente estudo com base nos conceitos apresentados por ODUM (1996). O valor da emergia total incorpora todos os recursos e serviços utilizados para obtenção de um produto, processo ou serviço, sejam estes recursos provenientes do meio ambiente ou da economia. Para a análise, são construídos diagramas de energia para identificar todos os fluxos de material e energia que constituem o sistema. Esta metodologia utiliza uma álgebra própria com a qual é possível calcular indicadores a partir das relações entre as fontes de recursos, identificadas no diagrama de energia, que compõem o sistema estudado. A unidade da emergia é o joule de emergia solar, que permite contabilizar os fluxos provenientes do meio ambiente e da economia com uma base comum, seja (*solar emergy joules*). A transformidade, *sej/J (solar emergy joule per joule)*, define a quantidade de emergia (sej) necessária para a obtenção de um joule de um produto ou serviço, seja ele natural ou antropogênico. Uma vez determinada a transformidade de um produto, torna-se possível calcular a energia solar direta e indireta necessária para sua obtenção.

A contabilidade considera tanto os recursos utilizados para a implantação dos processos como aqueles empregados durante sua operação.

Para a obtenção dos dados necessários para a contabilidade ambiental, foram realizadas visitas técnicas nas estações de tratamento de efluente de Lodo Ativado em Campo Galvão e Biodigestão na Comunidade Independência, onde foram observados as instalações e os procedimentos de operação dos dois sistemas. Foram coletados os valores de todos os fluxos de entrada dos sistemas, com base em informações cedidas por engenheiros da SAAEG, do presidente da ONG OIA, em plantas dos empreendimentos e em documentos cedidos pelos responsáveis pelas estações de tratamento de efluente, desconsiderando o lodo inicial de inoculação de cada um dos sistemas.

A maioria das transformidades e as emergias por massa utilizadas neste trabalho foi retirada da literatura (Tabela 1).

Tabela 1. Transformidades e Energia por massa usadas neste estudo.

Item	Energia por unidade	Unidade	Referências
Sol	1,00	sej/J	Por definição
Energia Cinética do Vento	$1,50 \times 10^3$	sej/J	BROWN e ULGIATI, 2002
Uso do solo	$2,21 \times 10^4$	sej/J	ROMITELLI, 2001
Calor Geotérmico	$3,40 \times 10^4$	sej/J	ODUM, 1996
Diesel	$6,60 \times 10^4$	sej/J	ODUM, 1996
Evaporação	$1,45 \times 10^5$	sej/g	BUENFIL, 2001
Precipitação	$1,57 \times 10^5$	sej/g	BUENFIL, 2001
Energia Elétrica	$1,65 \times 10^5$	sej/J	ODUM, 1996
Mão de Obra	$4,30 \times 10^6$	sej/J	CÁLCULO DESTE TRABALHO*
Aterro Sanitário	$3,79 \times 10^7$	sej/g	BROWN e BURANAKARN, 2003
Oxigênio	$5,16 \times 10^7$	sej/g	ULGIATI e BROWN, 2002
Concreto armado	$1,54 \times 10^9$	sej/g	BROWN e BURANAKARN, 2003
Cobre	$2,00 \times 10^9$	sej/g	BROWN e ULGIATI, 2002
Tijolo	$2,52 \times 10^9$	sej/g	GEBER e BJÖRKLUND, 2001
Aço	$2,77 \times 10^9$	sej/g	ULGIATI et al., 1994
Motores e Bombas	$4,10 \times 10^9$	sej/g	GEBER e BJÖRKLUND, 2001
Plástico	$5,87 \times 10^9$	sej/g	GEBER e BJÖRKLUND, 2001

* Tabela A-7 no Anexo A

Durante as visitas técnicas foram quantificados todos os materiais, equipamentos e mão-de-obra para implantação e operação dos sistemas. Realizou-se, também, a contabilidade dos serviços do ambiente, como insolação (CRESESB, 2005), evaporação (APASC, 2005), precipitação (CPTEC, 2005), a quantidade de oxigênio necessária para redução da carga de DBO (STEEL, 1966) e o índice do fluxo geotérmico (GOMES e HAMZA, 2003).

Os fluxos de entrada de cada sistema de tratamento de efluente foram classificados em quatro categorias: renováveis (R), renováveis para diluição de poluentes (R_2), não renováveis (N) e provenientes da economia (F) e são mostrados separadamente nas tabelas considerando duas etapas: (i) fase de implantação e (ii) fase de operação.

Foram utilizados quatro grupos de indicadores emergéticos para a comparação entre os sistemas.

4.1. Primeiro grupo de indicadores

No primeiro grupo foram utilizados os indicadores desenvolvidos por ODUM (1996): o rendimento emergético (EYR), o investimento emergético (EIR), o índice de carga ambiental (ELR). Além destes indicadores foram também calculados: o índice de sustentabilidade (ESI) e o índice de não sustentabilidade (NSI). O ESI, proposto por ULGIATI e BROWN (1998), apresenta a razão entre EYR e ELR. Já o índice de não sustentabilidade (NSI), introduzido por TIEZZI (1999) apresenta o produto da transformidade ou energia por massa e ELR e indica o estresse ambiental de cada unidade de produto ou serviço. O percentual de energia renovável (%R) também é utilizado para comparar os processos de tratamento de efluente domiciliar. A Tabela 2 mostra as equações para o cálculo dos indicadores, assim como uma breve descrição de sua utilização.

Ainda utilizando este grupo de indicadores, podem-se contabilizar os serviços do meio ambiente utilizados pelo sistema estudado para absorver ou diluir os poluentes gerados. Neste caso, o fluxo (R_2) considerado um custo ambiental é somado ao fluxo F. As equações de 1 a 6, na tabela 2 mostram o cálculo dos indicadores do grupo um que considera aos serviços do meio ambiente.

Utilizando os valores dos fluxos (R, N, F e R_2) dos sistemas estudados, é possível aplicar o diagrama ternário (BARRELLA et al., 2005, ALMEIDA et al., 2005 e GIANNETTI et al., 2006) para realizar a comparação entre o sistema de tratamento de Lodo Ativado e o de Biodigestão.

4.2. Segundo grupo de indicadores

Um segundo grupo de indicadores foi, também, empregado para avaliar os processos neste estudo. Estes indicadores foram utilizados por BJÖRKLUND et al. (2001) para avaliar plantas de tratamento de efluente na Suécia. Para cada sistema estudado, estes pesquisadores avaliaram a energia per capita, que apresenta a razão entre a energia total do sistema (Y) e o número de habitantes servidos pelo processo. A energia por kg reduzido de DBO apresenta a razão entre Y e a redução de DBO realizada pelo processo e, como no exemplo anterior, indica uma menor eficiência para valores maiores. A energia por uso de área em m^2 apresenta a razão

entre Y e a área necessária para a instalação e operação do processo, chamada densidade emergética. Quanto maior a densidade emergética, melhor será o aproveitamento da área utilizada pelo processo. A energia renovável por kg de DBO apresenta a razão entre R e a redução de DBO realizada pelo processo, indica a quantidade de energia proveniente de fontes renováveis envolvida na redução do DBO e quanto maior este valor, menor a eficiência do processo.

Tabela 2. Indicadores emergéticos do primeiro grupo.

Descrição	Indicador	Equação	
Rendimento emergético é a relação entre a energia total (Y) e a energia dos insumos (F). É um indicador da energia líquida que o sistema gera, pois fornece a habilidade do processo para explorar recursos locais provenientes da natureza, sejam renováveis ou não. O valor mínimo é a unidade, que ocorre quando a contribuição da natureza é nula ($R+N = 0$). A diferença do valor unitário mede a contribuição do meio ambiente.	EYR	$Y/(F+R_2)$	(1)
		onde	
		$Y = R + R_2 + N + F$	
Investimento emergético: mede o investimento da sociedade no sistema em relação à contribuição da natureza; avalia se o processo usa adequadamente os recursos locais. Um índice baixo indica que o ambiente provê mais recursos para o processo que a economia (materiais e serviços). Pode medir o desenvolvimento econômico. ODUM (1996) menciona que, em países desenvolvidos, o EIR tende a ser 7 ou maior.	EIR	$(F+R_2)/(N+R)$	(2)
Índice de Carga Ambiental: Mede a proporção de recursos não renováveis em relação aos renováveis para um dado processo produtivo; é um indicador da tensão que a atividade produtiva analisada produz no ecossistema.	ELR	$(N + F+R_2) / R$	(3)
Índice de Sustentabilidade: Mede a taxa de sustentabilidade. Valores maiores indicam sustentabilidade por períodos de tempo maior. Um sistema para ser considerado sustentável por longo prazo deve ter uma baixa carga ambiental e alto rendimento emergético.	ESI	EYR/EIR	(4)
Índice de não sustentabilidade: Mede a não sustentabilidade, valores menores são desejáveis para o sistema. Valores de transformidade e de carga ambiental maiores indicam baixa eficiência e alto estresse ambiental. Neste trabalho Tr é a energia por volume de efluente tratado.	NSI	Tr x ELR	(5)
		Onde	
		$Tr=Y/m^3$	
Percentual de recursos renováveis: Indica a porcentagem de energia que é derivada de fontes renováveis. Os sistemas com alto valor deste índice são mais sustentáveis.	% R	$100 * (R / Y)$	(6)

4.3. Terceiro grupo de indicadores

O terceiro grupo de indicadores estabelece uma relação entre a energia e pegada ecológica. A pegada ecológica (PE), desenvolvida por REES e WACKERNAGEL (1994), associa os recursos utilizados por um sistema à área necessária para o suprimento destes recursos. Fazendo uma analogia à pegada ecológica, ZHAO et al. (2004) associam os fluxos de energia, que também representam os recursos utilizados por um sistema, a uma área. Desta forma, propõem um cálculo de pegada ecológica modificada, que leva em conta os recursos utilizados pelo sistema ($N+F+R_2$) em relação à densidade energética local (Eq. 7). ZHAO et al (2004) propõem ainda o cálculo da Capacidade de Carga modificada (Cc), equação 8, que leva em conta a energia renovável do sistema e a densidade energética do planeta. A diferença entre Cc e PE indica um débito (custo ao planeta) ou crédito (benefício ao planeta) do sistema para com o meio ambiente, de acordo com a equação 9.

$$PE = \frac{(N + F + R_2)}{\frac{Em_P}{A_P}} \quad (7)$$

$$Cc = \frac{R}{\frac{Em_T}{A_T}} \quad (8)$$

$$Cc - PE = \frac{A_T}{Em_T} \times (R - \frac{g}{y} \times (N + F + R_2)) \quad (9)$$

Onde Em_T é a energia total da Terra e A_T é a área da Terra, R é a energia renovável utilizada pelo sistema, $\frac{g}{y}$ é a razão entre o percentual da área da Terra da região geográfica estudada (g) e o percentual de energia da mesma região (y), $(N+F+R_2)$ é a soma da energia não renovável, energia de bens da economia e energia renovável usada para diluição dos poluentes gerados pelo sistema, Em_P é

ao total de energia da região em que está o sistema e A_p é a área desta região (ver tabela C-14, Anexo C).

BROWN e ULGIATI (2001) propõem o cálculo da AS_r que representa a razão entre a somatória dos fluxos de $F+N+R_2$ de um sistema e a densidade emergética da região onde está localizado, resultando na área necessária para o suprimento destes recursos (Eq. 10). Com uma adequação algébrica, é possível indicar qual a quantidade de energia renovável (R^*) que seria necessária para que o sistema tenha uma boa performance ambiental na região em que está inserido (Eq. 11).

$$AS_r = \frac{(F + N + R_2)}{Empd} \quad (10)$$

$$R^* = \frac{(F + N + R_2)}{ELR_r} \quad (11)$$

Onde,

$Empd$ é a densidade de energia renovável da região e ELR_r é o índice de carga ambiental da região. Observa-se que $Empd$ corresponde à razão entre a energia renovável da região pela sua área. O cálculo é similar ao utilizado por ZHAO et al. (2004) e chamado de Pegada Ecológica Modificada. Neste caso, os autores usam somente a densidade emergética renovável do país, enquanto que ZHAO et al. (2004) utilizam a densidade emergética do país, que inclui as entradas de recursos não renováveis e pagos.

4.4. Quarto grupo de indicadores

No quarto e último grupo de indicadores utilizado para avaliar e comparar os sistemas de tratamento de esgoto, se calcula as áreas indiretas (A_i) e de suporte necessárias para a implantação e operação dos sistemas. Estas áreas podem ser associadas ao uso de recursos para operação e implantação (GEBER e BJÖRKLUND, 2001) ou para a diluição dos poluentes (ULGIATI e BROWN, 2002).

Para converter o uso de energia em valores de área indireta, o conteúdo de energia do fluxo F é dividido pelo fluxo de energia renovável do sistema pela área local (Eq. 12). O valor obtido indica a área indireta ocupada pelo sistema, ou seja a área que o sistema ocuparia se utilizasse somente recursos locais renováveis. A área direta corresponde à área real do sistema.

$$A_I = \frac{(F + R_2)}{R/A_D} \quad (12)$$

Onde A_D é a área direta do sistema.

A área de suporte (AS) é calculada pela razão entre o valor dos recursos utilizados pelo meio ambiente para diluir os poluentes (R_2) pela densidade energética (Y/m^2). Divide-se o valor de R_2 tanto pela densidade energética local como pela densidade do planeta. Obtém-se, desta forma, um intervalo das áreas que seriam necessárias para fornecer recursos para a diluição ou absorção dos poluentes gerados (neste trabalho somente é calculada pela densidade do planeta, Eq. 13). No caso dos sistemas de tratamento de esgoto consideraram-se apenas os poluentes gasosos. Desta forma, a energia necessária para diluir o metano e o dióxido de carbono emitidos foi associada à energia cinética do vento (E_c), equação 14, para dissipar estes gases na atmosfera.

$$AS = \frac{R_2}{Em_T/A_T} \quad (13)$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times \frac{m_1}{m_2} \times v^2 \times Tr \quad (14)$$

Onde m_1 é a massa de poluente emitido, m_2 a massa de poluente na atmosfera

(IPCC, 1996), v a velocidade média do vento no planeta (ULGIATI e BROWN, 2002) e Tr é a transformidade do vento (ODUM, 1996).

Para complementar os cálculos relativos ao trabalho do meio ambiente para absorver ou dissipar os poluentes gerados, foi calculada a energia associada à energia re-irradiada (E_R) pelos Gases de Efeito Estufa (Eq. 15), para manter as quantidades de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4) nos níveis de concentração normais (IPCC, 1996). Este cálculo considera o tempo de permanência dos poluentes gerados na atmosfera, que leva à relação de que o metano é 19 vezes (ULGIATI e BROWN, 2002) mais nocivo ao ambiente do que o dióxido de carbono.

$$E_R = Y - E_i \times Tr_1 \quad (15)$$

Onde E_i é a energia irradiada pelo sistema e Tr_1 é a transformidade do poluente dissipado, calculada neste trabalho (ver Tabela C-21, Anexo C).

Para converter estes valores de energia em área necessária para prover recursos de absorção da re-irradiação (A_{RE}), considerou-se a densidade energética global (Eq. 16).

$$A_{RE} = \frac{E_R}{Em_T / A_T} \quad (16)$$

5. Resultados

A análise emergética se inicia com a construção de diagramas de energia utilizando os símbolos da figura 5. A observação dos diagramas auxilia na identificação dos limites estabelecidos para os sistemas estudados, assim como na identificação de seus principais componentes e das interações entre eles. Nos diagramas são identificados todos os fluxos de material, energia e serviços necessários para a operação dos sistemas. A cada fluxo que atravessa as fronteiras dos sistemas é atribuída uma linha nas tabelas de energia para a análise emergética. Vale lembrar que as fronteiras foram estabelecidas, neste estudo de caso, de acordo com a operação real de cada sistema. No sistema de Lodo Ativado considerou-se a quantidade de lodo enviada para o aterro, mas não sua implantação, que se encontra fora dos limites do sistema. Já para o tratamento por Biodigestão, considerou-se a queima do biogás, que é utilizado para complementar as necessidades de gás de uma creche, vizinha ao sistema.

5.1. Estação de Tratamento de Lodo Ativado

O diagrama de energia do sistema de tratamento de efluente da Estação de Lodo Ativado é mostrado na figura 6. No diagrama, podemos observar todos os fluxos de energia que circulam no sistema e as interações do sistema com o meio ambiente.

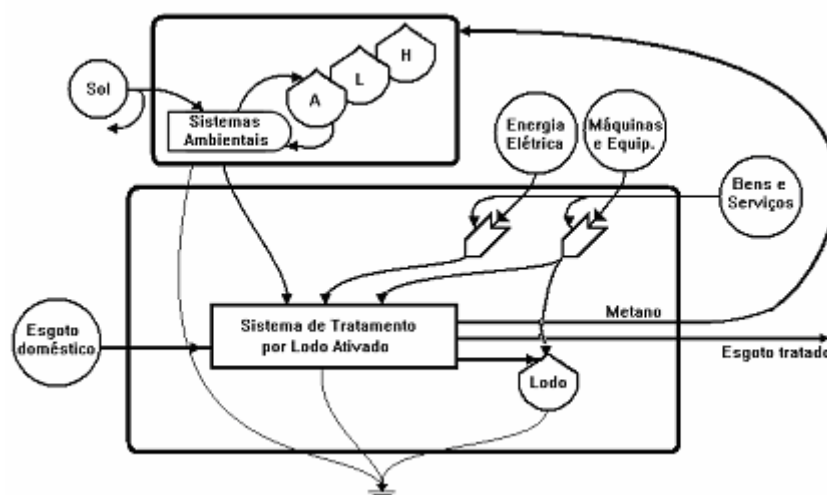


Figura 6. Diagrama de Energia da Estação de Tratamento de Efluente de Lodo Ativado. (A) Atmosfera, (L) Litosfera e (H) Hidrosfera.

A Tabela 3 mostra os fluxos de material e energia que participam do sistema de tratamento de efluente de Lodo Ativado.

Tabela 3. Avaliação da Energia do Tratamento de Efluente de Lodo Ativado (*)

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor	Energia	por	Energia	%	%
				/(un/ano)	/(sej/un)	/(sej/ano)	/(sej/sej)	SSA	CSA
Fase de Implantação									
1	Concreto	g	F	$3,56 \times 10^7$	$1,54 \times 10^9$		$5,48 \times 10^{16}$	11%	8%
2	Motores e Bombas	g	F	$5,40 \times 10^4$	$4,10 \times 10^9$		$2,21 \times 10^{14}$	<1%	<1%
3	Mão-de-obra	J	F	$1,43 \times 10^8$	$4,30 \times 10^6$		$6,15 \times 10^{14}$	<1%	<1%
4	Aço	g	F	$3,18 \times 10^6$	$2,77 \times 10^9$		$8,81 \times 10^{15}$	2%	1%
5	Cobre	g	F	$2,77 \times 10^3$	$2,00 \times 10^9$		$5,54 \times 10^{12}$	<1%	<1%
6	Massa S10 - aço	g	F	$3,21 \times 10^5$	$2,77 \times 10^9$		$8,90 \times 10^{14}$	<1%	<1%
7	Solo ocupado	J	N	$1,05 \times 10^{11}$	$2,21 \times 10^4$		$2,32 \times 10^{15}$	<1%	<1%
Fase de Operação									
8	Diesel p/ transporte do lodo	J	F	$3,50 \times 10^{11}$	$6,60 \times 10^4$		$2,31 \times 10^{16}$	5%	4%
9	Energia Elétrica	J	F	$8,07 \times 10^{11}$	$1,65 \times 10^5$		$1,33 \times 10^{17}$	28%	20%
10	Mão-de-obra	J	F	$1,92 \times 10^{10}$	$4,30 \times 10^6$		$8,26 \times 10^{16}$	17%	13%
11	Aterro Sanitário	g	N	$1,23 \times 10^9$	$3,79 \times 10^7$		$4,66 \times 10^{16}$	10%	7%
12	Sol **	J	R	$7,03 \times 10^9$	1,00		$7,03 \times 10^9$		
13	Evaporação **	g	R	$2,02 \times 10^8$	$1,45 \times 10^5$		$2,93 \times 10^{13}$		
14	Precipitação	g	R	$6,18 \times 10^8$	$1,57 \times 10^5$		$9,70 \times 10^{13}$	<1%	<1%
15	O ₂ para queima completa do diesel	g	R	$2,72 \times 10^7$	$5,16 \times 10^7$		$1,40 \times 10^{15}$	<1%	<1%
16	O ₂ na aeração	g	R	$2,40 \times 10^9$	$5,16 \times 10^7$		$1,24 \times 10^{17}$	26%	19%
17	Energia cinética do vento para diluição do CO ₂	g	R ₂	$5,69 \times 10^{11}$	$1,50 \times 10^3$		$8,35 \times 10^{14}$		<1%
18	Energia Cinética do vento para diluição de CH ₄	J	R ₂	$1,18 \times 10^{14}$	$1,50 \times 10^3$		$1,77 \times 10^{17}$		27%
Energia Total sem os serviços do ambiente							$4,78 \times 10^{17}$		100%
Energia Total com os serviços do ambiente							$6,56 \times 10^{17}$	100%	

(*) Cálculos detalhados Anexos A e B

** Não foram contabilizados para evitar dupla contagem

SSA: Sem Serviços do ambiente, CSA: Com Serviços Ambientais

5.1.1. Contabilidade emergética sem serviços ambientais

A energia total do sistema de tratamento de efluente por Lodo Ativado, sem serviços ambientais tem valor de $4,78 \times 10^{17}$ sej/ano. Quando se exclui o serviço ambiental para diluição dos resíduos gasosos do sistema (CH₄) da contabilidade do sistema, aproximadamente 10% sej/sej de recursos não renováveis são utilizados, 26% sej/sej são de recursos renováveis, 17% sej/sej dos recursos empregados para o

tratamento provêm da mão de obra, 28% sej/sej da energia elétrica necessária para a operação, 11% sej/sej de concreto e aproximadamente 2% sej/sej em aço para motores e construção. O sistema utiliza aproximadamente 23% sej/sej de sua energia total na implantação e 67% sej/sej durante a sua operação.

A unidade funcional adotada foi 1 m³ de efluente tratado e a energia por unidade encontrada foi de $9,48 \times 10^{11}$ sej/m³.

5.1.2. Contabilidade emergética com serviços ambientais

A energia total do sistema de tratamento de efluente por Lodo Ativado, com serviços ambientais tem valor de $6,56 \times 10^{17}$ sej/ano. O sistema utiliza 19% sej/sej de recursos renováveis em sua operação, vindos especialmente da contribuição do oxigênio utilizado na aeração do lodo. Aproximadamente de 7% sej/sej de recursos não renováveis são utilizados. Para a diluição dos poluentes são empregados 27% sej/sej de recursos e os restantes 47% sej/sej dos recursos empregados para o tratamento provêm da economia e são contribuições, principalmente, da energia elétrica necessária para a operação (20% sej/sej) e da mão de obra utilizada (13% sej/sej). O sistema utiliza aproximadamente 16% sej/sej do total de energia em sua implantação e 84% sej/sej em sua operação, sendo a maior parcela o uso de energia elétrica.

A unidade funcional adotada foi 1 m³ de efluente e a energia por unidade encontrada foi de $1,30 \times 10^{12}$ sej/m³.

5.2. Estação de Tratamento por Biodigestão

O diagrama de energia do sistema de biodigestão é mostrado na Figura 7. No diagrama, podem-se observar todos os fluxos de energia que circulam no sistema e as interações do sistema com o meio ambiente.

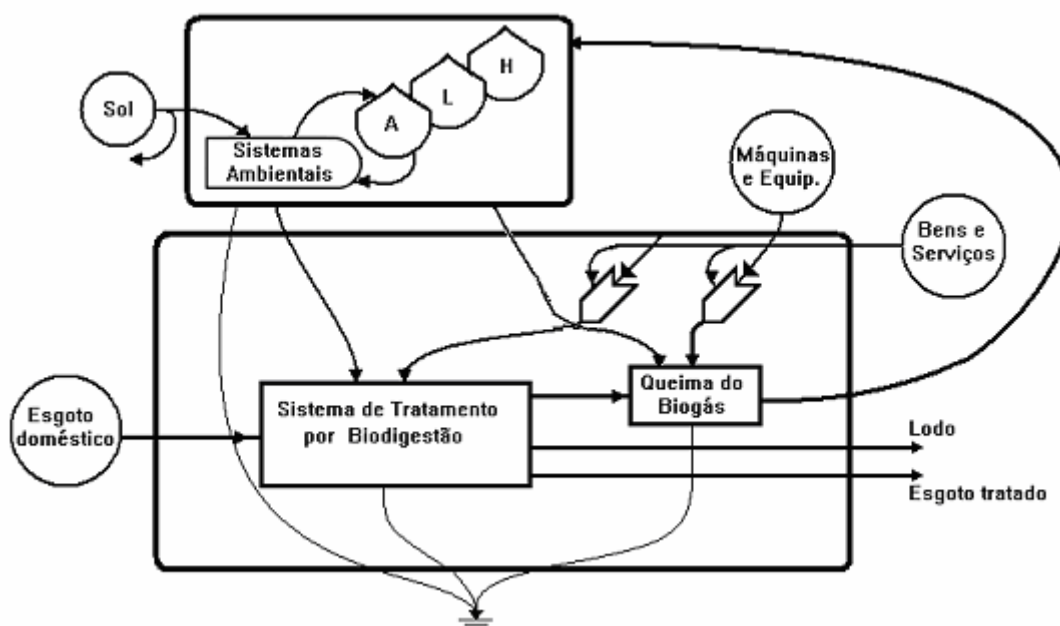


Figura 7. Diagrama de Energia da Estação de Tratamento de Efluente do Biodigestor. (A) Atmosfera, (L) Litosfera e (H) Hidrosfera.

A tabela 4 mostra os fluxos de energia e material que constituem o sistema de tratamento de efluente do Biodigestor.

5.2.1. Contabilidade emergética com e sem serviços ambientais

A Energia do Biodigestor tem valor de $2,41 \times 10^{16}$ sej/ano, obtida pela contabilidade emergética, considerando-se ou não os serviços do ambiente. Isto se deve ao fato de que a contribuição da energia cinética necessária para diluir o CO_2 (CH_4 produzido é utilizado para cocção de alimentos em uma creche local, produzindo-se, portanto como resíduo gasoso o CO_2) ser muito pequena em relação a energia total.

O sistema utiliza menos de 1% sej/sej em recursos renováveis e os restantes 99% sej/sej dos recursos empregados para o tratamento provêm da economia, sendo que 82% sej/sej da energia total corresponde à mão de obra necessária para a operação do sistema.

Tabela 4. Avaliação da Energia do Tratamento de Efluente por Biodigestão (*)

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor	Energia	Energia	% SSA	% CSA
					/(sej/un)	/(sej/ano)	/(sej/sej)	/(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Mão-de-obra	J	F	$3,72 \times 10^7$	$4,30 \times 10^6$	$1,60 \times 10^{14}$	<1%	<1%
2	Concreto	g	F	$2,10 \times 10^6$	$1,54 \times 10^9$	$3,23 \times 10^{15}$	13%	13%
3	Tijolo	g	F	$1,90 \times 10^5$	$2,52 \times 10^9$	$4,79 \times 10^{14}$	2%	2%
4	Plástico	g	F	$2,48 \times 10^2$	$5,87 \times 10^9$	$1,46 \times 10^{12}$	<1%	<1%
5	Uso do solo	J	N	$4,29 \times 10^9$	$2,21 \times 10^4$	$9,48 \times 10^{13}$	<1%	<1%
Fase de Operação								
6	Mão-de-obra	J	F	$4,58 \times 10^9$	$4,30 \times 10^6$	$1,97 \times 10^{16}$	82%	82%
7	Aço	g	F	$3,80 \times 10^4$	$2,77 \times 10^9$	$1,05 \times 10^{14}$	<1%	<1%
8	Sol	J	R	$8,69 \times 10^8$	1,00	$8,69 \times 10^8$		
9	Calor geotérmico	J	R	$1,08 \times 10^8$	$2,55 \times 10^4$	$2,75 \times 10^{12}$	<1%	<1%
10	O ₂ na queima de CH ₄	g	R	$7,30 \times 10^6$	$5,16 \times 10^7$	$3,77 \times 10^{14}$	2%	2%
		J						
11	Energia Cinética do vento		R ₂	$1,09 \times 10^8$	$1,50 \times 10^3$	$1,64 \times 10^{11}$		<1%
Energia Total sem os serviços do ambiente						$2,41 \times 10^{16}$	100%	
Energia Total com os serviços do ambiente						$2,41 \cdot 10^{16}$		100%

(*) (Cálculos detalhados Anexos A e B)

A unidade funcional adotada foi 1 m³ de efluente tratado e a energia por unidade encontrada foi de $7,98 \times 10^{11}$ sej/m³, um valor menor que o encontrado no estudo da estação de tratamento por Lodo Ativado. A tabela 5 resume os resultados obtidos para os dois sistemas.

Tabela 5. Comparação entre a energia por unidade do Lodo Ativado e do Biodigestor (*)

Tipo de tratamento	Volume de efluente /(m ³ /ano)	SSA	CSA	SSA	CSA
		/(sej/ano)	/(sej/ano)	/(sej/m ³)	/(sej/m ³)
Lodo Ativado	504.576	$4,78 \times 10^{17}$	$6,56 \times 10^{17}$	$9,48 \times 10^{11}$	$1,30 \times 10^{12}$
Biodigestão	30.275	$2,41 \times 10^{16}$	$2,41 \times 10^{16}$	$7,98 \times 10^{11}$	$7,98 \times 10^{11}$

(*) Cálculos detalhados na tabela C-1, Anexo C

Os valores encontrados de energia por unidade apresentados na Tabela 5, indicam que o Biodigestor utiliza 16% menos energia que o sistema de tratamento de Lodo Ativado para a obtenção de 1 m³ de esgoto tratado, quando não se consideram os

serviços do meio ambiente para diluição dos gases emitidos durante os tratamentos. Quando se consideram os serviços do meio ambiente para diluir as emissões de cada sistema, verifica-se que a energia empregada no sistema de Lodo Ativado aumenta aproximadamente 37% sej/sej. Desta forma, utiliza-se 63% sej/sej mais energia para tratar o efluente doméstico com o sistema de lodo ativado em relação ao tratamento por biodigestão. O valor de energia por unidade é um indicador de eficiência e pode-se então concluir que o Biodigestor é mais eficiente no tratamento de efluentes domésticos, no que se refere ao uso de recursos. Já no sistema do Biodigestor, a parcela referente à diluição do poluente é desprezível, lembrando que o Biodigestor, depois da queima do CH_4 , emite CO_2 e o Lodo Ativado emite metano, gás 19 vezes mais prejudicial à camada de ozônio de que o CO_2 (ULGIATI e BROWN, 2002).

5.3. Cálculo dos indicadores

5.3.1 Primeiro grupo de indicadores

Como se pode observar nas Tabelas 3 e 4, a energia total é composta por três classes de recursos: renováveis (R , R_2), não renováveis (N) e provenientes da economia (F) a partir dos quais é possível calcular os indicadores emergéticos (ODUM, 1996). Os indicadores obtidos na investigação do Lodo Ativado foram comparados com aqueles obtidos pelo Biodigestor, como mostra a tabela 6.

De acordo com o índice EYR (Tabela 6), pode-se verificar que o sistema de Lodo Ativado apresenta melhor rendimento emergético que o de Biodigestão, pois utiliza uma proporção maior de recursos locais renováveis e não renováveis ($R+N$) em relação ao investimento econômico, mesmo quando se considera a energia associada à diluição dos poluentes.

O índice de EIR indica que o sistema de Lodo Ativado é mais competitivo que o de Biodigestão. O investimento de recursos da economia em relação aos recursos naturais utilizados no Lodo Ativado é menor.

Tabela 6. Resumo dos índices emergéticos (*)

Índices Emergéticos	Lodo Ativado		Biodigestor	
	SSA	CSA	SSA	CSA
Rendimento Emergético (EYR)	1,57	1,36	1,02	1,02
Investimento Emergético (EIR)	1,75	2,77	49,92	49,92
Carga ambiental (ELR)	2,82	4,24	62,64	62,64
Índice de sustentabilidade (ESI)	0,56	0,32	0,02	0,02
Índice de não sustentabilidade (NSI / (sej/m ³))	3x10 ¹²	6x10 ¹²	430x10 ¹²	430x10 ¹²
Percentual de Energia Renovável (%R)	26,18	19,09	1,57	1,57

(*) Cálculos detalhados nas tabelas C-2, C-3 e C-4, Anexo C

O índice de carga ambiental ELR avalia o estresse ambiental, quanto menor o valor deste indicador (BROWN e ULGIATI, 2002), menor o estresse imposto ao ambiente. Verifica-se que o resultado obtido pelo sistema de Lodo Ativado é aproximadamente 22 vezes menor do que o de Biodigestão, quando não se consideram os serviços ambientais e 15 vezes menor quando considerados os serviços ambientais.

O índice de sustentabilidade ESI (Tabela 6), apresenta valores pequenos para ambos os sistemas, mas ao compararmos esses valores, encontramos o índice do Lodo Ativado é aproximadamente 28 vezes maior do que o valor do Biodigestor, considerando-se a diluição dos poluentes. Mesmo quando a análise não considera os serviços ambientais, a sustentabilidade do sistema de lodo ativado é ainda 16 vezes maior que a do Biodigestor, indicando ser o sistema de Lodo Ativado sustentável por maior tempo.

O índice de não sustentabilidade NSI (Tabela 6), apresenta valores maiores, para sistemas menos sustentáveis. Apesar do sistema de biodigestão ser mais eficiente no tratamento do efluente doméstico, utilizando menos energia para tratar 1 m³ de esgoto, o estresse ambiental causado por ele é muito maior.

O índice de energia renovável %R (Tabela 6) indica o percentual de energia renovável envolvida no processo. De acordo com o protocolo de Kyoto, que estabelece que até 2010 o uso de fontes de energia renovável deve alcançar 10% (BRAGA, 2002), verifica-se que apenas o sistema de Lodo Ativado alcança este

índice.

A comparação dos valores dos indicadores encontrados para os dois sistemas indica que o sistema de tratamento por Lodo Ativado é menos danoso para o ambiente do que o tratamento por biodigestão. Apesar do biodigestor utilizar menos recursos para tratar a mesma quantidade de esgoto doméstico, este sistema utiliza principalmente recursos provenientes da economia (Tabela 5). A distribuição dos fluxos no sistema de Lodo Ativado, entre R , R_2 , N e F mostra um melhor aproveitamento dos recursos locais e gratuitos por este sistema, o que se reflete nos valores dos indicadores calculados.

Utilizando o diagrama emergético ternário (BARRELLA et al., 2005, ALMEIDA et al., 2005 e GIANNETTI et al., 2006) para comparação entre os sistemas estudados, observa-se que o sistema de tratamento por Biodigestão (SSA e CSA) ficou representado próximo à linha de $N = 0$ e $R = 0$ (Fig. 8, valores normalizados entre 0 e 1). O sistema de tratamento por Lodo Ativado apresenta valores maiores para N e R , mesmo quando não se consideram os serviços ambientais estes valores são proporcionalmente maiores.

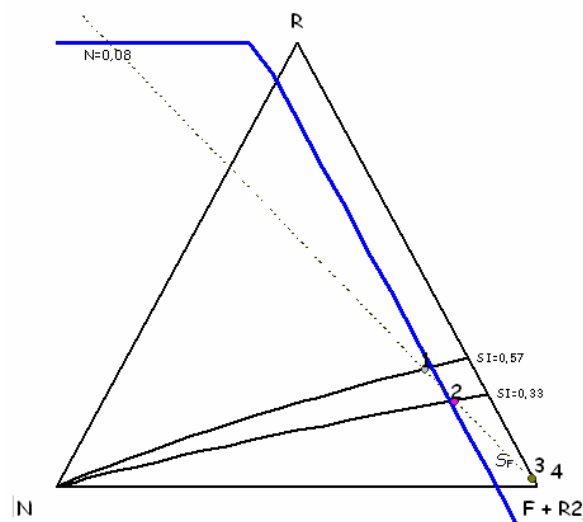


Figura 8. Diagrama emergético ternário dos sistemas de Lodo Ativado e Biodigestor, com e sem a consideração dos serviços ambientais. (1) LA SSA, (2) LA CSA, (3) BIO SSA e (4) BIO CSA.

Por ser esta uma ferramenta gráfica evidencia-se que o sistema de Lodo Ativado SSA está melhor posicionado em relação aos outros três comparados, Entretanto, quando se inclui os serviços do ambiente para diluir os poluentes, a sustentabilidade do sistema LA cai aproximadamente 40%.

5.3.1.1 Análise da da incerteza devida ao cálculo dos indicadores

Os valores dos indicadores encontrados no item 5.3.1. estão atrelados à classificação dos fluxos de entrada nos sistemas de tratamento em renováveis, não renováveis e provenientes da economia. Em recentes desenvolvimentos da metodologia de contabilidade energética, alguns pesquisadores vêm propondo que estes fluxos de entrada contêm parcelas renováveis intrínsecas (BASTIANONI et al., 2001, LAGANIS e DEBELJAK, 2006), o que acarreta em uma margem de incerteza no cálculo dos indicadores. Esta incerteza vai depender do valor da fração renovável atribuída a alguns fluxos ou a todos eles.

Observando-se a tabela 3, nota-se que os maiores fluxos de energia para o tratamento por Lodo Ativado correspondem aos fluxos de energia elétrica e mão de obra. Já para o tratamento por biodigestão, o maior fluxo de entrada é o da mão de obra. Desta forma, optou-se por uma análise de incerteza considerando-se apenas a fração renovável destes dois fluxos. O critério adotado para determinar a fração renovável da mão de obra foi retirado da literatura (BASTIANONI et al., 2001 e ULGIATI et al., 1994). Segundo este critério a fração renovável da mão de obra é igual à fração de recursos renováveis que entram no país em que atua esta mão de obra. No Brasil, o fluxo de energia renovável corresponde a 70% sej/sej da energia total do país (OSMAR et al., 2002). No caso da energia elétrica, considerou-se que a matriz energética nacional é composta de 95% de energia fornecida por hidroelétricas (PEREIRA, 2002) e que este tipo de energia tem uma fração renovável de 70% sej/sej devida ao fluxo de energia geopotencial (ODUM, 1996). Desta forma, admitiu-se uma fração renovável de 67% sej/sej para a energia elétrica no Brasil (70% de um total de 95% de energia elétrica).

5.3.1.2 Estação de Tratamento por Lodo Ativado

Na tabela 7, são contabilizadas todas as entradas requeridas para a implantação e funcionamento do sistema de tratamento de efluentes do sistema de Lodo Ativado considerando-se os percentuais de energia renovável na mão de obra e energia elétrica.

Tabela 7. Avaliação da Energia do Sistema de Lodo Ativado com a fração renovável

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor	Energia	Energia	% SSA	% CSA	
					/(sej/un)	/(sej/ano)	/(sej/sej)	/(sej/sej)	
Fase de Implantação									
1	Concreto	g	F	$3,56 \times 10^7$	$1,54 \times 10^9$	$5,48 \times 10^{16}$	11%	8%	
2	Motores e Bombas	g	F	$5,40 \times 10^4$	$4,10 \times 10^9$	$2,21 \times 10^{14}$	<1%	<1%	
3	Aço	g	F	$3,18 \times 10^6$	$2,77 \times 10^9$	$8,81 \times 10^{15}$	2%	1%	
4	Cobre	g	F	$2,77 \times 10^3$	$2,00 \times 10^9$	$5,54 \times 10^{12}$	<1%	<1%	
5	Mão-de-obra economia 30%	da	J	F	$4,29 \times 10^7$	$4,30 \times 10^6$	$1,84 \times 10^{14}$	<1%	<1%
6	Massa S10 - aço	g	F	$3,21 \times 10^5$	$2,77 \times 10^9$	$8,90 \times 10^{14}$	<1%	<1%	
7	Solo ocupado	J	N	$1,05 \times 10^{11}$	$2,21 \times 10^4$	$2,32 \times 10^{15}$	<1%	<1%	
8	Mão-de-obra 70% R	J	R	$1,00 \times 10^8$	$4,30 \times 10^6$	$4,30 \times 10^{14}$	<1%	<1%	
Fase de Operação									
9	Diesel p/ transporte do lodo	J	F	$3,50 \times 10^{11}$	$6,60 \times 10^4$	$2,31 \times 10^{16}$	5%	4%	
10	Energia Elétrica F(33%)	J	F	$2,66 \times 10^{11}$	$1,65 \times 10^5$	$4,39 \times 10^{16}$	9%	7%	
11	Mão-de-obra economia 30%	da	J	F	$5,76 \times 10^9$	$4,30 \times 10^6$	$2,48 \times 10^{16}$	5%	4%
12	Aterro Sanitário	g	N	$1,23 \times 10^9$	$3,79 \times 10^7$	$4,66 \times 10^{16}$	10%	7%	
13	Sol *	J		$7,03 \times 10^9$	1,00	$7,03 \times 10^9$			
14	Evaporação *	g		$2,02 \times 10^5$	$1,45 \times 10^5$	$2,93 \times 10^{10}$			
15	Precipitação	g	R	$6,18 \times 10^5$	$1,57 \times 10^5$	$9,70 \times 10^{10}$	<1%	<1%	
16	Energia Elétrica R(67%)	J	R	$5,41 \times 10^{11}$	$1,65 \times 10^5$	$8,92 \times 10^{16}$	19%	14%	
17	Mão-de-obra 70% R	J	R	$1,34 \times 10^{10}$	$4,30 \times 10^6$	$5,78 \times 10^{16}$	12%	9%	
18	O ₂ para queima do diesel	g	R	$2,72 \times 10^7$	$5,16 \times 10^7$	$1,40 \times 10^{15}$	<1%	<1%	
19	O ₂ na aeração	g	R	$2,40 \times 10^9$	$5,16 \times 10^7$	$1,24 \times 10^{17}$	26%	19%	
20	Energia Cinética do vento para diluição do CO ₂	J	R ₂	$5,69 \times 10^{11}$	$1,50 \times 10^3$	$8,35 \times 10^{14}$		<1%	
21	Energia Cinética do vento para diluição do CH ₄	J	R ₂	$1,18 \times 10^{14}$	$1,50 \times 10^3$	$1,77 \times 10^{17}$		27%	
Energia total SSA						$4,78 \times 10^{17}$	100%		
Energia Total CSA						$6,56 \times 10^{17}$		100%	

Cálculos detalhados das notas 5, 8, 10, 11, 16 e 17 na Tabela A-5 do anexo A

Quando se exclui o serviço ambiental para diluição dos resíduos gasosos do sistema (CH₄) da contabilidade do sistema. Aproximadamente 10% sej/sej de recursos não renováveis são utilizados, 57% sej/sej são de recursos renováveis e os 33% sej/sej restantes são re recursos da economia.

Quando se incluem os serviços ambientais, o sistema utiliza 42% sej/sej de recursos

renováveis. Aproximadamente de 7% sej/sej de recursos não renováveis são utilizados, 27% sej/sej na diluição de poluentes e os restantes 24% sej/sej dos recursos empregados para o tratamento provêm da economia e são contribuições. O sistema utiliza aproximadamente 23 % sej/sej do total de energia em sua implantação e 77% sej/sej em sua operação, sendo a maior parcela o uso de energia elétrica.

5.3.2 Sistema de Tratamento por Biodigestão

A tabela 8 mostra os fluxos de energia e material que constituem o sistema de tratamento de efluente do Biodigestor, considerando-se os percentuais de energia renovável na mão de obra e energia elétrica.

Tabela 8. Avaliação da Energia do Tratamento de Efluente por Biodigestão com a fração renovável (*)

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor	Energia	Energia	% SSA	% CSA
					/(sej/un)	/(sej/ano)	/(sej/sej)	/(sej/sej)
Fase de Implantação								
	Mão-de-obra 30%	DA						
1	ECONOMIA	J	F	$1,12 \times 10^7$	$4,30 \times 10^6$	$4,80 \times 10^{13}$	<1%	<1%
2	Concreto	g	F	$2,10 \times 10^6$	$1,54 \times 10^9$	$3,23 \times 10^{15}$	13%	13%
3	Tijolo	g	F	$1,90 \times 10^5$	$2,52 \times 10^9$	$4,79 \times 10^{14}$	2%	2%
4	Plástico	g	F	$2,48 \times 10^2$	$5,87 \times 10^9$	$1,46 \times 10^{12}$	<1%	<1%
5	Uso do solo	J	N	$4,29 \times 10^9$	$2,21 \times 10^4$	$9,48 \times 10^{13}$	<1%	<1%
6	Mão-de-obra 70% R	J	R	$2,60 \times 10^7$	$4,30 \times 10^6$	$1,12 \times 10^{14}$	<1%	<1%
Fase de Operação								
	Mão-de-obra 30%	DA						
7	ECONOMIA	J	F	$1,37 \times 10^9$	$4,30 \times 10^6$	$5,91 \times 10^{15}$	24%	24%
8	Aço	g	F	$3,80 \times 10^4$	$2,77 \times 10^9$	$1,05 \times 10^{14}$	<1%	<1%
9	Sol	J		$8,69 \times 10^8$	1,00	$8,69 \times 10^8$		
10	Calor geotérmico	J	R	$1,08 \times 10^8$	$2,55 \times 10^4$	$2,75 \times 10^{12}$	<1%	<1%
11	Mão-de-obra 70% R	J	R	$3,21 \times 10^9$	$4,30 \times 10^6$	$1,38 \times 10^{16}$	57%	57%
12	O ₂ na queima de CH ₄	g	R	$7,30 \times 10^6$	$5,16 \times 10^7$	$3,77 \times 10^{14}$	2%	2%
13	Energia Cinética do vento	J	R ₂	$1,09 \times 10^8$	$1,50 \times 10^3$	$1,64 \times 10^{11}$		<1%
Energia Total sem os serviços do ambiente						$2,41 \times 10^{16}$	100%	
Energia Total com os serviços do ambiente						$2,41 \times 10^{16}$		100%

(*) Cálculos detalhados das notas na Tabela A-7 do Anexo A

O sistema utiliza 59% sej/sej de recursos renováveis em sua operação. Menos de 1% sej/sej de recursos não renováveis são utilizados. Os restantes 40% sej/sej dos recursos empregados para o tratamento provêm da economia. O sistema utiliza aproximadamente 16 % sej/sej do total de energia em sua implantação e 84% sej/sej em sua operação, sendo a maior parcela o uso de energia elétrica.

Nas figuras de 9 a 14 são apresentados gráficos que mostram a mudança na distribuição dos fluxos de energia quando se consideram as frações renováveis das entradas de energia elétrica e mão de obra nos dois sistemas de tratamento de esgoto (SSA e CSA).

Verifica-se que, no caso do Lodo Ativado, a inclusão das frações renováveis dos dois fluxos considerados faz com que o valor de energia renovável do sistema dobre. No caso do Biodigestor este aumento é mais significativo, pois a mão de obra representa 98% do total de energia do sistema.

Visto que os valores dos indicadores dependem da distribuição dos fluxos que contribuem para a implantação e operação dos sistemas, os indicadores mostrados na tabela 6 foram recalculados. A tabela 9 mostra os valores dos indicadores energéticos quando se considera a fração renovável dos fluxos de mão de obra e energia elétrica.

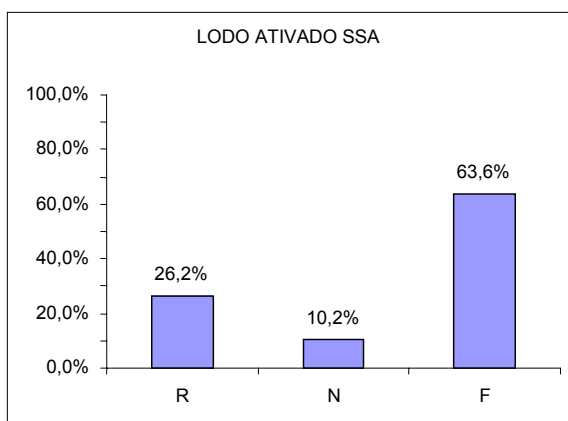


Figura 9. Lodo Ativado sem serviços ambientais

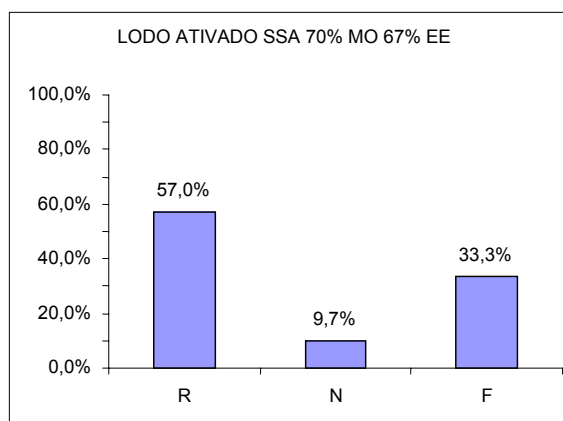


Figura 10. Lodo Ativado sem serviços ambientais considerando 70% sej/sej de Mão de obra e 67% sej/sej de Energia Elétrica renováveis.

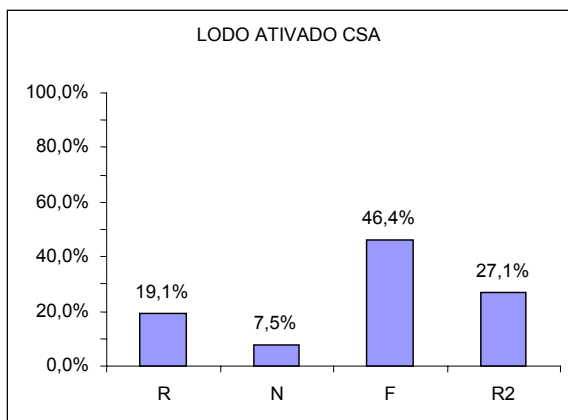


Figura 11. Lodo Ativado com sistemas ambientais

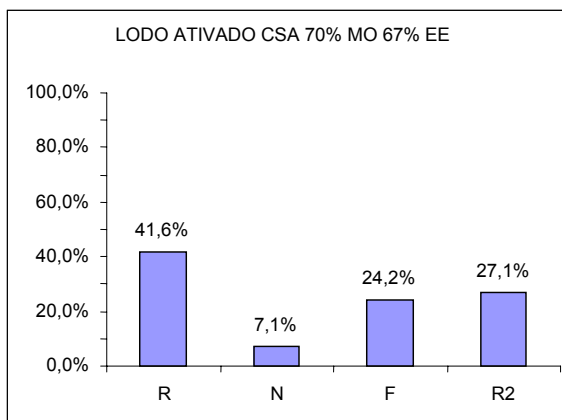


Figura 12. Lodo Ativado com sistemas ambientais considerando 70% sej/sej de MO e 67% sej/sej de EE como R.

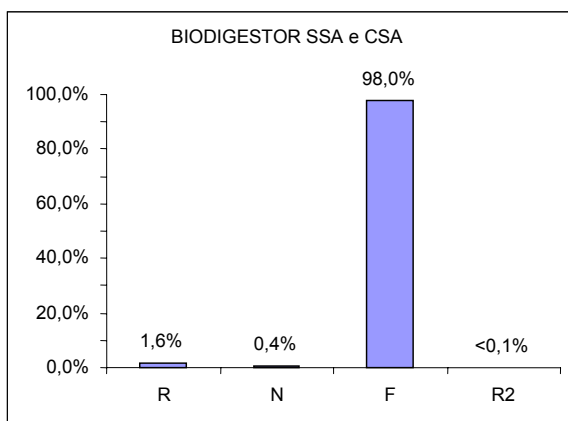


Figura 13. Biodigestor com e sem sistemas ambientais

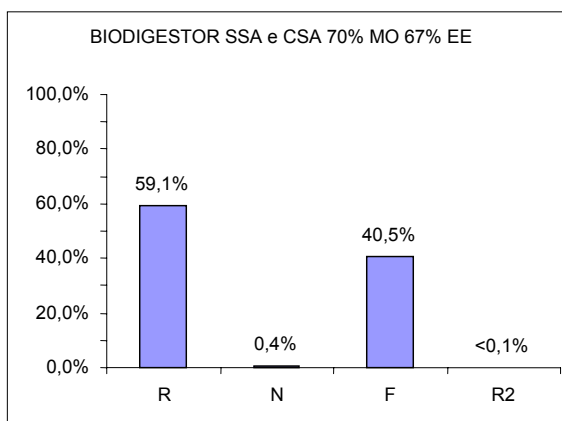


Figura 14. Biodigestor considerando 70% sej/sej de Mão de obra e 67% sej/sej de Energia Elétrica renováveis

Tabela 9. Resumo dos índices emergéticos considerando-se a fração renovável dos fluxos de mão de obra e energia elétrica (*)

Índices Emergéticos	Lodo Ativado		Biodigestor	
	SSA	CSA	SSA	CSA
Rendimento Emergético (EYR)	3,05	1,96	2,47	2,47
Investimento Emergético (EIR)	0,49	1,04	0,68	0,68
Carga ambiental (ELR)	0,75	1,41	0,69	0,69
Índice de sustentabilidade (ESI)	4,05	1,39	3,57	3,57
Índice de não sustentabilidade (NSI / (sej/m ³))	0,7x10 ¹²	1,8x10 ¹²	0,5x10 ¹²	0,5x10 ¹²
Percentual de Energia Renovável (%R)	57,00	41,56	59,10	59,10

(*) Cálculos detalhados nas tabelas C-5, C-6 e C-7, Anexo C.

De acordo com os valores do índice EYR (Tabela 9), pode-se verificar que o sistema de Lodo Ativado apresenta melhor rendimento energético que o de Biodigestão quando não se consideram os serviços ambientais. Porém, quando se considera a energia associada à diluição dos poluentes, o Biodigestor apresenta melhor desempenho, indicando que o custo ambiental para dissipar os poluentes do tratamento por Lodo Ativado é maior do que para o Biodigestor.

O índice de EIR indica que o sistema de Lodo Ativado é mais competitivo que o de Biodigestão quando não se consideram os serviços do meio ambiente, mas o resultado se inverte quando estes são considerados.

O índice de carga ambiental ELR avalia o estresse ambiental. Quanto menor seu valor (BROWN e ULGIATI, 2002), menor o estresse causado pelo sistema no ambiente. Verifica-se que o resultado obtido pelo sistema de Lodo Ativado é ligeiramente maior do que o de Biodigestão sem os serviços ambientais e aproximadamente o dobro quando considerados os serviços ambientais.

O ESI (Tabela 9) apresenta valores que indicam que a sustentabilidade do Biodigestor é aproximadamente o dobro da do tratamento por Lodo Ativado, quando a análise considera os serviços ambientais e aproximadamente a 1,13 vezes menor quando a análise não os considera, indicando que os recursos empregados para a diluição de poluentes é muito maior no sistema de Lodo Ativado.

O índice de não sustentabilidade NSI (Tabela 9) apresenta valores maiores, para sistemas menos sustentáveis. O índice do Biodigestor é menor que o do Lodo Ativado nas duas análises, o que demonstra que o Lodo Ativado é menos sustentável que o Biodigestor por este indicador.

Vale lembrar que o ESI associa à sustentabilidade um alto rendimento energético atrelado a um baixo estresse ambiental, enquanto que o NSI alia a não sustentabilidade à baixa eficiência e ao alto estresse ambiental.

O índice de energia renovável %R (Tabela 9) indica o percentual de energia renovável envolvida no processo. Verifica-se que os dois sistemas utilizam mais de 10% sej/sej deste tipo de recursos, de acordo com o estabelecido pelo protocolo de Kyoto (BRAGA, 2002).

Comparando-se os valores da tabela 9 com os mostrados na tabela 6 verifica-se um aumento nos valores de EYR, ESI e %R corroborando o fato de que sistemas alimentados por fluxos renováveis têm melhor desempenho ambiental e maior período de sustentabilidade. Nesta mesma comparação, os valores de EIR, ELR e NSI apresentam redução de valores, o que indica que a qualidade dos fluxos de entrada determina o estresse ambiental causado por um sistema.

Os resultados obtidos quando se consideram as frações renováveis nos fluxos de mão de obra e energia elétrica podem ser prontamente visualizados no diagrama emergético ternário e comparados com os apresentados na figura 15. É também possível observar que, quando se consideram as frações renováveis dos fluxos, a porcentagem de recursos renováveis utilizada pelo Biodigestor praticamente se iguala à utilizada pelo Lodo Ativado SSA e que o índice carga ambiental dos dois sistemas fica em torno de 0,72, o que é considerado um valor baixo (ULGIATI e BROWN, 2002).

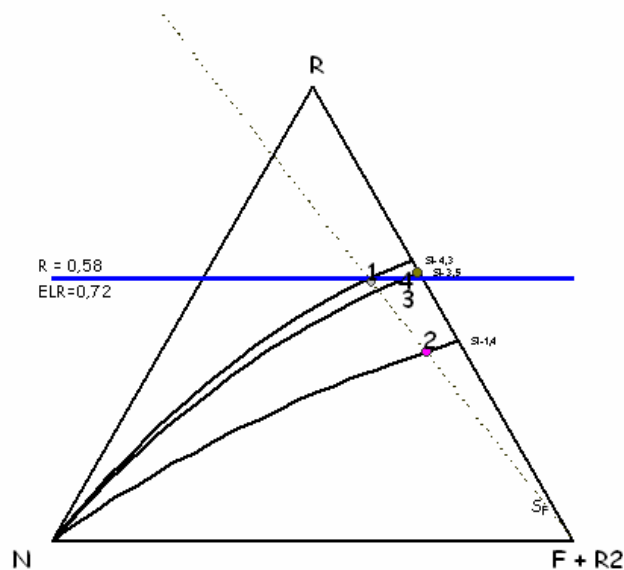


Figura 15. Diagrama emergético ternário dos sistemas de Lodo Ativado e Biodigestor, com e sem a consideração dos serviços ambientais e considerando as frações renováveis dos fluxos de energia elétrica e mão de obra. (1) LA SSA, (2) LA CSA, (3) BIO SSA e (4) BIO CSA.

5.4 Segundo grupo de indicadores

Os indicadores do segundo grupo podem ser classificados como “indicadores de desempenho” ou indicadores específicos dos sistemas. Estes indicadores avaliam o uso de recursos diretamente relacionados à operação e à utilização dos sistemas. Por exemplo, pode-se determinar qual dos dois tipos de tratamento utiliza mais energia para reduzir 1 kg de DBO ou para atender um habitante local. Na Tabela 10 são mostrados os valores do segundo grupo de indicadores. Como todos os indicadores utilizam o valor total da energia, não há necessidade de considerar a fração renovável dos fluxos, com exceção do indicador que relaciona a quantidade de energia renovável com a quantidade de DBO reduzida (Tab. 10.a).

Tabela 10. Indicadores específicos para os sistemas de Lodo Ativado e Biodigestão (*)

Nota	Item	LA SSA /(10 ¹² sej/ano)	LA CSA /(10 ¹² sej/ano)	BIO SSA /(10 ¹² sej/ano)	BIO CSA /(10 ¹² sej/ano)
1	Energia per capita	47,87	65,70	40,17	40,17
2	Energia/kg reduzido de DBO	3,76	5,16	2,65	2,65
3	Energia por uso de área em m ²	355,65	488,10	440,10	440,10

(*) Cálculos detalhados nas tabelas C-8, C-9 e C-10, Anexo C

O índice de energia per capita mostra que o Biodigestor emprega uma quantidade menor de energia de que o sistema de Lodo Ativado para atender um habitante. O índice de energia por kg reduzido de DBO, mostra que o sistema utilizado pelo Biodigestor emprega uma quantidade menor de energia na redução de DBO, comparada com o Lodo Ativado. Estes resultados estão de acordo com o cálculo de energia por unidade dos dois sistemas, que mostra que o Biodigestor é mais eficiente no uso de recursos que o sistema de Lodo Ativado (Tab. 5).

O índice de energia por uso de área em m² apresenta valores similares para os dois sistemas, o que indica que o aproveitamento da área tanto pelo tratamento por lodo ativado como pelo de biodigestão é semelhante.

Tabela 10. a. Indicadores específicos para os sistemas de Lodo Ativado e Biodigestão (*).

Nota	Item	TRADICIONAL		70% MO e 67% EE RENOVÁVEL	
		LA SSA e CSA / (10 ¹² sej)	BIO SSA e CSA / (10 ¹² sej)	LA SSA e CSA / (10 ¹² sej)	BIO SSA e CSA / (10 ¹² sej)
4	Energia Renovável por kg de DBO	0,98	0,04	2,15	1,57

(*) Cálculos detalhados nas tabelas C-8, C-9, C-10, C-11, C-12 e C-13 do Anexo C

O índice de energia renovável por kg de DBO, mostra que o Lodo Ativado emprega uma quantidade maior de energia renovável em seu sistema, de que a empregada pelo Biodigestor. Indicando que o sistema de Lodo Ativado tem um melhor aproveitamento dos fluxos locais e gratuitos do que o sistema de Biodigestão, considerando ou não os serviços ambientais para diluir os poluentes.

Feita a análise de incerteza considerando 70% sej/sej de Mão de Obra e 67% sej/sej de Energia Elétrica como renováveis, verifica-se que o Lodo Ativado ainda apresenta melhor aproveitamento dos fluxos renováveis.

A tabela 10.b apresenta uma comparação entre o sistema de planta de WWTP analisado por BJÖRKLUND et al. (2001) na Suécia e o sistema de Lodo Ativado deste estudo, com a ressalva de que o estudo da WWTP calcula a mão de obra em Coroas Suecas e não contabiliza o oxigênio utilizado na aeração do esgoto nem na queima do metano gerado pelo sistema. Entretanto, são sistemas utilizados para o mesmo fim (tratamento de esgoto doméstico) e encontramos valores comparáveis na mesma ordem de grandeza. Por exemplo, a energia por m³ da WWTP é de 9,16x10¹¹ sej/m³ de esgoto tratado, enquanto a do sistema de LA é de 9,48x10¹¹ sej/m³ de esgoto tratado. Ou seja, para o tratamento da mesma quantidade de esgoto a energia utilizada é praticamente a mesma, na WWTP e na estação de Lodo Ativado de Campo Galvão, em Guaratinguetá, mesmo com diferenças na metodologia empregada para a análise.

Tabela 10. b. Comparação dos indicadores específicos de BJÖRKLUND et al. (2001) e o sistema de Lodo Ativado deste estudo.

Nota	Item	LA SSA / (10 ¹² sej) *	WWTP / (10 ¹² sej) **
1	Energia per capita	47,87	154
2	Energia/kg reduzido de DBO	3,76	10
3	Energia por uso de área em m ²	355,65	162,8

(*) Cálculos detalhados na tabela C-8, Anexo C

(**) Dados retirados do trabalho de GEBER e BJÖRKLUND (2001).

A energia per capita do Lodo Ativado é aproximadamente 3,5 vezes menor que a do WWTP, o que se justifica pelo fato da relação esgoto per capita sueco ser 4,3 vezes maior que a de esgoto per capita brasileiro. Para a Suécia o fluxo diário é de 5.800 m³/9714 habitantes (GRÖNLUND et al., 2004) e para o Brasil 1.382 m³/9985 habitantes (dados deste estudo). A energia/kg reduzido de DBO é aproximadamente 1/3, mas a sua densidade emergética é mais de 2 vezes maior que a do WWTP. Segundo BJÖRKLUND et al. (2001), a energia por m² do WWTP é altíssima e verifica-se que a do Lodo Ativado do sistema estudado é ainda maior. Valores altos são esperados para sistemas altamente tecnológicos (BJÖRKLUND et al., 2001). Entretanto, parece haver outra razão a ser investigada para que a densidade emergética seja alta que não somente o aspecto tecnológico. A atividade no sistema de WWTP em que está inclusa a biodigestão do lodo para geração de biogás, empregado para gerar energia elétrica, é mais intensiva que a do Lodo Ativado.

5.5 Terceiro grupo de indicadores

Contabilidade da Capacidade de Carga *versus* Pegada Ecológica

A Pegada Ecológica (PE) proposta por REES e WACKERNAGEL (1994), se baseia no conceito de transformação de fluxos energéticos utilizados por uma população ou um sistema em demanda de áreas. Há várias propostas na literatura para converter os resultados da contabilidade emergética em unidades de área (GEBER e BJÖRKLUND, 2001, ULGIATI e BROWN, 2002 e ZHAO et al., 2004) e não há ainda consenso quanto ao cálculo a ser utilizado para a representação dos resultados obtidos.

A pegada ecológica com base na síntese emergética contabiliza todos os fluxos diretos e indiretos utilizados pelo sistema, tanto recursos naturais renováveis, como não renováveis e pagos, incorporando alguns fluxos não considerados por REES e WACKERNAGEL (1994), como vento, chuva, mão de obra, energia geotérmica, etc. Desta forma a Pegada Ecológica baseada em energia é mais completa que a original proposta por REES e WACKERNAGEL (1994), pois contabiliza demandas que não são diretamente associadas ao uso de uma área.

A seguir são apresentadas e discutidas duas das propostas encontradas na literatura.

5.5.1. Pegada Ecológica e Capacidade de Carga segundo ZHAO et al. (2004)

ZHAO et al. (2004) propõem um cálculo de PE na equação 7, na qual se transforma em área local os fluxos de energia não renováveis e pagos, por meio da razão entre $N+F+R_2$ e a densidade emergética local. Este cálculo relaciona a carga imposta pelo sistema à região em que está inserido. Os autores propõem também um cálculo de Capacidade de Carga (C_c), como sendo a razão entre a energia renovável utilizada pelo sistema e a densidade emergética do planeta (Eq. 8), que indica a quantidade de área do planeta necessária para suprir o sistema com energia renovável. Este critério está de acordo com os utilizados por ODUM (1996) e BJÖRKLUND et al. (2001), que afirmam que quanto maior o valor de energia renovável mais sustentável será o sistema. Desta forma, os autores consideram a capacidade de carga como a habilidade do ambiente para prover as reservas renováveis a um sistema. Quanto maior o valor de C_c , ou seja, quanto maior for o fluxo de energia renovável utilizada pelo sistema, maior será o tempo em que o ambiente poderá suportar este sistema.

Para calcular a Pegada Ecológica e a carga imposta à biosfera (Capacidade de Carga) pelos sistemas estudados, utilizaram-se as equações 7 e 8. Na equação 7, Em_L e A_L , correspondem à energia total do Brasil e à área do país, respectivamente. Na equação 8, Em_T é igual a $1,583 \times 10^{25}$ sej que é a energia total do planeta (ODUM, 1996) e A_T é a área da Terra ($5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$). Os fluxos contabilizados para obtenção do valor de R (Eq. 8) para o Lodo Ativado

correspondem à soma dos valores dos itens das linhas 14 e 15 (Tab. 3). Os valores dos itens 17 e 18 (Tab. 3) quando se consideram os serviços do meio ambiente para diluir os poluentes gerados por este sistema de tratamento são adicionados ao fluxo (N+F). Para o Biodigestor, o valor de R corresponde à somatória dos valores dos itens 8, 9 e 10 (Tab. 4). O valor do item 11 só é contabilizado quando se consideram os serviços do meio ambiente para diluir os poluentes gerados.

A tabela 11 mostra o cálculo das Capacidades de Carga dos sistemas estudados, que apresenta o Lodo Ativado como o sistema de maior sustentabilidade segundo este indicador. A PE do sistema de Lodo Ativado também é maior, indicando que este sistema utiliza mais recursos de sua região, o que isoladamente é desfavorável para o Lodo Ativado. Porém, calculando-se a diferença entre os dois indicadores observa-se que Cc-PE para o sistema de Lodo Ativado apresenta valores positivos, o que indica que há um crédito com relação ao uso de recursos renováveis, enquanto o Biodigestor apresenta um valor negativo indicando um déficit. Por esta análise pode-se inferir que o sistema de Lodo Ativado será sustentável por um prazo maior.

Tabela 11. Cálculo da PE e da Cc dos sistemas de tratamento de esgoto por Lodo Ativado e por biodigestão segundo a proposta de ZHAO et al., 2004(*).

	R	(N+F+R ₂)	Cc	PE	(Cc-PE)	(Cc-PE)
	/(sej)	/(sej)	/(m ²)	/(m ²)	/(m ²)	/(m ² /m ³)
Lodo Ativado SSA	1,24x10 ¹⁷	3,53x10 ¹⁷	3,99x10 ⁶	1,09x10 ⁶	2,91x10 ⁶	5,76
Lodo Ativado CSA	1,24x10 ¹⁷	5,31x10 ¹⁷	3,99x10 ⁶	1,64x10 ⁶	2,36 x10 ⁶	4,67
Biodigestor SSA e CSA	3,80x10 ¹⁴	2,372x10 ¹⁶	1,22x10 ⁴	7,32x10 ⁴	-6,10 x10 ⁴	-2,01

(*). Cálculos detalhados na Tabela C-15 e C-16 do anexo C

A diferença entre Cc e PE pode ser apresentada em uma única equação (Eq. 9) que evidencia a dependência dos valores obtidos em relação à área da região em que se localizam os sistemas, assim como da emergência característica da região. Desta forma, conhecendo-se os fluxos de entrada de um sistema, pode-se avaliar a melhor região para sua instalação.

Utilizando os valores de R e (N+F+R₂) obtidos nos sistemas estudados, podemos

calcular os resultados para várias localizações geográficas, conhecendo a relação g/y , ver tabela C-14, Anexo C.

Este indicador pode então ser utilizado para realizar um ranqueamento da região que oferece melhor performance ambiental. A tabela 12 apresenta uma relação de países onde os sistemas estudados poderiam ser hipoteticamente instalados, em ordem decrescente.

Tabela 12. Ranqueamento dos países por desempenho ambiental para instalação dos sistemas de tratamento de esgoto estudados.

Nação	(Cc-PE) /(m ² /m ³) LA SSA	(Cc-PE) /(m ² /m ³) LA CSA	(Cc-PE) /(m ² /m ³) BIO SSA e CSA
Polônia	7,92	7,92	0,40
Espanha	7,92	7,91	0,40
N. Zelândia	7,92	7,91	0,40
Itália 1989	7,90	7,89	0,39
Holanda	7,84	7,80	0,32
Alemanha	7,78	7,71	0,25
Japão	7,74	7,66	0,21
Suíça	7,52	7,32	-0,04
Dominica	7,16	6,78	-0,44
EUA	7,11	6,70	-0,50
China	6,98	6,51	-0,64
Libéria	6,25	5,41	-1,47
Equador	5,86	4,82	-1,90
Brasil 1996	5,76	4,67	-2,01
Rússia	5,14	3,75	-2,70
Brasil 1987	4,56	2,87	-3,36
Índia	4,51	2,79	-3,42
Austrália	1,84	-1,23	-6,40

Observa-se na tabela 12 que os sistemas de tratamento de esgoto estudados, conforme os fluxos que utilizam para sua implantação e operação apresentariam melhor desempenho ambiental na Polônia, Espanha e Nova Zelândia, enquanto que os maiores déficits são observados para a Austrália, Índia e no Brasil, considerando-se os dados de 1987 (ODUM, 1996). O sistema de tratamento por Lodo Ativado apresenta valores positivos de Cc-PE em todas as localidades, com exceção da

Austrália quando se consideram os serviços dos sistemas ambientais para dissipar os poluentes.

5.5.2. Capacidade de Carga, segundo BROWN e ULGIATI (2001)

BROWN e ULGIATI (2001) propõem o cálculo de AS_r (Eq. 10), que mede a carga imposta à biosfera pelos sistemas estudados, onde $Empd$ corresponde a densidade emergética renovável do país onde se localiza o sistema (no Brasil, segundo OSMAR et al., 2002, este valor é igual a $2,26 \times 10^{11}$ sej/m²ano). Os fluxos contabilizados para obtenção do valor de $F+N+R_2$ foram retirados das tabelas 3 e 4. Os resultados são apresentados na tabela 13.

Tabela 13. AS_r dos sistemas de tratamento de esgoto por Lodo Ativado e por Biodigestão segundo a proposta de BROWN e ULGIATI (2001)(*)

	(F+N+R ₂) /(sej)	(Empd) /(sej/m ²)	Volume /(m ³)	AS_r /(m ² /m ³)
Lodo Ativado SSA	$3,53 \times 10^{17}$	$2,26 \times 10^{11}$	504576	3,09
Lodo Ativado CSA	$5,31 \times 10^{17}$	$2,26 \times 10^{11}$	504576	4,66
Biodigestor SSA e CSA	$2,37 \times 10^{16}$	$2,26 \times 10^{11}$	30275	3,47

(*) cálculos detalhados na tabela C-17, Anexo C

Verifica-se pelos resultados apresentados, que o sistema de Biodigestão é o que necessita de uma menor AS_r quando considerados os serviços ambientais. Se não forem considerados os serviços ambientais para diluição de poluentes, o resultado se inverte e o sistema de Lodo Ativado necessita de uma AS_r 34% m²/m³ maior.

BROWN e ULGIATI (2001) apresentam ainda na equação 11 a possibilidade de calcular o fluxo desejável de energia renovável (R^*), onde ELR_r é calculado para a região, utilizando-se os fluxos R, N, F da região pretendida, são apresentados na tabela 14 os resultados obtidos para os sistemas, considerando a instalação no Brasil o valor de ELR é 0,44 ou 43,57% sej/sej (OSMAR, ORTEGA e COMAR, 2002).

Tabela 14. Energia renovável real (R) e ideal (R*) para os sistemas de tratamento de esgoto por Lodo Ativado e por Biodigestão segundo a proposta de BROWN e ULGIATI (2001) (*)

	(F+N+R ₂)	(ELR _r)	R* ideal	R	R/R* ideal
		Brasil		do sistema	
	I/(sej)		I/(sej)	I/(sej)	I/(sej/sej)
Lodo Ativado SSA	$3,53 \times 10^{17}$	0,44	$8,02 \times 10^{17}$	$1,24 \times 10^{17}$	0,15
Lodo Ativado CSA	$5,31 \times 10^{17}$	0,44	$1,21 \times 10^{18}$	$1,24 \times 10^{17}$	0,10
Biodigestor SSA e CSA	$2,37 \times 10^{16}$	0,44	$5,39 \times 10^{16}$	$3,80 \times 10^{14}$	0,01

(*) Cálculos detalhados na tabela C-18, anexo C

Verifica-se pelos resultados apresentados, que o sistema de Biodigestão está mais aquém de um equilíbrio com o ambiente que ocupa do que o sistema de Lodo Ativado.

Este resultado está em acordo com o obtido com o cálculo de CC – PE proposto por ZHAO et al. (2004), que também aponta o sistema de tratamento por Biodigestão como o de pior desempenho ambiental.

Verifica-se na tabela 14 que, todos os sistemas utilizam menos recursos renováveis do que seria desejável para estar em equilíbrio com a região. Por exemplo, o sistema de Lodo Ativado SSA deveria aumentar em aproximadamente 6,5 vezes a utilização deste tipo de recurso. Já o Biodigestor, deveria utilizar 100 vezes mais recursos renováveis do que atualmente utiliza.

Estas considerações mudam quando se utilizam as frações renováveis dos fluxos de mão de obra e energia elétrica em uma análise de incerteza. Como pode ser observado na figura 15, a porcentagem de recursos renováveis do Biodigestor praticamente se iguala à do sistema de tratamento por Lodo Ativado SSA. Neste caso, considerando-se os serviços do ambiente para dissipar os poluentes, o sistema de pior desempenho ambiental seria o tratamento por Lodo Ativado CSA.

5.6. Área Indireta e Área de Suporte

O cálculo das áreas indiretas e de suporte também emprega a conversão de valores dos fluxos de energia em unidades de área, entretanto, nas propostas a seguir, apenas alguns dos fluxos de entrada nos sistemas são utilizados. Desta forma, apenas uma fração da pegada ecológica é calculada.

5.6.1. Área Direta e Indireta, segundo GEBER e BJÖRKLUND (2001)

Segundo GEBER e BJÖRKLUND (2001), as áreas direta e indireta (Eq. 12) baseadas no uso de energia são similares às de REES e WACKERNAGEL (1994), quando se converte os fluxos dos recursos utilizados pelos sistemas estudados em energia em área. Entretanto, neste caso, a área indireta proposta por estes autores reflete somente a área requerida pelos recursos vindos da economia. Esta abordagem difere, portanto, das apresentadas nos itens 5.5.1. e 5.5.2, pois não considera os recursos não renováveis para conversão de fluxos de energia em área. São apresentadas na tabela 15, as áreas diretas e indiretas utilizadas por cada sistema de tratamento de efluentes, considerando-se os serviços ambientais ou não.

Tabela 15. Áreas diretas e indiretas dos sistemas de tratamento de efluentes de Lodo Ativado e Biodigestão (*)

Sistema	Área Direta (m ²)	Área Indireta (m ²)	Área Direta (m ² /m ³)	Área Indireta (m ² /m ³)
Lodo Ativado SSA	1,34x10 ³	3,27x10 ³	2,7x10 ⁻³	6,48 x10 ⁻³
Biodigestor SSA	5,48x10 ¹	3,42x10 ³	1,8x10 ⁻³	1,13 x10 ⁻¹
Lodo Ativado CSA	1,34x10 ³	5,18x10 ³	2,7x10 ⁻³	1,03 x10 ⁻²
Biodigestor CSA	5,48x10 ¹	3,42x10 ³	1,8x10 ⁻³	1,13 x10 ⁻¹

(*) Cálculos detalhados na tabela C-19, anexo C

Na análise da área direta por m³ de esgoto tratado dos sistemas estudados com os serviços ambientais, encontramos valores próximos, sendo que a área do Lodo Ativado é 12% m²/m² maior que a do Biodigestor.

As áreas indiretas dos dois sistemas apresentam valores da mesma ordem, indicando que a área que seria ocupada para o fornecimento dos recursos para ambos os sistemas seria praticamente a mesma. Entretanto, ao analisar a área indireta por m³ de efluente tratado dos sistemas estudados, verifica-se que a do Biodigestor é aproximadamente 19 vezes maior que a do Lodo Ativado. Na análise da área indireta por m³ de esgoto tratado dos sistemas estudados, quando se consideram os serviços ambientais, a do biodigestor é aproximadamente 11 vezes maior que a do Lodo Ativado. A diferença se deve à área utilizada para dissipar os poluentes gerados pelo sistema de Lodo Ativado. Como este indicador converte

recursos pagos em recursos renováveis, este resultado indica que o sistema de biodigestão utiliza mais recursos da economia e de fora de suas fronteiras para tratar a mesma quantidade de esgoto.

5.6.2. Área de Suporte segundo ULGIATI e BROWN (2002)

A área de suporte (As), segundo ULGIATI e BROWN (2002), é a área requerida ao meio ambiente em relação à disponibilidade de recursos naturais, necessária para diluição dos poluentes gerados pelos sistemas, calculada pela equação 13. A tabela 16 mostra as áreas de suporte calculadas para os sistemas estudados.

Tabela 16. Área de Suporte dos sistemas de tratamento por Lodo Ativado e Biogestão (Cálculos no Anexo C, tabela C-20)

Item	Lodo Ativado m ²	Biodigestor m ²
AS	9,67x10 ⁹	8,96
AS por m ³ de efluente tratado	19,2	2,96x10 ⁻⁴

Os resultados apresentados indicam que o sistema de Lodo Ativado utiliza uma área de suporte que é aproximadamente um milhão de vezes maior de que a do biodigestor. Quando se avalia a área de suporte por m³ de efluente a ser tratado, verifica-se que a Lodo Ativado é aproximadamente 60.000 vezes maior que a do Biodigestor.

5.6.3 Comparação dos resultados obtidos com o cálculo das Áreas Indiretas e de Suporte

A área indireta calculada pela proposta de GEBER e BJÖRKLUND (2001) e a área de suporte calculada pela proposta de ULGIATI E BROWN (2002), representam partes da pegada ecológica. Uma reflete a área requerida para o suprimento de recursos vindos da economia, enquanto a outra contabiliza a área requerida para a diluição dos poluentes. Desta forma, estas duas áreas somadas às áreas diretas de cada sistema permitem comparar a área total utilizada pelos dois sistemas de tratamento. A figura 16 mostra esta comparação, que utiliza os valores reunidos na tabela 17.

Tabela 17. Comparação de áreas (Cálculos detalhados no anexo C)

Abordagem	Sistema	Modelo	Área Direta $/(m^2/m^3)$	Área Indireta $/(m^2/m^3)$	Área de Suporte $/(m^2/m^3)$	Área Total $/(m^2/m^3)$
ULGIATI e BROWN (2002)	Lodo Ativado	CSA	$2,7 \times 10^{-3}$	$6,48 \times 10^{-3}$	19,2	19,21
	Biodigestor	CSA	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,13 \times 10^{-1}$	$2,96 \times 10^{-4}$	$1,15 \times 10^{-1}$
GEBER e BJORKLUND (2001)	Lodo Ativado	CSA	$2,7 \times 10^{-3}$	$1,03 \times 10^{-2}$		$1,30 \times 10^{-2}$
	Biodigestor	CSA	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,13 \times 10^{-1}$		$1,15 \times 10^{-1}$

A figura 16 mostra a comparação das parcelas da Pegada Ecológica nas duas abordagens propostas, tanto para o sistema de tratamento de efluentes por Lodo Ativado como por Biodigestão.

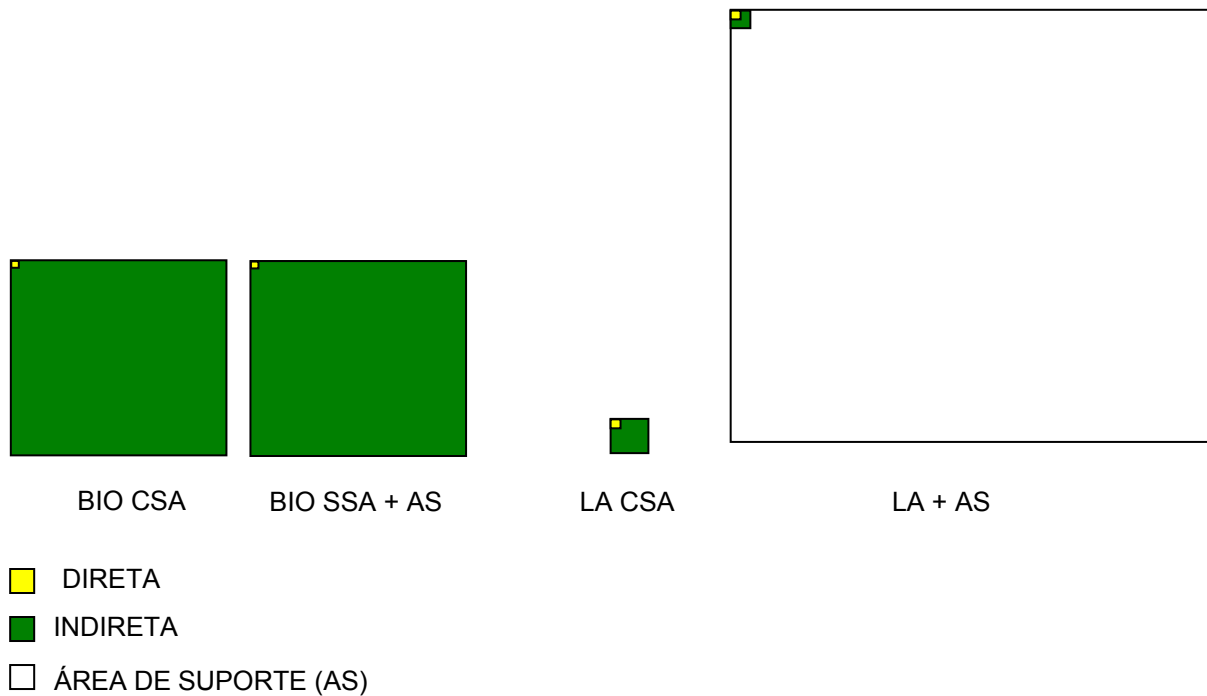


Figura 16. Área Direta, indireta e área de suporte para os sistemas de tratamento de efluentes de Lodo Ativado e Biodigestão pelas abordagens de GEBER e BJORKLUND (2001) e ULGIATI e BROWN (2002).

Na figura 16 mostra-se a proporção entre as áreas calculadas e uma comparação entre os cálculos propostos nas duas propostas. Em BIO CSA e em LA CSA, inclui-se R_2 (o fluxo renovável para diluição dos poluentes) como custo ambiental. Desta forma a área indireta proposta por GEBER e BJÖRKLUND (2001) já contabiliza este fluxo. Nota-se que a área indireta utilizada pelo Biodigestor é muito maior que a utilizada pelo Lodo Ativado, que é apenas 4 vezes maior que a área direta utilizada pelo diretamente pelo sistema.

Quando se considera a área de suporte, contabilizou-se a área indireta sem os serviços do ambiente para dissipar os gases gerados. Desta forma, em BIO SSA + AS e LA SSA + AS estão representadas as áreas direta, indireta sem os serviços do ambiente e a de suporte para diluição dos poluentes. Verifica-se na figura 16 que a área de suporte para a diluição do CO_2 gerado pelo Biodigestor, para tratar $1m^3$ de esgoto, é desprezível em relação à área indireta necessária para o suprimento dos recursos pagos e até mesmo em relação à área ocupada diretamente pelo sistema.

Por outro lado, no cálculo proposto por ULGIATI e BROWN (2002), observa-se que a área de suporte é até maior que a área indireta (ver LA + AS).

A diferença se deve em parte aos critérios utilizados nas duas abordagens para calcular as áreas. GEBER e BJÖRKLUND (2001) utilizam a razão entre os recursos renováveis utilizados pelo sistema e a área utilizada pelo sistema para converter ($F + R_2$) em área. Já ULGIATI e BROWN (2002), utilizam a razão entre R_2 e a energia renovável do planeta por sua área. Por outro lado, considerando-se que o cálculo de R_2 leva em conta apenas as massas de poluentes gerados para o cálculo da energia cinética do vento, o valor das áreas de suporte evidencia que a emissão de gases é muito maior no sistema de tratamento por Lodo Ativado.

5.7. Energia re-irradiada pelos sistemas, segundo TIEZZI et al. (1995)

Como visto, o cálculo da área de suporte proposto por ULGIATI e BROWN (2002) contabiliza as massas de gases gerados para calcular a energia cinética do vento e conseqüentemente R_2 . Este fluxo, assim calculado, considera apenas a diluição/dissipação e não leva em conta a qualidade do poluente emitido.

Um serviço do ambiente que pode ser adicionado ao valor de R_2 é aquele empregado para contrabalançar o efeito dos poluentes emitidos pelos sistemas estudados para manter a temperatura do planeta, já que ambos são gases de efeito estufa. TIEZZI et al. (1995) relacionam a energia irradiada pelos GEE com a energia empregada pela natureza para a manutenção da temperatura do planeta. Portanto, para complementar o valor de R_2 , calcula-se a energia re-irradiada que leva em conta o tempo de permanência dos poluentes na atmosfera e seu potencial efeito como GEE. Vale lembrar que o sistema de Lodo Ativado emite metano e o de biodigestão, dióxido de carbono. Utilizando o valor da energia re-irradiada, obtido pela equação 15, é possível calcular a área equivalente por m^3 de esgoto tratado relativa à área de re-irradiação (Tab.18).

Tabela 18. Energia re-irradiada por m³ de efluente tratado (Cálculos no anexo C, tabela C-21 e C-22)

Sistema	Energia re-irradiada /(sej)	Volume de efluente tratado /(m ³)	Energia re-irradiada /(sej/m ³)	A _{RE} /(m ²)	A _{RE} /(m ² /m ³)
Lodo Ativado CSA	8,38x10 ²⁰	504.576	1,66x0 ¹⁵	4,58X10 ¹⁰	9,08x10 ⁴
Biodigestor CSA	1,22x10 ¹⁷	30.275	4,03x10 ¹²	6,67X10 ⁶	2,20x10 ²

Verifica-se que o sistema de Lodo Ativado apresenta uma re-irradiação aproximadamente 400 vezes maior que o do Biodigestor, quando a unidade de comparação é o m³ de efluente tratado, o que mostra ser o Biodigestor o sistema com menor impacto quanto ao aquecimento global.

5.8. Pegada Ecológica dos sistemas de tratamento de efluentes por Lodo Ativado e por Biodigestão.

É possível realizar a somatória das parcelas da Pegada Ecológica dos sistemas estudados, considerando-se as parcelas: área direta, área indireta (SSA), área de suporte e área para a re-irradiação (Tab.19).

Tabela 19. Pegada Ecológica dos sistemas estudados, de acordo com os indicadores utilizados. (*)

Sistema	Área Direta /(m ² /m ³)	Área indireta SSA /(m ² /m ³)	Área de Suporte /(m ² /m ³)	A _{RE} /(m ² /m ³)	PEGADA ECOLÓGICA /(m ² /m ³)
Lodo Ativado	2,7x10 ⁻³	6,48x10 ⁻³	19,2	9,08x10 ⁴	9,08x10 ⁴
Biodigestor	1,8x10 ⁻³	1,13 x10 ⁻¹	2,96x10 ⁻⁴	2,20x10 ²	2,20x10 ²

(*) Cálculos detalhados no Anexo C

Verifica-se que o sistema de Lodo Ativado apresenta uma Pegada Ecológica 400 vezes maior que a do Biodigestor para cada m³ de esgoto tratado, necessitando, portanto de uma área maior para suportar sua operação.

Nos dois sistemas, a área necessária para a re-irradiação dos poluentes gerados supera todos os valores de área calculados anteriormente, tanto aqueles das áreas destinadas ao fornecimento de recursos de fora do sistema (área indireta), como os das áreas para diluir os poluentes (área de suporte). Este fato se deve aos custos

ambientais para a manutenção da temperatura do planeta. Desta forma, a Pegada Ecológica calculada pela soma das áreas direta indireta, de suporte e de re-irradiação é praticamente igual ao valor desta última, aproximadamente: 90.800 m² para tratar 1 m³ de esgoto pelo sistema de Lodo Ativado e 220 m² para tratar 1 m³ de esgoto pelo sistema de Biodigestão.

6. Conclusões

6. 1 Quanto ao uso de recursos

Os sistemas de tratamento de efluentes de Lodo Ativado SSA e de Biodigestão SSA apresentam transformidades da mesma ordem de grandeza para o tratamento de efluentes, sendo que a transformidade para o Lodo Ativado SSA é aproximadamente 19% sej/sej maior. A diferença para o Lodo Ativado CSA sobe para 41% sej/sej. Isso se deve ao fato de que o sistema de Lodo Ativado CSA emprega um maior fluxo de energia para dispersar os poluentes gerados.

A transformidade, contudo não leva em consideração a origem dos fluxos que compõe a energia total do sistema, o que pode ser mensurado com os índices energéticos tradicionais do primeiro grupo, que apresentam resultados que favorecem ao sistema de Lodo Ativado, tanto com a consideração dos serviços ambientais como sem estes.

Por meio da representação gráfica no diagrama energético ternário, a interpretação dos resultados desse grupo de indicadores se torna mais rápida, por ser esta uma ferramenta visual. Nota-se que pela posição ocupada pelo ponto que representa o sistema de Lodo Ativado, este apresenta uma melhor performance ambiental que os demais, que não se consideram os efeitos do GEE.

O grupo de indicadores específicos mostra que o sistema de Biodigestão SSA/CSA apresenta melhor performance quanto a energia per capita e emprega uma menor quantidade de energia para redução de 1 kg de DBO, o que está de acordo com o cálculo da transformidade, que mostra que o Biodigestor é mais eficiente no uso de recursos (Tab. 20). Desta forma, pode-se concluir que na operação o sistema de Biodigestão é ambientalmente superior ao de Lodo Ativado.

É realizada ainda no grupo de indicadores tradicionais a análise da incerteza dos resultados obtidos quanto à consideração da fração renovável da mão de obra e da energia elétrica do sistema. Obtêm-se melhores resultados para o Biodigestor SSA com índices menores em relação ao Lodo Ativado SSA somente para o EYR, ESI e NSI. Com esta abordagem visualiza-se um cenário mais favorável ao sistema de Biodigestão, pois este utiliza uma grande parcela de mão de obra durante sua operação.

Feita a análise de incerteza dos resultados, com a inclusão da fração renovável de energia característica da região, podem-se comparar os resultados da energia renovável empregada para a redução de 1 kg de DBO. Verifica-se que o resultado não se altera quanto ao posicionamento entre os dois sistemas, pois o Lodo Ativado tem uma melhor performance nos dois casos, já que utiliza percentualmente mais recursos provenientes da natureza.

6.2. Quanto ao uso de área fora do sistema para o fornecimento de recursos

No terceiro grupo de indicadores foi realizado o cálculo da Pegada Ecológica Modificada para os sistemas. O sistema de Lodo Ativado apresenta melhor performance que o Biodigestor no cálculo de Cc-PE, pelo fato de o sistema de Lodo Ativado utilizar um fluxo de energia renovável maior.

No cálculo da AS_r é possível verificar que o sistema de tratamento de efluentes domésticos por Biodigestão utiliza uma área menor que o sistema de Lodo Ativado, com ou sem a consideração dos serviços ambientais para diluição de poluentes. Entretanto, o fluxo de energia renovável desejável para que o sistema possa ser suportado pelos recursos da região onde se encontra implantado é menor para o sistema de Lodo Ativado.

No cálculo da área indireta do sistema com base nos fluxos de energia a área indireta do sistema de Biodigestão é maior, indicando que o sistema de Lodo Ativado utiliza uma quantidade menor de recursos pagos em relação aos recursos renováveis (SSA e CSA).

Observa-se nestes resultados que o critério para o cálculo da área influencia fortemente os resultados que ora são favoráveis ao sistema de lodo ativado, ora são favoráveis ao biodigestor.

6.3. Quanto à área necessária para diluir ou absorver os poluentes gerados

A área requerida (As) ao meio ambiente em relação a disponibilidade de recursos naturais necessários para a diluição dos poluentes gerados, resultando em uma área 60.000 vezes maior em m^2 por m^3 de efluente tratado que a do Biodigestor.

Completando este grupo, calcula-se a energia re-irradiada e verifica-se que o sistema de Lodo Ativado apresenta uma re-irradiação 400 vezes maior que a do Biodigestor, demonstrando ser o Biodigestor o sistema com menor impacto quanto ao aquecimento global.

Transformado em área, este resultado supera todos os outros, indicando que o trabalho da natureza para lidar com a emissão de poluentes e com sua permanência na atmosfera é muito superior ao trabalho realizado com a diluição destes poluentes ou com o fornecimento de recursos de fora do sistema.

A tabela 20 mostra um resumo dos resultados obtidos.

Tab. 20. Tabela dos indicadores utilizados no estudo, por grupo. (não foram considerados os valores da incerteza das parcelas da mão de obra renováveis)

Grupo	1°					2°				3°			4°			
INDICADOR	EYR	EIR	ELR	ESI	NSI	%R	Y/per capita	Y/DBO	Y/área	R/DBO	Cc-PE	AS _r	R*	A _i	AS	A _{RE}
Sistemas																
Lodo Ativado SSA	++	++	++	++	++	++	+	+	-	++	++	+	++	++		
Lodo Ativado CSA	+	+	+	+	+	+	-	-	++	++	+	-	+	+	-	-
Biodigestor SSA e CSA	-	-	-	-	-	-	++	++	+	-	-	++	-	-	++	++
RESULTADOS	↑ LA					LA ~ BIO				LA ~ BIO			↑ BIO			

++ melhor performance, + performance intermediária, - performance inferior, ~ resultados próximos, ↑ melhor resultado

Verifica-se que no 1° grupo de indicadores o Lodo Ativado apresenta melhor performance, para os grupos 2° e 3° o Lodo Ativado e o Biodigestor apresentam resultados próximos e para o 4° grupo o Biodigestor apresenta melhor performance

7. Sugestões para trabalhos futuros

Apresentam-se a seguir sugestões para trabalhos futuros.

Realizar a contabilidade energética do tratamento de efluente por lagoa facultativa, lagoa anaeróbica facultativa, lagoa anaeróbica e reator UASB.

Desenvolver e analisar um sistema de tratamento de esgoto por Lodo Ativado hipotético, o qual realize a queima do CH_4 gerado e verificar o comportamento dos indicadores ambientais.

Realizar a contabilidade financeira e comparar o desempenho dos indicadores ambientais frente aos financeiros.

Calcular a energia do efluente de entrada e comparar com a energia empregada para seu tratamento.

8. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C.M.V.B.; BARRELLA, F.A.; GIANNETTI, B.F. (2005) – Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making. *J. Cleaner Production*
- APASC (2005) – <http://www.apasc.org.br/Textos/Parabolicamara.html> 12/04/2005 14:00 horas.
- BARRELLA, F.A.; ALMEIDA, C.M.V.B.; GIANNETTI, B.F. (2005) - Ferramenta para tomada de decisão considerando a interação dos sistemas de produção e meio ambiente. *Revista Produção*, 15, 87-101.
- BASTIANONI S.; MARCHETTINI N.; PANZIERI M.; TIEZZI E. (2001) - Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy), *J. Cleaner Production*, 9, p.365-373.
- BJÖRKLUND, J.; GEBER, U; RYDBERG, T. (2001) - Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity by digestion of sewage sludge, *Resources, Conservation and Recycling*, 31, p.293-316.
- BRAGA,B.; HESPANHOL,I.; CONEJO,J.G.L; BARROS,M.T.L; SPENCER,M.; PORTO,M.; NUCCI,N.; JULIANO,N.; EIGER,S. (2002) – Introdução à Engenharia Ambiental, São Paulo, Prentice Hall.
- BROWN, M.T.; ARDING J. (1991) - Transformities. Working Paper, Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, USA.
- BROWN, MT.; ULGIATI, S. (2001) - Emergy Measures of Carrying Capacity to Evaluate Economic Investments, Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies, Volume 22, Number 5, May.
- BROWN, M.T.; BURANAKARN, V. (2003) – Emergy indices and ratios for sustainable material cycles options, *Resources Conservation and Recycling*, 38 p.1-22.
- BROWN, M. T.; McCLANAHAN, T.R. (1996) - Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals, *Ecological Modeling*, 91, 105-130.
- BROWN, M.T.; ULGIATI, S. (2002) – Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems, *J. Cleaner Production*, 10, p.321-334.
- BUENFILL, A.A. (2001) - Emergy evaluation of water, doctoral thesis, University Florida.
- CERAMICA ABCD (2005) - www.ceramicaabcd.com.br em 29/05/2005 15:00 horas.
- CETESB (1998) – Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos. São Paulo, 1998.
- CHEVROLET (2006) - http://www.cvcchevrolet.com.br/cvc/cvc_fichas/s10_cab_simples1.html 05/08/2006 13:00 horas
- COELHO, O.; ORTEGA, E.; COMAR, V.(2002) – Balanço de emergia do Brasil, <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf> 05/06/2005 23:00 horas.

CPTEC (2005) – http://cptec.inpe.br/~energia/clima/prec/anohidro_PBSul2003.gif 26/11/2005 14:00 horas.

CRESESB (2005) – <http://www.cresesb.cepel.br/sundatan.htm> 12/04/2005 13:00 horas.

EXTRA (2005) - www.extra.com.br 26/10/2005 10:30 horas.

GEBER, U.; BJÖRKLUND, J. (2001) – The relationship between ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment system - a case study, *Ecological Engineering*, 18, p.39-59.

GIANNETTI, B. F.; BARRELLA, F. A.; ALMEIDA, C. M. V. B. (2006) - A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting., *Journal of cleaner production*, 14, p.201-210.

GOMES, A.J.L.; HAMZA, V.M. (2003) - Avaliação de Recursos Geotermiais do estado do Rio de Janeiro, Eighth International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 Setembro 2003.

GRÖNLUND, E; KLANG, A.; FALK, S.; HANÆUS, J. (2004) - Sustainability of wastewater treatment with micro algae in cold climate, evaluated with emergy and socio-ecological principles, *Ecological Engineering*, 22, p.155–174.

IPCC (1996). Guidelines for national greenhouse gas inventories: workbook (revised). Bracknell: UNEP, OECD, IEA, IPCC.

LAGERBERG, C.; DOHERTY, S.; NILSSON, P.O. (1999) - Evaluation of the resource efficiency and sustainability of the Swedish economy using emergy based indices. In: LAGERBERG C. (Ed.), *Emergy Analysis of the Resources Use in Greenhouse Crop Production and of the Resources Basis of the Swedish Economy*. Dissertation Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.

LAGANIS, L.; DEBELJAK, M. (2006) - Sensitivity analysis of the emergy flows at the solar salt production process in Slovenia, *Ecological Modeling*, 194, p.287-295.

LASHOF, D.A.; AHUJA, D.R.(1990) – Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming, *Nature*, v344 p.529-531.

MMA (2005) - <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res1089.html> 22/10/2005 23:30 horas.

NATURA (2005) - http://www.natura.net/port/universo/resp_corporativa/indicadores_1.asp 22/10/2005 23:30 horas.

ODUM, H.T. (1996) – Environmental accounting – Emergy and environmental decision making, Ed. John Wiley & Sons Ltd. p.370.

PEREIRA E.B.; COLLE, S. (2002) <http://server2041.virtualave.net/soscerrado/artig/artig4.html> 11/05/2005 23:00 horas

REES, W.E.; WACKERNAGEL, M.; (1994) - Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In: JANSSON, A.-M., HAMMER, M., FOLKE, C.; COSTANZA, R. (Eds.), Investing in Natural Capital. Island Press, Washington, DC, p. 362–390.

ROMITELLI, M.S. (2000) – Emery analysis of the new Bolivian-Brazil gas pipeline (gasbol), Emery Synthesis – Proceedings of the first biennial emery analysis research conference, Gainesville, Florida, Ed. Mark T. Brown, c.5 p.53-70.

SGANZERLA, E. (1983) - Biodigestores: uma solução, Porto Alegre, Livraria e Editora Agropecuária.

STEEL, E.W. (1966) – Abastecimento d'Água – Sistemas de esgotos, Rio de Janeiro, Brasil, Sedegra Sociedade editora e gráfica Ltda.

TIEZZI, E.; BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N. (1995) – Environmental cost and steady: the problem of adiabaticity in the emery value, Ecological Modeling, 90, p. 33–37.

TIEZZI, E.; MARCHETTINI, N. (1999) – Che cos'è, lo sviluppo sostenibile? – Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico, Roma, Itália, Ed. Donzelli, c.3 p.109-137.

THOMSON – 10B – (2004) – Taxas de depreciação de bens do ativo imobilizado, Anuário., São Paulo, Brazil, Ed. Thomson, 235p.

UERJ (2006) - <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.4/048/048.htm> - 30/06/2006

ULGIATI, S.; BROWN, M.T. (1998) – Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecological Modeling, 108, p.23-36.

ULGIATI, S.; BROWN, M.T. (2002) – Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions – The case of electricity production. J. Cleaner Production, v.10, p.335-348.

ULGIATI, S.; ODUM, H.T.; BASTIANONI, S. (1994) – Emery use environmental loading and sustainability an emery analysis of Italy, Ecological Modeling, 73, p.215-268.

VON SPERLING, M. (1996). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de efluentes. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 2a ed. revisada. 243 p.

WIKPÉDIA (2006) - site <http://pt.wikipedia.org/wiki> 12/06/2006 17:00 horas.

ZHAO, S.; LIB, Z.; LIA, W. (2004). A modified method of ecological footprint calculation and its application, Ecological Modeling, 185, p. 65–75.

ANEXO A

Cálculos detalhados dos sistemas de tratamento de efluente de Lodo Ativado e Biodigestor.

Tabela A – 1. Volume anual de efluente tratado na Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Vazão	Conversão	Conversão	Conversão	Volume diário	Volume anual
(L/s)	(m ³ /L)	(s/h)	(h/d)	(m ³ /d)	(m ³ /ano)
16	1,0x10 ³	3,6x10 ³	24	1382	504.576

O volume anual de efluente foi calculado com base em informações cedidas pelo engenheiro **Juarez Ribeiro da Cunha** da SAAEG, em litros por segundo, e feitas as conversões até se atingir o valor em m³ por anuais.

Segundo Steel (1966), o volume do lodo é de 2,4 m³ a cada 1.000 m³ de efluente tratado, e a densidade do lodo é considerada a mesma da água, ou seja, 1,00 kg/m³. Logo o volume de lodo anual é de 1.210,98 m³ adicionado da diferença entre a precipitação e a evaporação anual, resultando no total de 1.226,84 m³.

Tabela A – 2. Volume anual de lodo da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Volume de efluente	Lodo	Precipitação	Evaporação	Volume de lodo
(m ³ /ano)	/(m ³ /ano)	/(m ³ /ano)	/(m ³ /ano)	/(m ³ /ano)
504.576	1.210,98	23,62	7,76	1.226,84
Total				1.226,84

Tabela A-3. Avaliação da Energia da Estação de Tratamento de Efluente Lodo Ativado, da Tabela 3

Nota **Implantação** (cálculo dos dados no anexo B)

- 1 **Concreto armado** (Depreciação em 25 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)
 - Volume = 335,98 m³
 - Massa normalizada = $(335,98 \text{ m}^3) \times (2,65 \times 10^6 \text{ g/m}^3) / (25 \text{ anos})$
= 3,56x10⁷ g/ano
- 2 **Motores e Bombas** (Depreciação em 10 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)
 - Massa = 5,40x10⁵ g
 - Massa normalizada = $(5,40 \times 10^5 \text{ g}) / (10 \text{ anos})$
= 5,40x10⁴ g/ano
- 3 **Mão de Obra** (Depreciação em 25 anos (vida útil) – THOMSON 2004)
 - Total concreto = 1.961,28 m²
 - Necessidade diária do metabolismo humano
= 3,00x10³ kcal/dia por homem
 - Total de energia = $\{[(1.961,28 \text{ m}^2) \times (3,5 \text{ h/m}^2)] / (24 \text{ h/d})\} \times (3,00 \times 10^3 \text{ kcal/d}) \times (4186 \text{ J/kcal}) / 25 \text{ anos}$
= 3,59x10⁹ J/ (25anos)
= 1,43x10⁸ J/ano
- 4 **Aço** (Depreciação em 10 anos (vida útil) – THOMSON 2004)
 - Massa = 3,18x10⁷g
 - Massa normalizada = $(3,18 \times 10^7 \text{ g}) / (10 \text{ anos})$
= 3,18x10⁶ g/ano
- 5 **Cobre** (Depreciação em 10 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)
 - Massa = 2,77x10⁴ g
 - Massa normalizada = $(2,77 \times 10^4 \text{ g}) / (10 \text{ anos})$
= 2,77x10³ g/ano
- 6 **Massa S10 (Aço)** (Depreciação em 5 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)
 - Massa = 1,61x10⁶g
 - Massa normalizada = $(1,61 \times 10^6 \text{ g}) / (5 \text{ anos})$
= 3,21x10⁵ g/ano

7 Solo Ocupado (os valores eucalipto* por hectare, kcal/g de eucalipto e a área em hectare, foram retirados do trabalho de Romitelli, 2000)

Total Área = 1.344 m² ou 1,34x10⁻¹ ha

Conversão kg de

Eucalipto p/ hectare=(5,40x10⁶ kg/ano)/135 ha = 4,00x10⁴ kg/ha x ano

Energia total =(área ha)x(kg de eucalipto p/ ha)x(g/kg)x(kcal/g)x(J/kcal)

Energia total =(0,134ha)x(4,00x10⁴kg/ha x ano)x(1,00x10³g/kg)x(4,68kcal/g)x (4186J/kcal)
=1,05x10¹¹ J/ano

*Considerando-se que o solo deixou de produzir biomassa de eucalipto no período

Operação

8 Diesel p/ transporte do lodo (transportado por S10 com capacidade de 1.065 kg cada viagem)

Total de viagens = (massa de lodo)/(capacidade da S10)

Diesel p/ viagem = total de viagens x 8 litros (viagem de 80 km ida e volta, conforme informações da SAAEG, com consumo de 1 litro para cada 10 km)

Total de viagens =(1.226.842 kg/ano)/(1.065 kg/viagem) = 1152 viagens/ano

Diesel p/ viagem = 1152 viagens/ano x 8 litros = 9.216 litros/ano

Energia total = 9.216 L/ano x 0,85 kg/L x 10.667 kcal/kg x 4,186 J/kcal (densidade do diesel, conforme MMA, 2005, poder calorífico inferior conforme NATURA, 2005)

Energia total = 3,50x10¹¹ J/ano

9 Energia elétrica (informações cedidas pela SAAEG)

Uso total =614,5 kWh/dia em 365 dias/ano

Energia total =(614,5 kWh/dia)x(365 dias/ano)x(3,6x10⁶ J/kWh)
=8,07x10¹¹ J/ano

10 Mão de Obra

Total homem-dias =5 homens de segunda à sexta, 02 homens sábado e domingo

Necessidade diária do metabolismo humano

=3,00x10³ kcal/dia por homem

Ent. total de energia=[(265 dias/ano)x(3,00x10³ kcal/dia)x(4186 J/kcal)x(5homens)]+ [(100 dias)x(3,00x10³ kcal/dia)x(4186 J/kcal)x(2homens)]
=1,92x10¹⁰ J/ano

11 **Aterro Sanitário** (Tabela A-2)

Massa de Lodo = 2,4% do efluente + (precipitação – evaporação) do adensador

Massa normalizada = $1,23 \times 10^9$ g/ano

12 **Insolação** (CRESESB, 2005)

Área dos tanques = 418 m²

Insolação média = 4,67 kWh/m².ano

Energia = $(418 \text{ m}^2) \times (4,67 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (3,6 \times 10^6 \text{ J/kWh})$
 = $7,03 \times 10^9$ J/ano

13 **Evaporação** (APASC, 2005)

Área dos tanques = 418 m²

Evaporação média = 485mm/ano

Massa Total = $(418 \text{ m}^2) \times (485 \text{ mm/ano}) \times (1,00 \times 10^{-3} \text{ m/mm}) \times (1,00 \times 10^6 \text{ g/m}^3)$
 = $2,02 \times 10^8$ g/ano

14 **Precipitação** (CPTEC, 2005)

Área dos tanques = 418 m²

Precipitação média = 1476mm/ano

Massa Total = $(418 \text{ m}^2) \times (1.476 \text{ mm/ano}) \times (1,00 \times 10^{-3} \text{ m/mm}) \times (1,00 \times 10^6 \text{ g/m}^3)$
 = $6,18 \times 10^8$ g/ano

15 **O₂ para queima completa do diesel**

Massa de O₂ = quantidade de mol x $\frac{\text{Massa Molar}}{\text{mol}}$

Massa de O₂ = 850.618,18 mol x 32 g/mol

Massa Total de O₂ = $2,72 \times 10^{17}$ g/ano

16 **O₂ na aeração**

Diminuição de DBO = 251,7 mg/litro x 504.576.000 litros/ano

Volume de ar = 7 litros/mg a cada 100 mg/litro de DBO

Massa Total = $[(251,7 \text{ mg/l}) \times (504.576.000 \text{ litros/ano}) \times (7/100 \text{ l/mg})] \times (0,21/22,4 \text{ litros}) \times (28,84 \text{ g/mol})$
 = $2,40 \times 10^9$ g/ano

17 Energia Cinética do Vento

Emissões poluentes (CO_2) = $2,61 \times 10^7$ kg

Concentração natural = 367 ppm ($3,67 \times 10^{-4}$ kg/kg de ar (IPCC, 1996, p. 185)

Energia Cinética do ar = $1/2 \times \text{poluente}/\text{concentração natural} \times (\text{velocidade do vento})^2$

Energia Cinética do ar = $1/2 \times 2,61 \times 10^7 (\text{kg/ano}) / 3,67 \times 10^{-4} \text{ kg/kg} \times (4 \text{ m/s})^2 = 5,69 \times 10^{11}$ Joules

18 Energia Cinética do Vento

Emissões poluentes (CH_4) = $2,58 \times 10^4$ kg/ano

Concentração natural = 1745 ppt ($1,75 \times 10^{-9}$ kg/kg de ar) (IPCC, 1996, p. 244)

Energia Cinética do ar = $1/2 \times \text{poluente}/\text{concentração natural} \times (\text{velocidade do vento})^2$

Energia Cinética do ar = $1/2 \times 2,58 \times 10^4 (\text{kg/ano}) / 1,75 \times 10^{-9} \text{ kg/kg} \times (4 \text{ m/s})^2$
 $= 1,18 \times 10^{14} (\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 \cdot \text{ano}) = 1,18 \text{ J/ano}$

Tabela A-4. Avaliação da Energia do sistema de Biodigestão - Tabela 4.

Nota **Implantação** (cálculo dos dados no anexo B)

1 **Mão de Obra** (Depreciação em 25 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)

Total de dias = 18,49 dias x 4 homens (informações da ONG OIA)

Necessidade diária do metabolismo humano

= $3,00 \times 10^3$ kcal/dia por homem

Total de energia = $(18,49 \text{ dias}) \times (4 \text{ homens}) \times (3,00 \times 10^3 \text{ kcal/d}) \times (4186 \text{ J/kcal}) = 9,29 \times 10^8 \text{ J/ (25anos)}$

= $3,72 \times 10^7 \text{ J/ano}$

2 **Concreto armado** (Depreciação em 25 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)

Massa normalizada = $[(\text{massa de cimento}) + (\text{massa brita 1}) + (\text{massa brita 2}) + (\text{massa areia}) + (\text{massa ferro } 0,20) + (\text{massa ferro } 0,25) + (\text{massa arame}) + (\text{massa água})] / (25 \text{ anos})$

Massa normalizada = $(3985500 + 25380000 + 10848000 + 12105000 + 96100 + 64384 + 3900 + 154529) \text{ g} / 25 \text{ anos}$

= $52.527.034 \text{ g} / 25 \text{ anos}$

= $2,10 \times 10^6 \text{ g/ano}$

3 **Tijolo** (Depreciação em 25 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)

Massa = $[(\text{quant. de tijolos}) \times (\text{massa unitária})] / \text{tempo de vida}$

Massa normalizada = $[4308 \times 1100 \text{ g}] / 25 \text{ anos}$

= $1,90 \times 10^5 \text{ g/ano}$

4 **Plástico** (Depreciação em 25 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)

Massa = $[(\text{mts Tubos} \times \text{massa}) + (\text{quant. joelhos } 90 \times \text{peso}) + (\text{quant. joelhos } 45 \times \text{peso})] / \text{tempo de vida útil}$

Massa normalizada = $[(7 \text{ m} \times 600 \text{ g}) / \text{m} + (4 \text{ pç} \times 350 \text{ g}) / \text{pç} + (2 \text{ pç} \times 300 \text{ g}) / \text{pç}] / (25 \text{ anos})$

= $2,48 \times 10^2 \text{ g/ano}$

5 **Uso do Solo** (os valores eucalipto por hectare e área em hectare foram retirados do trabalho de Romitelli, 2000)

Total Área = 54,76 m² ou 0,005476 ha

Conversão kg de

Eucalipto p/ hectare = $(5,40 \times 10^6 \text{ kg/ano}) / 135 \text{ ha} = 4,00 \times 10^4 \text{ kg/ha} \times \text{ano}$

Energia total = $(\text{área ha}) \times (\text{kg de eucalipto p/ ha}) \times (\text{g/kg}) \times (\text{kcal/g}) \times (\text{J/kcal})$

Energia total = $(0,005476 \text{ ha}) \times (4,00 \times 10^4 \text{ kg/ha} \times \text{ano}) \times (1,00 \times 10^3 \text{ g/kg}) \times (4,68 \text{ kcal/g}) \times (4186 \text{ J/kcal})$

= $4,29 \times 10^9 \text{ J/ano}$

Operação**6 Mão de Obra**

Total homem-dias = 1 homem de segunda à sexta, 01 homem sábado e domingo

Necessidade diária do metabolismo humano

$$= 3,00 \times 10^3 \text{ kcal/dia por homem}$$

Total de energia = $[(265 \text{ dias/ano}) \times (3,00 \times 10^3 \text{ kcal/dia}) \times (4186 \text{ J/kcal}) \times (1 \text{ homem})] + [(100 \text{ dias}) \times (3,00 \times 10^3 \text{ kcal/dia}) \times (4186 \text{ J/kcal}) \times (1 \text{ homem})]$

$$= 4,58 \times 10^9 \text{ J/ano}$$

7 Aço

(Depreciação em 10 anos (vida útil) – THOMSON, 2004)

Massa

$$= 3,8 \times 10^5 \text{ g}$$

Massa Total

$$= (3,8 \times 10^5 \text{ g}) / (10 \text{ anos})$$

$$= 3,8 \times 10^4 \text{ g/ano}$$

8 Insolação

Área

$$= 54,76 \text{ m}^2$$

Insolação média

$$= 4,41 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \text{ (CRESESB, 2005)}$$

Energia

$$= (54,76 \text{ m}^2) \times (4,41 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}) \times (3,6 \times 10^6 \text{ J/kWh})$$

$$= 8,69 \times 10^8 \text{ J/ano}$$

9 Calor geotérmico

Área

$$= \text{área fundo} (12,56 \text{ m}^2) + \text{área lateral} (37,68 \text{ m}^2)$$

Fluxo geotérmico

$$= 68 \text{ mJ/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ano} \text{ (GOMES e HAMZA, 2003)}$$

Energia

$$= (50,24 \text{ m}^2) \times (68 \text{ mJ/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ano}) \times (1,00 \times 10^{-3} \text{ J/mJ}) \times (3,6 \times 10^3 \text{ s/h}) \times (24 \text{ h/d}) \times (365 \text{ d/ano})$$

$$= 1,08 \times 10^8 \text{ J/ano}$$

10 O₂ para queima de CH₄

O₂ necessário para queima

de 2.555 m³ de CH₄ = 5.110 m³ por ano (anexo B)

Massa anual

$$= (5.110 \text{ m}^3/\text{ano}) \times (1/22,4 \text{ mol/l}) \times (32 \text{ g/mol}) \times (1.000 \text{ L/m}^3)$$

$$= 7,30 \times 10^6 \text{ g/ano}$$

11 Energia Cinética do Vento

Emissões poluentes (CO₂) = 5,02 × 10³ kg/ano

Concentração natural = 367 ppm (3,67 × 10⁻⁴ kg/kg de ar (IPCC, 1996, p. 185))

Energia Cinética do ar = 1/2 x poluente/concentração natural x (velocidade do vento)²

Energia Cinética do ar = 1/2 x 5,02 × 10³ (kg/ano) / 3,67 × 10⁻⁴ kg x (4 m/s)²

$$= 1,09 \times 10^8 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{ano)} = 1,09 \times 10^8 \text{ J/ano}$$

Tabela A-5. Avaliação da Energia do sistema de Lodo Ativado com a influência da parcela renovável da mão-de-obra e energia elétrica - Tabela 7

5 Mão de Obra 30% da economia

30% do valor da tabela 3 = $1,43 \times 10^8$ J/ano x30%
 Total = $4,29 \times 10^7$ J/ano

8 Mão de Obra 70% Renovável

30% do valor da tabela 3 = $1,43 \times 10^8$ J/ano x70%
 Total = $1,0 \times 10^8$ J/ano

10 Energia Elétrica 33% da economia

33% do valor da tabela 3 = $8,07 \times 10^{11}$ J/ano x33%
 Total = $2,66 \times 10^{11}$ J/ano

11 Mão de Obra 30% da economia

30% do valor da tabela 3 = $1,92 \times 10^{10}$ J/ano x30%
 Total = $5,76 \times 10^9$ J/ano

16 Energia Elétrica 67% Renovável

67% do valor da tabela 3 = $8,07 \times 10^{11}$ J/ano x67%
 Total = $5,41 \times 10^{11}$ J/ano

17 Mão de Obra 70% Renovável

70% do valor da tabela 3 = $1,92 \times 10^{10}$ J/ano x30%
 Total = $1,34 \times 10^{10}$ J/ano

Tabela A-6. Avaliação da Energia do sistema de Biodigestão com a influência da parcela renovável da mão-de-obra e energia elétrica - Tabela 8

1 Mão de Obra 30% da economia

30% do valor da tabela 4 = $3,72 \times 10^7$ J/ano x30%
 Total = $1,12 \times 10^7$ J/ano

6 Mão de Obra 70% Renovável

70% do valor da tabela 4 = $3,72 \times 10^7$ J/ano x70%
 Total = $2,60 \times 10^7$ J/ano

Operação

7 Mão de Obra 30% da economia

30% do valor da tabela 4 = $4,58 \times 10^8$ J/ano x30%

Total = $4,29 \times 10^7$ J/ano

11 Mão de Obra 70% Renovável

30% do valor da tabela 4 = $4,58 \times 10^9$ J/ano x70%

Total = $3,21 \times 10^9$ J/ano

Tabela A-7. Cálculo da transformidade da mão de obra brasileira.

Valores de Energia do Trabalho		
Dados	Unidade	Valores
Total de Energia Solar	sej	$2,77 \times 10^{24}$ (*)
População Total	hab	$1,80 \times 10^8$ (*)
Energia metabólica diária	J	$1,26 \times 10^7$ (**)
Transformidade do trabalho humano	sej/J	$4,30 \times 10^6$

Fontes: (8*) COELHO et al. (2002) e (**) ODUM, H.T. (1996)

O cálculo da mão de obra (Eq. 8) desconsidera sábados, domingos e feriados:

Transformidade da mão de obra (ODUM, 1996) brasileira =

$$\frac{\text{Total de Energia Solar}}{\text{população} \times \text{energia metabólica} \times 285 \text{ dias}} = \frac{2,77E + 24 \text{ sej}}{1,80E + 08 \text{ hab} \times 1,26E + 07 \text{ J} \times 285 \text{ dias}} = 4,30E + 06 \text{ sej} / \text{J}$$

ANEXO B

1. Cálculos detalhados na fase de implantação e operação da Estação de Tratamento de Lodo Ativado da Tabela 2.

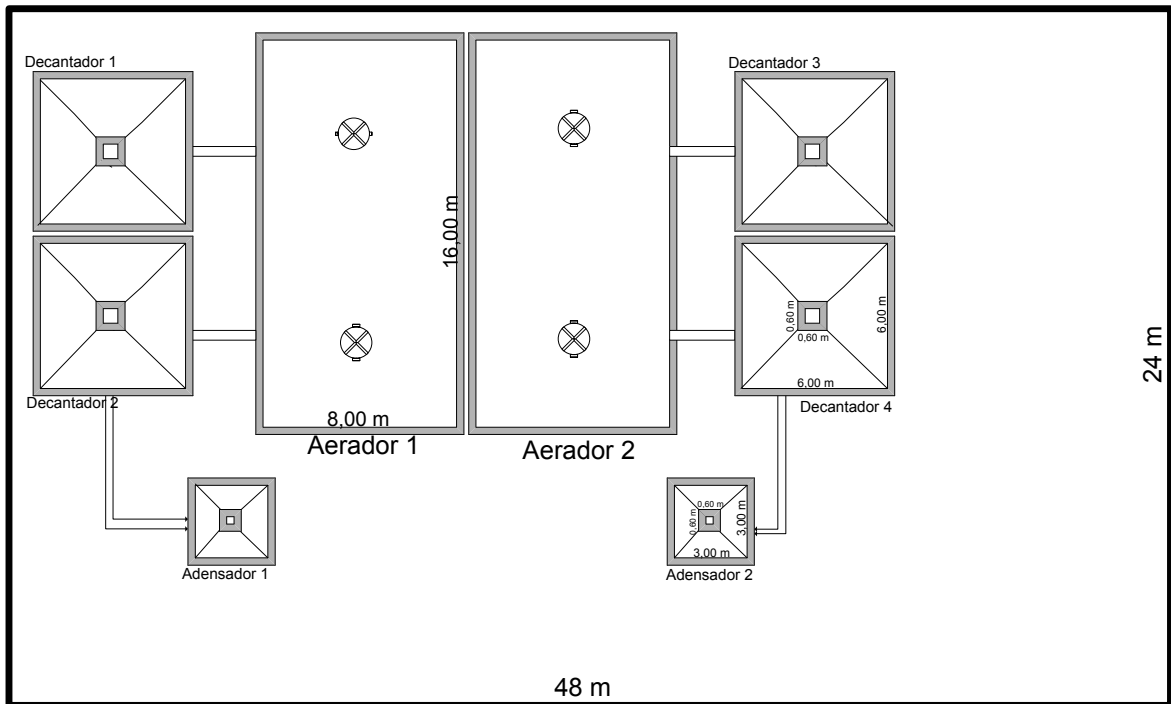


Figura 5 - Planta Baixa da ETE de Lodo Ativado

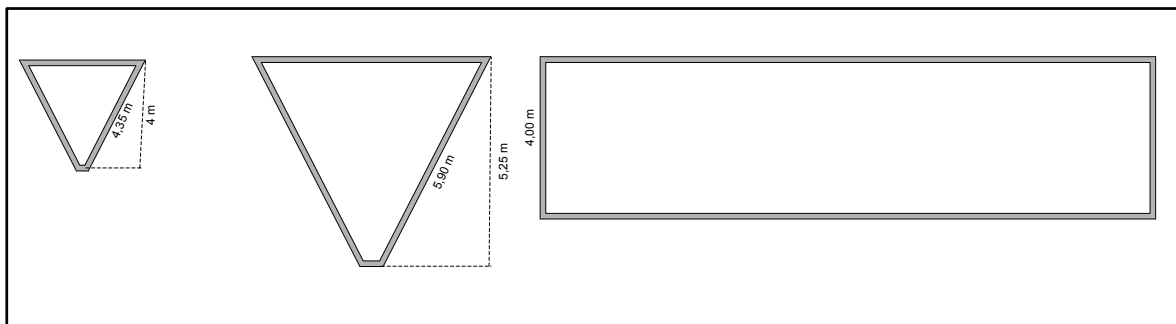


Figura 6 - Vista em corte da ETE de Lodo Ativado

Nota 1. Detalhamento dos cálculos referentes ao consumo de concreto armado na fase de implantação da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Tabela B – 1. Volume de concreto dos tanques de tratamento da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Quant	Tanque	Lados	Base /(m)	Altura /(m)	Fórmula da área	Área /(m ²)	Espessura /(m)	Concreto /(m ³)
2	Aerador	2	8	4	2x2x8x4	128	0,25	32
		2	16	4	2x2x16x4	256	0,25	64
		1	8	16	2x1x8x16	256	0,25	64
4	Decantador	4	6 e 0,6	5,25	$4 \times [4 \times (6 + 0,6) \times 5,25]$ 2	277,2	0,30	83,16
		1	0,6	0,6	4x1x0,6x0,6	1,44	0,30	0,43
2	Adensador	4	3 e 0,6	4	$4 \times [4 \times (3 + 0,6) \times 4]$ 2	115,2	0,30	34,56
		1	0,6	0,6	4x1x0,6x0,6	1,44	0,30	0,43
Total						1035,28		214,58

Nos tanques de Decantação e Adensamento foram verificadas as medições através de uma planta cedida pela SAAEG.

Tabela B – 2. Volume de concreto do reservatório de efluente da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Reservat.	Capacid. /(m ³)	Largura /(m)	Compr. /(m)	Altura /(m)	Área /(m ²)	Espessura /(m)	Concreto /(m ³)
Elevatória	256	8	8	4	192	0,25	48
Total							48

Tabela B – 3. Volume do piso da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Item	Largura /(m)	Compr. /(m)	Área /(m ²)	Espessura /(m)	Concreto q(m ³)
Piso	24	48	734	0,10	73,4
Total					73,4

A área do piso foi obtida pela diferença entre a área total da ETE e a área ocupada pela superfície dos tanques de aeração, decantação e adensamento, de acordo com a Tabela B - 1.

Tabela B – 4. Volume total de concreto da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

Volume total de concreto em m ³	
ETE	335,98

Tabela B – 5. Conversão do volume total de concreto em massa total da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

	Volume	Densidade.	Conversão de	Massa
ETE	/(m ³)	/(t/m ³)	unidade (g/t)	/(g)
Sub-total 1	335,98	2,50	1,00x10 ⁶	8,40x10 ⁸

O total do volume de concreto foi multiplicado por sua densidade e calculada assim, a massa de concreto.

Tabela B – 6. Massa de aço utilizada em relação ao consumo de concreto armado da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

	Volume	kg Aço/(m ³) de	Conversão de	Massa
ETE	/(m ³)	concreto	unidade (g/kg)	/(g)
Sub-total 2	335,98	150,00	1,00x10 ³	5,04x10 ⁷

Em todas as edificações, o concreto utilizado é armado, logo contendo aço em sua estrutura, assim consideraremos que em cada metro cúbico de concreto haja 150 kg de aço.

Tabela B – 7. Massa total de concreto armado utilizado na Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Item	Massa /(g)	Depreciação /(ano)	Massa /(g)
Sub-total 1	$8,40 \times 10^8$	25	$3,36 \times 10^7$
Sub-total 2	$5,04 \times 10^8$	25	$2,02 \times 10^6$
Total	$8,90 \times 10^8$	25	$3,56 \times 10^7$

Esta Tabela mostra a soma das massas totais de concreto e aço que compõem o concreto armado e dividiu-se por 25 anos, considerando a depreciação das edificações segundo Thomson (2004).

Nota 2. Detalhamento dos cálculos referentes ao uso de motores e bombas na fase de implantação da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Tabela B – 8. Massa total dos equipamentos utilizados na Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Item	Quantidade /(un)	Massa /(kg)	Conversão (g/kg)	Massa /(g)	Depreciação /(ano)	Massa /(g/ano)
Bomba Elevatória IMBIL-EP3	1,00	240	$1,00 \times 10^3$	$2,40 \times 10^5$	10	$2,40 \times 10^4$
Aerador ARP-075	4,00	75	$1,00 \times 10^3$	$3,00 \times 10^5$	10	$3,00 \times 10^4$
Total				$5,40 \times 10^5$	10	$5,40 \times 10^4$

A massa da bomba e dos aeradores foram verificadas em manuais técnicos da empresa ECOSAN, fabricante dos aeradores e através de e-mail, enviado pela IMBIL, no caso da bomba. Dividindo-se por 10 anos, considerando a depreciação dos equipamentos segundo Thomson (2004).

Nota 3. Mão de obra utilizada na implantação da Estação de Tratamento de Efluente - Lodo Ativado.

Tabela B – 9. Energia da mão de obra utilizada na implantação do Lodo Ativado

Item	obra	Homem/hora	Necessidade diária	Conversão de unidade	Energia	Conversão de unidade	Depreciação	Energia
	/(m ²)	/(m ²)	/(kcal/H dia)	/(J/kcal)	/(J)	(horas/dia)	/(anos)	/(J/ano)
Aerador	640	3,5	3,00x10 ³	4186	2,81x10 ¹⁰	24	25	4,68x10 ⁷
Decantador	278,64	3,5	3,00x10 ³	4186	1,22x10 ¹⁰	24	25	2,03x10 ⁷
Adensador	116,64	3,5	3,00x10 ³	4186	5,13x10 ⁹	24	25	8,54x10 ⁶
Elevatória	192	3,5	3,00x10 ³	4186	8,44x10 ⁹	24	25	1,40x10 ⁷
Piso	734	3,5	3,00x10 ³	4186	3,22x10 ¹⁰	24	25	5,37x10 ⁷
Total	1961,28	3,5	3,00x10 ³	4186	8,62x10 ¹⁰	24	25	1,43x10 ⁸

A quantidade de energia para construção foi calculada levando-se em conta que são necessários 3,5 homens/hora para se construir 1m² de concreto (comunidade, 2005). Este valor leva em consideração as calorias para um indivíduo suprir suas necessidades por dia, vezes o número de dias trabalhados por ano e convertido em joules (ODUM, 1996) e a conversão 4186 J/kcal (PHYSICS, 2005).

Nota 4. Detalhamento dos cálculos referentes ao uso de aço na fase de implantação da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Tabela B – 10. Massa total da tubulação utilizada na Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Item	∅	Largura	Comp.	Espessura	Volume	Densidade	Massa
	/(cm)	/(cm)	/(cm)	/(cm)	/(cm ³)	/(g/cm ³)	/(g)
Tubulação	15	47,13	2,58x10 ⁵	0,56	6,81x10 ⁶	4,67	3,18x10 ⁷
Total							3,18x10 ⁷

A massa das tubulações de aço foi calculada com base nos dados da planta hidráulica da ETE, que fornece o comprimento do encanamento; a largura foi calculada pela equação do perímetro do tubo ($2\pi r$) e a espessura e densidade (ACOSMOTTA, 2005). E dividiu-se por 10 anos considerando a depreciação dos equipamentos segundo Thomson (2004), obtendo-se o resultado de $3,18 \times 10^6$ g.

Nota – 5. Detalhamento dos cálculos referentes ao consumo de cobre na fase de implantação da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Tabela B – 11. Massa de Cobre utilizada nas fiações elétricas na fase de implantação da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Item	\varnothing /(mm ²)	Conversão (m ² /mm ²)	Compr. /(m)	Volume /(m ³)	Densidade /(g/m ³)	Massa /(g)
Fio de cobre	1,5	1,00x10 ⁻⁶	200	3,00x10 ⁻⁴	8,90x10 ⁵	2,67x10 ³
Fio de cobre	2,5	1,00x10 ⁻⁶	325	8,13x10 ⁻⁴	8,90x10 ⁵	7,24x10 ³
Fio de cobre	4,0	1,00x10 ⁻⁶	200	8,00x10 ⁻⁴	8,90x10 ⁵	7,12x10 ³
Fio de cobre	6,0	1,00x10 ⁻⁶	200	1,20x10 ⁻³	8,90x10 ⁵	1,07x10 ⁴
Total						2,77x10 ⁴

As quantidades lineares dos fios de cobre foram retiradas do projeto elétrico da ETE. Calculada a massa total de cobre que é de 2,77x10⁶g dividiu-se este valor por 10 anos, considerando a depreciação de instalações segundo Thomson (2004), resultando uma massa total de 2,77x10³g.

Nota 6. Massa S10 utilizada no transporte do lodo da Estação de Tratamento de Efluente.

Tabela B – 12. Massa da S10 utilizada na Estação de Tratamento de Efluente

Massa	Conversão	Massa
(kg)	/(g/kg)	/(g)
1.605	1,0x10 ³	1,61x10 ¹⁰
Total		1,61x10 ¹⁰

A massa da S10 foi calculada com base nas informações da CHEVROLET (2006).

Nota 7. Solo utilizado na Estação de Tratamento de Efluente - Lodo Ativado.

Tabela B – 13. Energia do solo utilizada na Estação de Tratamento de Efluente

Área (ha)	Conversão kg Eucalipto (kg/ha x ano)	Conversão /(g/kg)	Conversão de unidade /(kcal/g)	Conversão de unidade /(J/kcal)	Energia /(J)
0,134	$4,00 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$	4,68	4186	$1,05 \times 10^{11}$
Total					$1,05 \times 10^{11}$

A energia do solo foi calculada com base na biomassa de eucalipto que se deixou de produzir durante o período de 01 (um) ano na área ocupada pela Estação de Tratamento de Efluente, segundo estudos realizados por Romitelli (2000).

Nota 8. Detalhamento dos cálculos referentes massa de diesel par transporte do lodo.

Tabela B-14. Cálculo da massa de óleo diesel no transporte do lodo

Lodo a ser transportado /(kg/ano)	Carga máxima de cada viagem /(kg/viagem)	Total /(viagens/ano)	Consumo de diesel /(L/viagem)	Total de diesel /(L/ano)
1.226.842	1.065	1.152	8	9.216
Total				9.216

A capacidade de transporte do veículo e o consumo de óleo diesel estão de acordo com CHEVROLET (2006).

Nota 9. Energia elétrica utilizada na Estação de Tratamento de Efluente - Lodo Ativado.

Tabela B – 15. Consumo de energia elétrica utilizada na Estação de Tratamento de Efluente

Item	Consumo	Período	Conversão de unidade	Consumo total
	/(kWh/dia)	/(dia/ano)	(J/kWh)	/(J/ano)
Energia	614,5	365,00	$3,60 \times 10^6$	$8,07 \times 10^{11}$
Total				$8,07 \times 10^{11}$

Os valores de consumo diários em kWh foram retirados de um documento fornecido pela Cia Bandeirante de energia elétrica, que é a concessionária de energia da empresa, considerando que a empresa trabalha 365 dias por ano e fazendo a conversão de kWh, em joules.

Nota 10. Mão de obra utilizada na Estação de Tratamento de Efluente - Lodo Ativado.

Tabela B – 16. Energia da mão de obra utilizada na Estação de Tratamento de Efluente

Item	Necessidade diária	Período	Conversão de unidade	Operários	Energia
	/(kcal/H dia)	/(dias/ano)	/(kcal/J)	/(H)	/(J)
Dias úteis	$3,00 \times 10^3$	265,00	4186	5	$1,66 \times 10^{10}$
Sábado	$3,00 \times 10^3$	50,00	4186	2	$1,26 \times 10^9$
Domingo	$3,00 \times 10^3$	50,00	4186	2	$1,26 \times 10^9$
Total					$1,92 \times 10^{10}$

A quantidade de funcionários foi informada pelo Depto Pessoal de Empresa. A partir dessa informação, foi quantificada a mão de obra. Este valor leva em consideração as calorias para um indivíduo suprir suas necessidades por dia, vezes o número de dias trabalhados por ano e convertido em joules (ODUM, 1996).

Nota 12. Insolação – Áreas dos tanques expostas à irradiação solar média por ano na Estação de Tratamento de Efluente - Lodo Ativado.

Tabela B – 16. Insolação média por ano das áreas expostas dos tanques da Estação

Total da área dos tanques /(m ² /ano)	Insolação média /(kWh/m ²)	Conversão de unidade (J/kWh)	Insolação /(J/ano)
418	4,67	3,60x10 ⁶	7,03x10 ⁹
Total			7,03x10 ⁹

O índice de insolação foi calculado por meio de dados coletados a partir do site Sundata (CRESESB, 2005) e com os valores de latitude e longitude da região estudada, foi fornecida a média de insolação da cidade de Taubaté (20 Km de Guaratinguetá) e com os valores das áreas dos tanques, determinou-se o valor de insolação.

Nota 13. Detalhamento dos cálculos referentes evaporação

Tabela B – 17. Evaporação média anual nos tanques da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado.

Evaporação da água	Conversão de unidade (m/mm)	Tipo do tanque	Área superficial do tanque Quantxlargxcomp	Vol de evaporação /(m ³)	Massa da água evaporada /(g/ano)
485mm/ano	1,00x10 ⁻³	Aeração	2x8x16=256m ²	124,16 m ³	1,24x10 ⁸
485mm/ano	1,00x10 ⁻³	Decantação	4x6x6= 144m ²	69,84m ³	6,98x10 ⁷
485mm/ano	1,00x10 ⁻³	Adensador	2x3x3= 18m ²	8,73 m ³	8,73x10 ⁶
Total			418 m ²		2,02x10 ⁸

A taxa de evaporação de água utilizada é a da cidade de São Carlos (APASC, 2005) e foi feita a multiplicação da taxa pela conversão e área superficial dos tanques.

Nota 14. Detalhamento dos cálculos referentes à precipitação

Tabela B – 18. Precipitação média anual nos tanques da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

Precipitação	Conversão de unidade m/mm	Tipo do tanque	Área do tanque Quantxlargxcomp /(m ²)	Vol da água de chuva /(m ³)	Massa da água de chuva /(g)
1476mm/ano	$1,00 \times 10^{-3}$	Aeração	2x8x16=256	377,86	$3,78 \times 10^8$
1476mm/ano	$1,00 \times 10^{-3}$	Decantação	4x6x6= 144	212,54	$2,13 \times 10^8$
1476mm/ano	$1,00 \times 10^{-3}$	Adensador	2x3x3= 18	26,57	$2,66 \times 10^7$
Total					$6,18 \times 10^8$

A taxa de precipitação (APASC, 2005) utilizada é a da cidade de São Carlos (distante 340 km de Guaratinguetá) e foi feita a multiplicação da taxa pela conversão e área superficial dos tanques.

Nota 15 e 17. Detalhamento dos cálculos referentes massa de O₂ para queima completa do diesel

Cálculo da emissão de CO₂ pela queima de óleo diesel

Tabela B-19. Cálculo da massa de óleo diesel no transporte do lodo

Volume de óleo diesel (C ₁₄ H ₃₀) /(L)	Conversão (g/L)	Conversão (g/mol)	Total /(mol)
9216	850	198	39.563,64
Total			39.563,64

Admitindo que este óleo diesel é C₁₄H₃₀

Estequiometria de conversão de C₁₄H₃₀ em CO₂ pela combustão completa

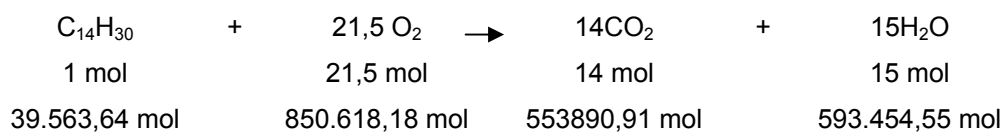


Tabela B-20 - Cálculo da massa de CO₂ e O₂ envolvidos na queima do óleo diesel

Elemento	Mol	Massa Molar	Massa total /(g)
CO ₂	553.890,91	44	2,61x10 ⁷
O ₂	850.618,18	32	2,72x10 ⁷

Portanto o consumo de O₂ para a queima completa é de 850.618,18 mol com massa de 2,72x10⁷ g e a liberação de CO₂ da queima é de 553.890,91mol com massa de 2,61x10⁷ g.

Nota 16. Detalhamento dos cálculos referentes massa de O₂ para aeração do efluente do Lodo Ativado.

Tabela B – 21. Consumo médio anual de O₂ para tratamento de efluente da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

Redução de DBO /(mg/litro)	Necessidade de ar por DBO /(litros/mg)	Volume de efluente anual /(L)	Conversão (mol/litro)	Massa Molar do ar /(g/mol)	Massa de O ₂ =0,21*Massa do ar
251,7	7/100	504.576.000	1/22,4	28,84	2,40x10 ⁹ g
Total					2,40x10 ⁹ g

A massa de O₂ foi estimada de acordo com Steel (1966), de que para cada 100 mg/litro de DBO reduzido são necessários entre 3 e 10 litros de ar, estimando-se, portanto 7 litros como base de cálculo, multiplicando-se pelo volume anual de efluente tratado e pela redução real de DBO verificado em relatórios de análise do efluente, nos quais a DBO na entrada do sistema era de 256 mg/L e no lançamento do efluente tratado no corpo d'água era de 4,3 mg/L, foram convertido em mol e multiplicados pela massa molar do oxigênio após ter sido aplicado o percentual de O₂ presente em cada litro de ar (21%L/L).

Nota 18. Detalhamento dos cálculos referentes à energia cinética do vento

Tabela B – 22. Cálculo da emissão de CH₄ do efluente da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

População	Taxa de DBO	FET	FCM	MFEM	R	Emissão de Metano
/(habitantes)	/(kg/anoxhab)	(%)	(%)	(%)	/(kg)	/(kg/ano)
9985	12,94	100	80	25	0	2,58x10 ⁴ kg
Total						2,58x10 ⁴ kg

Emissões de Metano = Pop x Taxa de DBO x FET x FCM x MFEM – R (CETESB, 1998)

Onde:

População = número total de habitantes

Taxa de DBO = Taxa de geração de Demanda Bioquímica de Oxigênio obtida = (256mg/L x 504.576x10³L/anox10⁻⁶kg/mg)/9985habitantes = 12,94 kg/anoxhabitante

FET = Fração de Efluente Tratado

FCM = Fator de Correção de Metano (80%)

MFEM = Máximo Fator de /emissão de Metano (25%)

R = Quantidade de Metano Recuperado

Emissão de Metano=9.985 hab x 12,94 kg/(ano x hab) x 100% x 80% x 25% - 0 = 25.834,29 kg/ano

Tabela B – 23. Cálculo da energia cinética do vento para dissipar resíduo de CH₄ do efluente da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

Poluente	Concentração em 1998	Velocidade do vento	Energia cinética do vento
/(kg de CH ₄)	/(kg de CH ₄ /kg de ar)	/(m/s)	/(J)
2,58x10 ⁴	1,75x10 ⁻⁹	4	1,18x10 ¹⁴
Total			1,18x10 ¹⁴

2 - Cálculos Detalhados na Fase de implantação e operação do Biodigestor

Nota 1. Mão de obra utilizada na implantação do Biodigestor da Comunidade Independência

Tabela B – 24. Valores em real da mão de obra utilizada na implantação do Biodigestor da Comunidade Independência

Item	Dias de trabalho	Número de Operários	Nec. Diária metabólica /(kcal/d)	Conversão de unidade /(J/kcal)	Vida útil /(anos)	Valor Total /(J/ano)
Escavação	3,11	4	$3,00 \times 10^3$	4.186	25	$6,25 \times 10^6$
Construção	15,38	4	$3,00 \times 10^3$	4.186	25	$3,09 \times 10^7$
Total						$3,72 \times 10^7$

A quantidade de operários e os dias de trabalho de cada operário durante a obra foi fornecido pelo Profº Francisco Ponte de Miranda da ONG OIA.

Nota 2 . Detalhamento dos cálculos referentes ao consumo de concreto armado na fase de implantação operação do Biodigestor da Comunidade Independência.

Tabela B – 25. Volume de concreto do Biodigestor da Comunidade independência

Material	Quantidade	Unidade	Fator de conversão	Massa /(g)
cimento	79,71	sacos	50.000g/sc	3.985.500
Brita 1	5,64	m³	450.000g/m³	25.380.000
Brita 2	27,12	m³	400.000g/m³	10.848.000
Areia média	8,07	m³	1.500.000g/m³	12.105.000
varas de ferro 0,20mm	38,97	m	2.466g/m	96.100
varas de ferro 0,25mm	16,71	m	3.853g/m	64.384
Arame	3.900	g	1	3.900
Água p/ m³ de concreto	44,15	m³	1000g/m³	44.150
Total				52.527.034

A massa da água foi obtida como um fator do volume dos componentes do concreto (massa do cimento/1200.000 + massa de brita 1 + massa de brita 2 + massa de areia).

Nota 3. Massa de tijolo utilizado na implantação do Biodigestor da Comunidade Independência.

Tabela B – 26. Massa de tijolo de barro do Biodigestor da Comunidade Independência

Item	Quantidade /(unidade)	Massa por un. /(g)	Massa total /(g)	Massa Anual /(g/ano)
Tijolo de barro	4.308	1x100	4,74x10 ⁶	1,90x10 ⁵
Total	4.308	1x100	4,74x10 ⁶	1,90x10 ⁵

A massa total de tijolos foi obtida através do produto entre a quantidade de tijolos e a massa unitária (CERAMICAABCD, 2005) de cada unidade, e foi calculada a razão entre a massa total e o período de vida do material para se obter a massa anual.

Nota 4. Massa de plástico utilizada na implantação do Biodigestor da Comunidade Independência.

Tabela B – 27. Massa de plástico do Biodigestor da Comunidade Independência

Item	Quantidade	Unidade	Conversão (g/m)	Massa total /(g)	Massa Anual /(g/ano)
Tubos 150 mm	7	metro	600	4,20x10 ³	1,68x10 ²
Joelhos 90° 150 mm	4	peça	350	1,40x10 ³	5,60x10 ¹
Joelhos 45° 150 mm	2	peça	300	6,00x10 ²	2,40x10 ¹
					2,48x10 ²

A massa por unidade dos plásticos foi obtida por pesagem experimental individual de cada item a fim de se obter a densidade, e calculada a razão entre a quantidade utilizada e a densidade. A massa anual é obtida pela razão entre a massa total e o período de vida do material.

Nota 5. Solo utilizado no Biodigestor da Comunidade Independência.

Tabela B – 28. Energia do solo utilizada pelo Biodigestor

Área	Conversão kg Eucalipto	Conversão	PCI(*)	Conversão de unidade	Energia
/(ha)	/(kg/ha*ano)	(g/kg)	/(kcal/g)	/(J/kcal)	/(J)
0,005476	$4,00 \times 10^4$	$1,00 \times 10^3$	4,68	4186	$4,29 \times 10^9$
Total					$4,29 \times 10^9$

(*) Poder Calorífico Inferior

A energia do solo foi calculada com base na biomassa de eucalipto que se deixou de produzir durante o período de 01 (um) ano na área ocupada pelo Biodigestor, segundo estudos realizados por Romitelli (2000).

Nota 6. Mão de obra utilizada no Biodigestor

Tabela B – 29. Energia da mão de obra utilizada no Biodigestor

Item	Necessidade diária	Período	Conversão de unidade	Operários	Energia
	/(kcal/H dia)	(dias)	(kcal/J)	/(H)	/(J)
Dias úteis	$3,00 \times 10^3$	265,00	4186	1	$3,33 \times 10^9$
Sábado	$3,00 \times 10^3$	50,00	4186	1	$6,28 \times 10^8$
Domingo	$3,00 \times 10^3$	50,00	4186	1	$6,28 \times 10^8$
Total					$4,58 \times 10^9$

A quantidade de funcionários foi informada pelo Prof^o Francisco Pontes de Miranda Ferreira . A partir dessa informação, foi quantificada a mão de obra. Este valor leva em consideração as calorias para um indivíduo suprir suas necessidades por dia, vezes o número de dias trabalhados por ano e convertido em joules (ODUM, 1996).

Nota 7. Detalhamento dos cálculos do aço do fogão utilizado para cocção na creche instalada na comunidade

Tabela B – 30. Cálculo da massa do fogão utilizado para cocção na creche da Comunidade Independência.

Massa do fogão /(g)	Depreciação /(anos)	Massa por ano /(g/ano)
$3,80 \times 10^5$	10	$3,80 \times 10^4$
Total		$3,80 \times 10^4$

A massa do fogão foi obtida em pesquisa no site www.extra.com.br em 26/10/2005. A quantidade necessária de O_2 foi calculada com base na produção e queima de CH_4 produzido pelo biodigestor e utilizado na cocção de alimentos da creche da Comunidade Independência.

Nota 8 . Insolação – Áreas do biodigestor exposta à irradiação solar média por ano

Tabela B – 31. Insolação média por ano da área exposta no Biodigestor

Total da área dos tanques /(m ²)	Insolação média /(kWh/m ² xano)	Conversão de unidade /(J/kWh)	Insolação /(J/ano)
54,76	4,41	$3,60 \times 10^6$	$8,69 \times 10^8$
Total			$8,69 \times 10^8$

O índice de insolação foi calculado por meio de dados coletados a partir do site Sundata (CRESESB, 2005) e com os valores de latitude e longitude da região estudada, foi fornecida a média de insolação da cidade de Teresópolis (8 Km de Petrópolis) e com o valor da área do biodigestor, determinou-se o valor de insolação.

Nota 9. Calor Geotérmico – Área do biodigestor exposta ao fluxo de calor geotérmico

Tabela B –32. Calor geotérmico médio por ano no Biodigestor

Parte do Biodigestor	Total da área /(m ²)	Fluxo geotérmico /(mJ/sxm ²)	Conversão de unidade (s/ano)	Calor Geotérmico /(J/ano)
Área da base	12,56	68	31536000	2,69x10 ⁷
Área da lateral	37,68	68	31536000	8,08x10 ⁷
Total	50,24			1,08x10 ⁸

O índice do fluxo geotérmico segundo Gomes e Hamza (2003) foi de 68mW/m, foram feitas as conversões em joules por segundo e em segundos por ano para se encontrar o calor geotérmico no período de um ano.

Nota 10. Detalhamento dos cálculos do O₂ envolvido na queima do CH₄ para cocção na creche, transformando CH₄ em CO₂

Tabela B – 33. Cálculo massa de O₂ par queima de CH₄

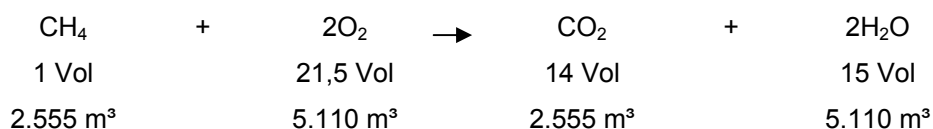
Necessidade diária O ₂ /(m ³ /d)	Conversão (d/ano)	Conversão (mol/l)	Conversão (l/m ³)	Conversão (g/mol)	Massa de O ₂ /(g/ano)
14	365	1/22,4	1,00x10 ³	32	7,30x10 ⁶
Total					7,30x10 ⁶

11. Energia cinética do vento – Detalhamento dos cálculos referentes à energia cinética do vento no Biodigestor.

Tabela B – 34. Cálculo da emissão de CO₂ do efluente no Biodigestor

Produção diária CH ₄ /(m ³ /d)	Conversão (d/ano)	Conversão (mol/l)	Conversão (l/m ³)	Relação CO ₂ / CH ₄ (mol/mol)	Conversão (g/mol)	Emissão de CO ₂ /(g/ano)
7	365	1/22,4	1,00x10 ³	1/1	14	5,02x10 ⁶
Total						5,02x10 ⁶

Estequiometria de conversão de CH₄ em CO₂ pela combustão completa



As emissões de metano (7m³/dia) do biodigestor foram fornecidas pelo Prof^o Francisco Pontes de Miranda Ferreira, e foram convertidas em CO₂, pois o metano é queimado gerando calor de cocção em uma creche da comunidade, em um fogão industrial.

Tabela B – 35. Cálculo da energia cinética do vento para dissipar resíduo de CO₂ do efluente da Estação de Tratamento de Efluente – Lodo Ativado

Poluente /(kg de CO ₂)	Concentração em 1998 /(kg de CO ₂ /kg de ar)	Velocidade do vento /(m/s)	Energia cinética do vento /(J)
1,825x10 ³	1,75x10 ⁻⁹	4	1,09x10 ⁸
Total			1,09x10 ⁸

ANEXO C

Tabela C-1. Cálculo da energia por m³ (Transformidade) do Lodo Ativado e Biogiestor.

Lodo Ativado SSA

$$\text{Transformidade} = \frac{4,78 \times 10^{17} \text{ sej}}{504.576 \text{ m}^3} = 9,48 \times 10^{11} \text{ sej/m}^3$$

Lodo Ativado CSA

$$\text{Transformidade} = \frac{6,56 \times 10^{17} \text{ sej}}{504.576 \text{ m}^3} = 1,30 \times 10^{12} \text{ sej/m}^3$$

Biodigestor SSA e CSA

$$\text{Transformidade} = \frac{2,41 \times 10^{16} \text{ sej}}{30.275 \text{ m}^3} = 7,98 \times 10^{11} \text{ sej/m}^3$$

Tabela C-2. Índices energéticos de Lodo Ativado da Tabela 6, sem serviços ambientais.

$$F = 3,04 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$N = 4,69 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$R = 1,25 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{N + R + F}{F}$$

$$EYR = \frac{4,69 \times 10^{16} + 1,25 \times 10^{17} + 3,04 \times 10^{17}}{2,81 \times 10^{17}}$$

$$EYR = 1,57$$

$$EIR = \frac{F}{N + R} = \frac{3,04 \times 10^{17}}{4,69 \times 10^{16} + 1,25 \times 10^{17}} = 1,75$$

$$ELR = \frac{N + F}{R} = \frac{4,69 \times 10^{16} + 3,04 \times 10^{17}}{1,25 \times 10^{17}} = 2,82$$

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{1,57}{2,82} = 0,56$$

$$NSI = \frac{Y}{UF} \times \frac{N + F}{R} = \frac{4,78 \times 10^{17}}{504576} \times \frac{4,69 \times 10^{16} + 3,04 \times 10^{17}}{1,25 \times 10^{17}} = 3 \times 10^{12}$$

$$\%R = \frac{R}{Y} = \frac{1,25 \times 10^{17}}{4,78 \times 10^{17}} = 0,2618 \times 100\% = 26,18\% \text{ sej/sej}$$

Tabela C-3. Índices energéticos de Lodo Ativado da Tabela 6, com serviços ambientais.

$$F = 3,04 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$N = 4,69 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$R = 1,25 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$R_2 = 1,78 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{N + R + F + R_2}{F + R_2}$$

$$EYR = \frac{4,69 \times 10^{16} + 1,25 \times 10^{17} + 3,04 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{3,04 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}$$

$$EYR = 1,36$$

$$EIR = \frac{F + R_2}{N + R} = \frac{3,04 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{4,69 \times 10^{16} + 1,25 \times 10^{17}} = 2,77$$

$$ELR = \frac{N + F + R_2}{R} = \frac{4,69 \times 10^{15} + 3,04 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{1,25 \times 10^{17}} = 4,24$$

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{1,36}{4,24} = 0,32$$

$$NSI = \frac{Y}{UF} \times \frac{N + F + R_2}{R} = \frac{6,56 \cdot 10^{17}}{504576} \times \frac{4,69 \times 10^{15} + 3,04 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{1,25 \times 10^{17}} = 6 \times 10^{12}$$

$$\%R = \frac{R}{Y} = \frac{1,25 \times 10^{17}}{6,56 \times 10^{17}} = 0,1909 \times 100\% = 19,09\%$$

Tabela C-4. Índices emergéticos do Biodigestor da Tabela 6, com e sem serviços ambientais

$$F = 2,37 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$N = 9,48 \times 10^{13} \text{ sej}$$

$$R = 3,77 \times 10^{14} \text{ sej}$$

$$R_2 = 1,64 \times 10^{11} \text{ sej}$$

$$EYR = \frac{Y}{F + R_2} = \frac{N + R + R_2 + F}{F + R_2}$$

$$EYR = \frac{Y}{F+R_2} = \frac{9,48 \times 10^{13} + 2,75 \times 10^{12} + 3,77 \times 10^{14} + 1,64 \times 10^{11} + 2,37 \times 10^{16}}{2,37 \times 10^{16}}$$

$$EYR = 1,02$$

$$EIR = \frac{F+R_2}{N+R} = \frac{2,37 \times 10^{16} + 1,64 \times 10^{11}}{9,48 \times 10^{13} + 2,75 \times 10^{12} + 3,77 \times 10^{14}} = 49,92$$

$$ELR = \frac{N+F+R_2}{R} = \frac{9,48 \times 10^{13} + 2,37 \times 10^{16} + 1,64 \times 10^{11}}{2,75 \times 10^{12} + 3,77 \times 10^{14}} = 62,64$$

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{1,02}{62,64} = 0,02$$

$$NSI = \frac{Y}{UF} \times \frac{N+F+R_2}{R} = \frac{2,41 \times 10^{16}}{30275} \times \frac{9,48 \times 10^{13} + 2,37 \times 10^{16} + 1,64 \times 10^{11}}{2,75 \times 10^{12} + 3,77 \times 10^{14}} = 430 \times 10^{12}$$

$$\%R = \frac{R}{Y} = \frac{2,75 \times 10^{12} + 3,77 \times 10^{14}}{2,41 \times 10^{16}} = 0,0157 \times 100\% = 1,57\%$$

Tabela C-5. Índices energéticos de Lodo Ativado da Tabela 9, sem serviços ambientais.

$$F = 1,57 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$N = 4,69 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$R = 2,73 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{N + R + F}{F}$$

$$EYR = \frac{4,69 \times 10^{16} + 2,73 \times 10^{17} + 1,57 \times 10^{17}}{1,57 \times 10^{17}}$$

$$EYR = 3,05$$

$$EIR = \frac{F}{N + R} = \frac{1,57 \times 10^{17}}{4,69 \times 10^{16} + 2,73 \times 10^{17}} = 0,49$$

$$ELR = \frac{N + F}{R} = \frac{4,69 \times 10^{16} + 1,57 \times 10^{17}}{2,73 \times 10^{17}} = 0,75$$

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{3,05}{0,75} = 4,05$$

$$NSI = \frac{Y}{UF} \times \frac{N + F}{R} = \frac{4,78 \times 10^{17}}{504576} \times \frac{4,69 \times 10^{16} + 1,57 \times 10^{17}}{2,73 \times 10^{17}} = 0,7 \times 10^{12} \text{ sej/m}^3$$

$$\%R = \frac{R}{Y} = \frac{2,73 \times 10^{17}}{4,78 \times 10^{17}} = 0,5700 \times 100\% = 57,00\% \text{ sej/sej}$$

Tabela C-6. Índices energéticos de Lodo Ativado da Tabela 9, com serviços ambientais.

$$F = 1,57 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$N = 4,69 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$R = 2,73 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$R_2 = 1,78 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{N + R + F + R_2}{F + R_2}$$

$$EYR = \frac{4,69 \times 10^{16} + 2,73 \times 10^{17} + 1,57 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{1,57 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}$$

$$EYR = 1,96$$

$$EIR = \frac{F + R_2}{N + R} = \frac{1,57 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{4,69 \times 10^{16} + 2,73 \times 10^{17}} = 1,04$$

$$ELR = \frac{N + F + R_2}{R} = \frac{4,69 \times 10^{16} + 1,57 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{2,73 \times 10^{17}} = 1,41$$

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{1,96}{1,41} = 1,39$$

$$NSI = \frac{Y}{UF} \times \frac{N + F + R_2}{R} = \frac{6,56 \cdot 10^{17}}{504576} \times \frac{4,69 \times 10^{16} + 1,57 \times 10^{17} + 1,78 \times 10^{17}}{2,73 \times 10^{17}} = 1,8 \times 10^{12} \text{ sej/m}^3$$

$$\%R = \frac{R}{Y} = \frac{2,73 \times 10^{17}}{6,56 \times 10^{17}} = 0,4156 \times 100\% = 41,56\%$$

Tabela C-7. Índices emergéticos do Biodigestor da Tabela 9, com e sem serviços ambientais

$$F = 9,78 \times 10^{15} \text{ sej}$$

$$N = 1,43 \times 10^6 \text{ sej}$$

$$R = 9,48 \times 10^{13} \text{ sej}$$

$$R_2 = 1,64 \times 10^{11} \text{ sej}$$

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{N + R + R_2 + F}{F + R_2}$$

$$EYR = \frac{Y}{F + R_2} = \frac{1,43 \times 10^{16} + 9,48 \times 10^{13} + 1,64 \times 10^{11} + 9,78 \times 10^{15}}{9,78 \times 10^{15} + 1,64 \times 10^{11}}$$

$$EYR = 2,47$$

$$EIR = \frac{F + R_2}{N + R} = \frac{9,78 \times 10^{15} + 1,64 \times 10^{11}}{1,43 \times 10^6 + 9,48 \times 10^{13}} = 0,68$$

$$ELR = \frac{N + F + R_2}{R} = \frac{9,48 \times 10^{13} + 9,78 \times 10^{15} + 1,64 \times 10^{11}}{2,75 \times 10^{12} + 1,12 \times 10^{14} + 1,38 \times 10^{16}} = 0,69$$

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{2,47}{0,69} = 3,57$$

$$NSI = \frac{Y}{UF} \times \frac{N + F + R_2}{R} = \frac{2,41 \times 10^{16}}{30275} \times \frac{9,48 \times 10^{13} + 9,78 \times 10^{15} + 1,64 \times 10^{11}}{2,75 \times 10^{12} + 1,12 \times 10^{14} + 1,38 \times 10^{16}} = 0,5 \times 10^{12} \text{ sej/m}^3$$

$$\%R = \frac{R}{Y} = \frac{2,75 \times 10^{12} + 1,12 \times 10^{14} + 1,38 \times 10^{16}}{2,41 \times 10^{16}} = 0,5910 \times 100\% = 59,10\%$$

Tabela C-8. Índices de desempenho do 2º grupo para o Lodo Ativado SSA (Tab. 10).

Nota

1	Energia per capita	(energia total/habitantes)
	Energia total	=4,78x10 ¹⁷ sej/ano
	Habitantes	=9.985 habitantes
	Energia per capita	=(4,78x10 ¹⁷ sej/ano)/(9.985 hab) = 47,87x10 ¹² sej/ano
2	Energia/kg red. DBO	(energia total/red. DBO)x1,0x10 ⁶ mg/kg
	Energia total	=4,78x10 ¹⁷ sej/ano
	Red. DBO	=251,7 mg/kg x 504.576.000 kg = 127.001.779.200 mg
	Energia/kg red. DBO	=[(4,78x10 ¹⁷ sej/ano)/(127.001.779.200 mg)]x1,00x10 ⁶ mg/kg = 3,76x10 ¹² sej/kg
3	Energia por m²	(energia total/área de ocupação)
	Energia total	=4,78x10 ¹⁷ sej/ano
	Área	=1.344 m ²
	Energia por m ²	=(4,78x10 ¹⁷)/(1.344m ²) =355,65x10 ¹² sej/m ²
4	Energia Ren./kg red. DBO	(Energia Renovável/red. DBO)x1,0x10 ⁶ mg/kg
	Energia Renovável	=1,25x10 ¹⁷ sej/ano
	Red. DBO	=251,7 mg/kg x 504.576.000 kg = 127.001.779.200 mg
	Energia/kg red. DBO	=[(1,25x10 ¹⁷ sej/ano)/(127.001.779.200 mg)]x1,00x10 ⁶ mg/kg = 0,98x10 ¹² sej/kg

Tabela C-9. Índices de desempenho do 2º grupo para o Lodo Ativado CSA (Tab. 6).

Nota

1	Energia per capita	(energia total/habitantes)
	Energia total	= $6,56 \times 10^{17}$ sej/ano
	Habitantes	=9.985 habitantes
	Energia per capita	= $(6,56 \times 10^{17} \text{ sej/ano}) / (9.985 \text{ hab})$ = $65,70 \times 10^{12}$ sej/ano
2	Energia/kg red. DBO	(energia total/red. DBO) $\times 1,0 \times 10^6$ mg/kg
	Energia total	= $6,56 \times 10^{17}$ sej/ano
	Red. DBO	= $251,7 \text{ mg/kg} \times 504.576.000 \text{ kg} = 127.001.779.200 \text{ mg}$
	Energia/kg red. DBO	= $[(6,56 \times 10^{17} \text{ sej/ano}) / (127.001.779.200 \text{ mg})] \times 1,00 \times 10^6 \text{ mg/kg}$ = $5,16 \times 10^{12}$ sej/kg
3	Energia por m²	(energia total/área de ocupação)
	Energia total	= $6,56 \times 10^{17}$ sej/ano
	Área	= 1.344 m^2
	Energia por m ²	= $(6,56 \times 10^{17}) / (1.344 \text{ m}^2)$ = $488,10 \times 10^{12}$ sej/m ²
4	Energia Ren./kg red. DBO	(Energia Renovável/red. DBO) $\times 1,0 \times 10^6$ mg/kg
	Energia Renovável	= $1,25 \times 10^{17}$ sej/ano
	Red. DBO	= $251,7 \text{ mg/kg} \times 504.576.000 \text{ kg} = 127.001.779.200 \text{ mg}$
	Energia/kg red. DBO	= $[(1,25 \times 10^{17} \text{ sej/ano}) / (127.001.779.200 \text{ mg})] \times 1,00 \times 10^6 \text{ mg/kg}$ = $0,98 \times 10^{12}$ sej/kg

Tabela C-10. Índices de desempenho do 2º grupo para o Biodigestor (Tab. 10).

Nota

1	Energia per capita	(energia total/habitantes)
	Energia total	= $2,41 \times 10^{16}$ sej/ano
	Habitantes	=600 habitantes
	Energia per capita	= $(2,41 \times 10^{16}$ sej/ano)/(600 hab) = $40,17 \times 10^{12}$ sej/ano
2	Energia/kg red. DBO	(energia total/red. DBO) $\times 1,0 \times 10^6$ mg/kg
	Energia total	= $2,41 \times 10^{16}$ sej/ano
	Red. DBO	=299,9 mg/kg x 30.275.000 kg = 9.079.472.500 mg
	Energia/kg red. DBO	= $[(2,41 \times 10^{16}$ sej/ano)/(9.079.472.500 mg)] $\times 1,00 \times 10^6$ mg/kg = $2,65 \times 10^{12}$ sej/kg
3	Energia por m²	(energia total/área de ocupação)
	Energia total	= $2,41 \times 10^{16}$ sej/ano
	Área	=54,76 m ²
	Energia por m ²	= $(2,41 \times 10^{16})/(54,76 \text{m}^2)$ = $440,10 \times 10^{12}$ sej/m ²
4	Energia Ren./kg red. DBO	(Energia Renovável/red. DBO) $\times 1,0 \times 10^6$ mg/kg
	Energia Renovável	= $2,75 \times 10^{12}$ sej/ano + $3,77 \times 10^{14}$ = $3,79 \times 10^{14}$ sej/ano
	Red. DBO *	=299,9 mg/kg x 30.275.000 kg = 9.079.472.500 mg
	Energia/kg red. DBO	= $[(3,79 \times 10^{14}$ sej/ano)/(9.079.472.500 mg)] $\times 1,00 \times 10^6$ mg/kg = $0,04 \times 10^{12}$ sej/kg

* Valores de redução de DBO retirados do "LAUDO DE ANÁLISES 1" (ANEXO D) realizado pela UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) onde o DBO de entrada do sistema era de 305,7 mg/L e o DBO na saída para o corpo d'água era de 5,8 mg/L de efluente tratado.

Tabela C-11. Índices de desempenho do 2º grupo para o Lodo Ativado SSA 70% MO e 67% EE (Tab. 10.a).

Nota

1	Energia Ren./kg red. DBO	$(\text{Energia Renovável/red. DBO}) \times 1,0 \times 10^6 \text{ mg/kg}$
	Energia Renovável	$= 2,73 \times 10^{17} \text{ sej/ano}$
	Red. DBO	$= 251,7 \text{ mg/kg} \times 504.576.000 \text{ kg} = 127.001.779.200 \text{ mg}$
	Energia/kg red. DBO	$= [(2,73 \times 10^{17} \text{ sej/ano}) / (127.001.779.200 \text{ mg})] \times 1,00 \times 10^6 \text{ mg/kg}$ $= 2,15 \times 10^{12} \text{ sej/kg}$

Tabela C-12. Índices de desempenho do 2º grupo para o Lodo Ativado CSA (Tab. 6).

Nota

1	Energia Ren./kg red. DBO	$(\text{Energia Renovável/red. DBO}) \times 1,0 \times 10^6 \text{ mg/kg}$
	Energia Renovável	$= 2,73 \times 10^{17} \text{ sej/ano}$
	Red. DBO	$= 251,7 \text{ mg/kg} \times 504.576.000 \text{ kg} = 127.001.779.200 \text{ mg}$
	Energia/kg red. DBO	$= [(2,73 \times 10^{17} \text{ sej/ano}) / (127.001.779.200 \text{ mg})] \times 1,00 \times 10^6 \text{ mg/kg}$ $= 2,15 \times 10^{12} \text{ sej/kg}$

Tabela C-13. Índices de desempenho do 2º grupo para o Biodigestor (Tab. 10.a).

Nota

1	Energia Ren./kg red. DBO	$(\text{Energia Renovável/red. DBO}) \times 1,0 \times 10^6 \text{ mg/kg}$
	Energia Renovável	$= 1,12 \times 10^{14} \text{ sej/ano} + 2,75 \times 10^{12} \text{ sej/ano} + 1,38 \times 10^{16} + 3,77 \times 10^{14} = 1,43 \times 10^{16} \text{ sej/ano}$
	Red. DBO	$= 299,9 \text{ mg/kg} \times 30.275.000 \text{ kg} = 9.079.472.500 \text{ mg}$
	Energia/kg red. DBO	$= [(1,43 \times 10^{16} \text{ sej/ano}) / (9.079.472.500 \text{ mg})] \times 1,00 \times 10^6 \text{ mg/kg}$ $= 1,57 \times 10^{12} \text{ sej/kg}$

Tabela C -14 – Cálculo da razão g/y utilizando-se a tabela 10.7, p.201 (ODUM, 1996) e WIKPÉDIA (2006).

Cálculo do coeficiente percentual de Energia/área da localidade geográfica

Nação	Energia (10 ²⁰ sej/ano) (h)	Área da nação m ² (j)	$y=h/Em_T$	$g=j/(área_da_terra)$	g/y
Libéria	465	$1,11 \times 10^{11}$	$2,94 \times 10^{-3}$	$2,18 \times 10^{-4}$	$7,41 \times 10^{-2}$
Dominica	7	$7,54 \times 10^8$	$4,42 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-6}$	$3,34 \times 10^{-2}$
Equador	964	$2,84 \times 10^{11}$	$6,09 \times 10^{-3}$	$5,57 \times 10^{-4}$	$9,14 \times 10^{-2}$
China	71.900	$9,6 \times 10^{12}$	$4,54 \times 10^{-1}$	$1,88 \times 10^{-2}$	$4,14 \times 10^{-2}$
Brasil 1987	17.820	$8,55 \times 10^{12}$	$1,13 \times 10^{-9}$	$1,68 \times 10^{-2}$	$1,49 \times 10^{-1}$
Índia	6.750	$3,29 \times 10^{12}$	$4,26 \times 10^{-2}$	$6,45 \times 10^{-3}$	$1,51 \times 10^{-1}$
Austrália	8.850	$7,69 \times 10^{12}$	$5,59 \times 10^{-2}$	$1,51 \times 10^{-2}$	$2,70 \times 10^{-1}$
Polónia	3.305	$3,12 \times 10^8$	$2,09 \times 10^{-2}$	$6,12 \times 10^{-7}$	$2,93 \times 10^{-5}$
Rússia	43.150	$1,71 \times 10^{13}$	$2,73 \times 10^{-1}$	$3,35 \times 10^{-2}$	$1,23 \times 10^{-1}$
EUA	83.200	$9,63 \times 10^{12}$	$5,26 \times 10^{-1}$	$1,89 \times 10^{-2}$	$3,59 \times 10^{-2}$
N. Zelândia	791	$2,69 \times 10^8$	$5,00 \times 10^{-3}$	$5,27 \times 10^{-7}$	$1,06 \times 10^{-4}$
Alemanha	17.500	$3,49 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^{-1}$	$6,84 \times 10^{-4}$	$6,19 \times 10^{-3}$
Holanda	3.702	$4,15 \times 10^{10}$	$2,34 \times 10^{-2}$	$8,14 \times 10^{-5}$	$3,48 \times 10^{-3}$
Espanha	2.090	$5,05 \times 10^8$	$1,32 \times 10^{-2}$	$9,90 \times 10^{-7}$	$7,50 \times 10^{-5}$
Japão	15.300	$3,78 \times 10^{11}$	$9,67 \times 10^{-2}$	$7,41 \times 10^{-4}$	$7,67 \times 10^{-3}$
Suíça	733	$4,13 \times 10^{10}$	$4,63 \times 10^{-3}$	$8,10 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-2}$
Brasil 1996	27.700	$8,55 \times 10^{12}$	$1,75 \times 10^{-1}$	$1,68 \times 10^{-2}$	$9,58 \times 10^{-2}$
Itália 1989	12.600	$3,10 \times 10^{10}$	$7,96 \times 10^{-2}$	$6,08 \times 10^{-5}$	$7,64 \times 10^{-4}$

Tabela – 15. Transformação algébrica para se alcançar uma equação que permita realizar o cálculo de Cc-PE:

$$C_c - PE = \frac{R}{\frac{Em_T}{A_T}} - \frac{(N+F+R_2)}{\frac{Em_L}{A_L}}$$

onde A_L e Em_L são percentuais da A_T e da Em_T , logo com a utilização da álgebra podemos encontrar uma equação que represente a diferença entre a equação 7 e 8, daí:

$$C_c - PE = \frac{Rx(A_T)}{Em_T} - \frac{(N+F+R_2) \times g \times (A_T)}{yx(Em_T)}$$

$$C_c - PE = \frac{(A_T)}{Em_T} \times \left(R - \frac{g}{y} \times (N+F+R_2) \right)$$

onde y é o percentual da energia e g é o percentual da área da localização geográfica estudada.

Tabela C-16. Fórmula utilizada para realização da Contabilidade ecológica.

Lodo Ativado SSA

$$R = 1,24 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$(N+F+R_2) = 3,53 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$\frac{A_T}{Em_T} = \frac{5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2}{1,583 \times 10^{25} \text{ sej}} = 3,222 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{sej}}$$

$$\frac{A_T}{Em_T} \times \left(R - \frac{g}{y} \times (N+F+R_2) \right)$$

$$C_c - PE = 3,222 \times 10^{-11} \times (1,24 \times 10^{17} - \frac{g}{y} \times 3,53 \times 10^{17})$$

Lodo Ativado CSA

$$R = 1,24 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$(N + F + R_2) = 5,31 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$\frac{A_T}{Em_T} \times (R - \frac{g}{y} \times (N + F + R_2))$$

$$3,222 \times 10^{-11} \times (1,24 \times 10^{17} - \frac{g}{y} \times 5,31 \times 10^{17})$$

Biodigestor SSA e CSA

$$R = (2,75 \times 10^{12} + 3,77 \times 10^{14}) \text{ sej} = 3,80 \times 10^{14} \text{ sej}$$

$$(N + F + R_2) = (2,372 \times 10^6) \text{ sej}$$

$$3,222 \times 10^{-11} \times (3,80 \times 10^{14} - \frac{g}{y} \times 2,372 \times 10^{17})$$

Tabela C-17. Cálculo da Área de Suporte renovável (AS_r)

Lodo Ativado SSA

$$(F+N+R_2) = 3,53 \times 10^{17} \text{ sej/ano}$$

$$\text{Empd do Brasil} = \frac{1,93 \times 10^{24} \text{ sej/ano}}{8,55 \times 10^{12} \text{ m}^2} = 2,26 \times 10^{11} \text{ sej/m}^2 \times \text{ano}$$

$$AS_r = \frac{(F+N+R_2) \text{ sej/ano}}{\text{Empd} \text{ sej/m}^2 \times \text{ano}}$$

$$AS_r = \frac{3,53 \times 10^{17} \text{ sej/ano}}{2,26 \times 10^{11} \text{ sej/m}^2 \times \text{ano}} = 1,56 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$AS_r = \frac{1,56 \times 10^6 \text{ m}^2}{504576 \text{ m}^3} = 3,09 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

Lodo Ativado CSA

$$(F+N+R_2) = 5,31 \times 10^{17} \text{ sej/ano}$$

$$\frac{5,31 \times 10^{17} \text{ sej/ano}}{2,26 \times 10^{11} \text{ sej/m}^2 \times \text{ano}} = 2,35 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$AS_r = \frac{2,35 \times 10^6 \text{ m}^2}{504576 \text{ m}^3} = 4,66 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

Biodigestor SSA e CSA

$$(F+N+R_2) = 2,372 \times 10^{16} \text{ sej/ano}$$

$$AS_r = \frac{2,372 \times 10^{16} \text{ sej/ano}}{2,26 \times 10^{11} \text{ sej/m}^2 \times \text{ano}} = 1,05 \times 10^5 \text{ m}^2$$

$$AS_r = \frac{1,05 \times 10^5 \text{ m}^2}{30275 \text{ m}^3} = 3,47 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

Tabela -18. Cálculo da energia renovável desejável (R^*).

Os valores de ELR foram retirados de COELHO, et al. (2002).

$$R^* = \frac{(F + N + R_2) \text{ sej}}{ELR_r}$$

Lodo Ativado SSA

$$R = 1,24 \times 10^{17}$$

$$(F+N+R_2) = 3,53 \times 10^{17}$$

$$ELR_r = 0,44$$

$$R^* = \frac{3,53 \times 10^{17} \text{ sej}}{0,44} = 8,02 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$\% \text{ do } R \text{ ideal} = \frac{R}{R^*} = \frac{1,24 \times 10^{17}}{8,02 \times 10^{17}} = 15\% \text{ sej/sej}$$

Lodo Ativado CSA

$$R = 1,24 \times 10^{17}$$

$$(F+N+R_2) = 5,31 \times 10^{17}$$

$$ELR_r = 0,44$$

$$R^* = \frac{5,31 \times 10^{17} \text{ sej}}{0,44} = 1,21 \times 10^{18} \text{ sej}$$

$$\% \text{ do } R \text{ ideal} = \frac{R}{R^*} = \frac{1,24 \times 10^{17}}{1,21 \times 10^{18}} = 10\% \text{ sej/sej}$$

Cálculo de R^* para o Biodigestor SSA e CSA

$$R = 3,80 \times 10^{14}$$

$$(F+N+R_2) = 2,37 \times 10^{16}$$

$$ELR_r = 0,44$$

$$R^* = \frac{2,37 \times 10^{16} \text{ sej}}{0,44} = 5,39 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$\% \text{ do } R \text{ ideal} = \frac{R}{R^*} = \frac{3,80 \times 10^{14}}{5,39 \times 10^{16}} = 1\% \text{ sej/sej}$$

Tabela C-19. Cálculos da área direta e indireta

Lodo Ativado SSA

$$A_D = 1.344 \text{ m}^2 = 1,34 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$A_D = 1.344 \text{ m}^2 / 504.576 \text{ m}^3 = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ de área por m}^3 \text{ de efluente tratado.}$$

$$A_I = (3,04 \times 10^{17} \text{ sej} \times 1344 \text{ m}^2) / 1,25 \times 10^{17} \text{ sej} = 3,27 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$A_I = 3,27 \times 10^3 \text{ m}^2 / 504.576 \text{ m}^3 = 6,48 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ de área por m}^3 \text{ de efluente}$$

Biodigestor SSAe CSA

$$A_D = 54,76 \text{ m}^2 = 5,48 \times 10^1 \text{ m}^2$$

$$A_D = 54,76 \text{ m}^2 / 30.275 \text{ m}^3 = 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ de área por m}^3 \text{ de efluente tratado.}$$

$$A_I = (2,37 \times 10^{16} \text{ sej} \times 54,76 \text{ m}^2) / (3,79 \times 10^{14} \text{ sej}) = 3,42 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$A_I = 3,42 \times 10^3 \text{ m}^2 / 30.275 \text{ m}^3 = 1,13 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ de área por m}^3 \text{ de efluente}$$

Lodo Ativado CSA

$$A_I = (4,82 \times 10^{17} \text{ sej} \times 1344 \text{ m}^2) / 1,25 \times 10^{17} \text{ sej} = 5,18 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$A_I = 5,18 \times 10^3 \text{ m}^2 / 504.576 \text{ m}^3 = 1,03 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ de área por m}^3 \text{ de efluente}$$

Tabela C-20. Cálculo da Área de Suporte, Tabela 16.

Lodo Ativado CSA

Energia Cinética do Vento

$$\text{Emissões poluentes (CH}_4\text{)} = 2,58 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$\text{Concentração natural} = 1745 \text{ ppt} (1,75 \times 10^{-9} \text{ kg/kg de ar}) \text{ (IPCC, p. 244)}$$

$$\text{Energia Cinética do vento} = 1/2 \times \text{poluente/concentração natural} \times (\text{velocidade do vento})$$

$$\text{Energia Cinética do vento} = 1/2 \times 2,58 \times 10^4 / 1,75 \times 10^{-9} \text{ kg} \times 4^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,18 \times 10^{14} \text{ J}$$

$$\text{Emissões poluentes (CO}_2\text{)} = 1,06 \times 10^2 \text{ kg}$$

$$\text{Concentração natural} = 367 \text{ ppm} (3,67 \times 10^{-4} \text{ kg/kg de ar}) \text{ (IPCC, 1996, p. 185)}$$

$$\text{Energia Cinética do ar} = 1/2 \times \text{poluente/concentração natural} \times (\text{velocidade do vento})^2$$

Energia Cinética do ar = $1/2 \times 1,06 \times 10^2 / 3,67 \times 10^{-4} \text{ kg} \times 4^2 \text{ m/s} = 2,31 \times 10^6 \text{ Joules}$

$R_2 = (1,18 \times 10^{14} + 2,31 \times 10^6) \text{ J} \times 1,50 \times 10^3 \text{ sej/J} = 1,77 \times 10^{17} \text{ sej}$

$As = 1,77 \times 10^{17} \text{ sej} / 1,83 \times 10^{10} \text{ sej/m}^2 = 9,67 \times 10^6 \text{ m}^2$

$As = 9,67 \times 10^6 \text{ m}^2 / 504.576 \text{ m}^3 = 19,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Biodigestor CSA

Energia Cinética do Vento

Emissões poluentes (CO_2) = $5,02 \times 10^3 \text{ kg}$

Concentração natural = 367 ppm ($3,67 \times 10^{-4} \text{ kg/kg}$ de ar (IPCC, p. 185))

Energia Cinética do ar = $1/2 \times \text{poluente}/\text{concentração natural} \times (\text{velocidade do vento})^2$

Energia Cinética do ar = $1/2 \times 5,02 \times 10^3 / 3,67 \times 10^{-4} \text{ kg} \times 4^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,09 \times 10^8 \text{ Joules}$

$R_2 = 1,09 \times 10^8 \text{ J} \times 1,50 \times 10^3 \text{ sej/J} = 1,64 \times 10^{11} \text{ sej}$

$As = 1,64 \times 10^{11} \text{ sej} / 1,83 \times 10^{10} \text{ sej/m}^2 = 8,96 \text{ m}^2$

$As = 8,96 \text{ m}^2 / 30.275 \text{ m}^3 = 2,96 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}^3$

Tabela C-21. Indicador de energia re-irradiada da Tabela 18

As transformidades do CH_4 e do CO_2 usadas neste trabalho foi calculada com base nas emissões desses gases pelos sistemas estudados.

Cálculo da Transformidade do CH_4 e do CO_2 .

Transformidade do CH_4 = $(6,56 \times 10^{17} \text{ sej}) / (25.834,29 \text{ kg} \times 5,57 \times 10^7 \text{ J/kg}) = 4,56 \times 10^5 \text{ sej/J}$

Transformidade do CO_2 do LA = $(6,56 \times 10^{16} \text{ sej}) / (2,41 \times 10^9 \times 44 \text{ mol/g} \times 2,53 \times 10^4 \text{ J/mol}) = 2,45 \times 10^4 \text{ sej/J}$ (energia do sistema Biodigestor, produção de metano e $\Delta G \text{ CO}_2$)

Transformidade do CO_2 do BIO = $(2,41 \times 10^{16} \text{ sej}) / (5.018.750 \text{ g} \times 44 \text{ mol/g} \times 2,53 \times 10^4 \text{ J/mol}) = 4,31 \times 10^3 \text{ sej/J}$ (energia do sistema Biodigestor, produção de metano e $\Delta G \text{ CO}_2$)

$\Delta G \text{ CO}_2 = -nRT = \frac{8,314 \text{ J}}{\text{K} \times \text{mol}} \times 298 \text{ K} \times \ln 367 \times 10^6 = \frac{2,471,57 \text{ J}}{\text{mol}} \times (1,021) = 2,53 \times 10^4 \text{ J/mol}$

LODO ATIVADO CSA

$$\text{Energia do Metano} = 25.834,29 \text{ kg} \times 5,57 \times 10^7 \text{ J/kg} \times 4,56 \times 10^5 \text{ sej/J} = 6,56 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$\text{Energia Irradiada} = 4,4 \text{ W.ano.m}^{-2} \times 10^{-15} \cdot \text{g}^{-1} \times 25.834,29 \text{ kg} \times 10^3 \text{ g/kg} \times 5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2 \times 3,15 \times 10^7 \text{ seg/ano} = 1,83 \times 10^{15} \text{ J}$$

$$\text{Energia Irradiada} = 1,83 \times 10^{15} \text{ J} \times 4,56 \times 10^5 \text{ sej/J} = 8,34 \times 10^{20} \text{ sej}$$

$$\text{Energia do CO}_2 = 2,41 \times 10^7 \text{ g} \times 44 \text{ mol/g} \times 2,53 \times 10^4 \text{ J/mol} \times 2,45 \times 10^4 \text{ sej/J} = 6,56 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$\text{Energia Irradiada} = 0,42 \text{ W.ano.m}^{-2} \times 10^{-15} \cdot \text{g}^{-1} \times 2,41 \times 10^7 \text{ g} \times 5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2 \times 3,15 \times 10^7 \text{ seg/ano} = 1,63 \times 10^{14} \text{ J}$$

$$\text{Energia Irradiada: } 1,63 \times 10^{14} \text{ J} \times 2,45 \times 10^4 \text{ sej/J} = 3,98 \times 10^{18} \text{ sej}$$

$$\text{TOTAL da energia irradiada} = 8,34 \times 10^{20} \text{ sej} + 3,98 \times 10^{18} \text{ sej} = 8,38 \times 10^{20} \text{ sej}$$

$$\text{Energia re-irradiada} = \text{energia do sistema} - \text{energia irradiada}$$

$$\text{Energia re-irradiada} = 6,56 \times 10^{17} \text{ sej} - 8,38 \times 10^{20} \text{ sej} = -8,38 \times 10^{20} \text{ sej}$$

BIODIGESTOR CSA

$$\text{Energia do CO}_2: 5.018.750 \text{ g} \times 44 \text{ mol/g} \times 2,53 \times 10^4 \text{ J/mol} \times 4,31 \times 10^3 \text{ sej/J} = 2,41 \times 10^{16} \text{ sej}$$

$$\text{Energia irradiada: } 0,42 \text{ W.ano.m}^{-2} \times 10^{-15} \cdot \text{g}^{-1} \times 5.018.750 \text{ g} \times 5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2 \times 3,15 \times 10^7 \text{ seg/ano} = 3,39 \times 10^{13} \text{ J}$$

$$\text{Energia irradiada: } 3,39 \times 10^{13} \text{ J} \times 4,31 \times 10^3 \text{ sej/J} = 1,46 \times 10^{17} \text{ sej}$$

$$\text{Energia re-irradiada} = 2,41 \times 10^{16} \text{ sej} - 1,46 \times 10^{17} \text{ sej} = -1,22 \times 10^{17} \text{ sej}$$

Tabela C-22. Cálculo da A_{RE} .

$$A_{RE} = (8,38 \times 10^{20} \text{ sej}) / (1,83 \times 10^{10} \text{ sej/m}^2) = 4,58 \times 10^{10} \text{ m}^2$$


$$A_{RE} = (4,58 \times 10^{10} \text{ m}^2) / (504.576 \text{ m}^3) = 9,08 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$A_{RE} = (1,22 \times 10^{17} \text{ sej}) / (1,83 \times 10^{10} \text{ sej/m}^2) = 6,67 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$A_{RE} = (6,67 \times 10^{10} \text{ m}^2) / (30.275 \text{ m}^3) = 2,20 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

ANEXO D

1. Laudo de Análises da Estação de Tratamento de Efluentes por Biodigestão.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA
LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL

LAUDO DE ANÁLISES


Local = comunidade Independência, Petrópolis, RJ
 Origem das amostras = biodigestor de tratamento de esgoto
 Data da coleta = 04/08/2004
 Hora da coleta = 11:00 – 11:30 h
 Pontos de coleta = caixas de entrada e saída do biodigestor
 Responsável pela coleta = Magali (Lab. Tecnologia Ambiental)
 Recebimento no lab.: 04/08/2004
 Hora de chegada no lab.: 14:30 h
 Responsável pelas análises = Gisele (Lab. Tecnologia Ambiental)

Resultados:

parâmetro	unidade	Entrada	Saída
pH		6,9	6,8
RNFT	mg/L	21067	24
Material sedimentável	mL/L	300	< 1,0
DQO	mgO ₂ /L	676,1	59
DBO	mgO ₂ /L	305,7	5,8
Óleos e graxas	mg/L	47,8	30,9

Metodologias:
 pH - Método potenciométrico (FEEMA MF 426)
 RNFT - Método gravimétrico (FEEMA MF 438)
 Material Sedimentável - Cone de Imhoff (FEEMA MF 416)
 DQO – Método refluxo fechado, colorimétrico (Standard Methods)
 DBO – Método padrão (FEEMA MF 439.R1)
 Óleos e graxas – Extração em Soxhlet (FEEMA MF 412)



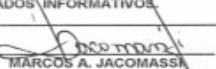
Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2004.



Responsável técnico:
 Prof. Dr^a Magali C. Cammarota
 CRQ 3ª região nº03312604


2. Laudo de Análises da Estação de Tratamento de Efluentes por Lodo Ativado.

2.1. Laudo de Análise na entrada do tratamento do esgoto.

 AMBIOTEC LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL S/C LTDA	06 / 10 / 2004										
LAUDO DE ANÁLISE											
Nº REGISTRO: SAA - ETE 04/152											
<p>PRODUTO : ÁGUA RESIDUARIA. PONTO DE AMOSTRAGEM: CAMPO GALVÃO - ETE ENTRADA CLIENTE : SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUAS E ESGOTOS DE GUARATINGUETÁ - SAAEG ENDEREÇO: RUA XAVANTES, 1880 - JD. AEROPORTO - GUARATINGUETÁ - SP. MODALIDADE DA ANÁLISE : QUÍMICA. DESCRIÇÃO DA AMOSTRA : AMOSTRA INDIVIDUAL. DATA DA AMOSTRAGEM : 30 / 09 / 2004 RESPONSÁVEL PELA AMOSTRAGEM : AMBIOTEC</p>											
<u>RESULTADO</u>											
<table border="0"> <thead> <tr> <th data-bbox="485 882 675 902"><u>ITENS ANALISADOS</u></th> <th data-bbox="943 882 1074 902"><u>RESULTADOS</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="485 916 512 936">pH</td> <td data-bbox="943 916 975 936">7,3</td> </tr> <tr> <td data-bbox="485 952 655 972">OLÉOS E GRAXAS</td> <td data-bbox="943 952 1066 972">41,1 mg / L</td> </tr> <tr> <td data-bbox="485 987 858 1008">DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)</td> <td data-bbox="943 987 1066 1008">492,0 mg / L</td> </tr> <tr> <td data-bbox="485 1023 890 1043">DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)</td> <td data-bbox="943 1023 1066 1043">256,0 mg / L</td> </tr> </tbody> </table>	<u>ITENS ANALISADOS</u>	<u>RESULTADOS</u>	pH	7,3	OLÉOS E GRAXAS	41,1 mg / L	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	492,0 mg / L	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	256,0 mg / L	
<u>ITENS ANALISADOS</u>	<u>RESULTADOS</u>										
pH	7,3										
OLÉOS E GRAXAS	41,1 mg / L										
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	492,0 mg / L										
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	256,0 mg / L										
<p> ANALISTA</p>											
CONCLUSÕES : RESULTADOS INFORMATIVOS.											
TÉCNICO RESPONSÁVEL  MARCOS A. JACOMASSI #RQ: 04310907 4ª REGIÃO											
Rua São Carlos, 11 - Jardim das Industrias CEP: 12.240 - 230 CGC: 00.825.982 / 0001-50 São José dos Campos - São Paulo Tel (12) 3934-4935 / Fax: (12) 3933-0014 Insc. Municipal: 094.166-2											

2.2. Laudo de Análise na saída do tratamento do esgoto.

1 de 1

 AMBIOTEC LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL S/C LTDA	DATA: 06 / 10 / 2004
	Nº REGISTRO: SAA - ETE 04/155

LAUDO DE ANÁLISE

PRODUTO : ÁGUA RESIDUARIA.
 PONTO DE AMOSTRAGEM: CAMPO GALVÃO - ETE SAÍDA
 CLIENTE : SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUAS E ESGOTOS DE GUARATINGUETÁ - SAAEG
 ENDEREÇO: RUA XAVANTES, 1880 - JD. AEROPORTO - GUARATINGUETÁ - SP.
 MODALIDADE DA ANÁLISE : QUÍMICA.
 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA : AMOSTRA INDIVIDUAL.
 DATA DA AMOSTRAGEM : 30 / 09 / 2004
 RESPONSÁVEL PELA AMOSTRAGEM : AMBIOTEC

RESULTADO

<u>ITENS ANALISADOS</u>	<u>RESULTADO</u>	<u>LIMITES DECRETO 8468</u>
pH	6,8	5 a 9
MATERIAIS SEDIMENTÁVEIS	< 0,1 mL / L.h	1,0 mL / L.h
OLÉOS E GRAXAS	29,6 mg / L	100 mg / L
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	33,0 mg / L	-----
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	4,3 mg / L	60 mg / L ou > 80% Redução

Heize Faria

 ANALISTA

CONCLUSÕES : Os itens analisados encontram-se de acordo com o Decreto 8468.

TECNICO RESPONSÁVEL *Marcos A. Jacomassi*
 MARCOS A. JACOMASSI
 CRQ.: 04310907 4ª REGIÃO

Rua São Carlos, 11 - Jardim das Industrias CEP: 12.240 - 230
 São José dos Campos - São Paulo Tel (12) 3934-4935 / Fax: (12) 3933-0014

CGC: 00.825.982 / 0001-50
 Insc. Municipal: 094.166-2

W