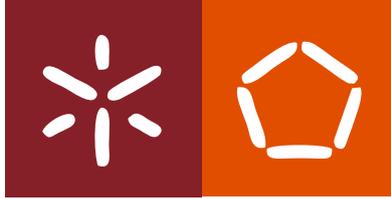


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carlos Amaury José Moraes

Implementação, avaliação e otimização de soluções custo-eficazes para valorização de resíduos e de águas residuais

Implementation, evaluation and optimization of cost-effective solutions for waste and wastewater valorisation



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carlos Amaury José Moraes

**Implementação, avaliação e otimização
de soluções custo eficazes
para valorização de resíduos e de águas
residuais**

**Implementation, evaluation and
optimization of cost-effective
solutions for waste and wastewater
valorisation**

**Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia
Biológica,**
Ramo de Tecnologias Ambientais

Trabalho elaborado sob a orientação do
**Professor João Monteiro Peixoto,
Engenheiro Sérgio Bruno Costa e o
Engenheiro Sérgio Bruno Almeida.**

Anexo 3

DECLARAÇÃO

Nome

Carlos Amaury José Moraes

Endereço electrónico: _____ Telefone: _____ / _____

Número do Bilhete de Identidade: _____

Título dissertação /tese

Implementação, avaliação e otimização de soluções custo-eficazes para valorização de resíduos e de águas residuais

Orientador(es):

Professor João Monteiro Peixoto

Ano de conclusão: **2016**

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Mestrado Integrado em Engenharia Biológica, Ramo Ambiental.

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respectiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
 2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, , MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
- DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, 15/12/2016

Assinatura: _____

Agradecimentos

Para a realização desta tese foram fundamentais os apoios e orientações de várias pessoas a quem exponho a minha mais profunda gratidão:

Ao meu orientador, Senhor Professor Engenheiro João Monteiro Peixoto, ao qual declaro os meus sinceros agradecimentos por toda a atenção, paciência, confiança e disponibilidade na orientação deste trabalho

À Empresa SIMBIENTE – Engenharia e Gestão Ambiental -, pela oportunidade de me ter concedido o Estágio Curricular do qual surgiu o presente trabalho, e ao Engenheiro Sérgio Bruno Costa, que acompanhou-me durante este percurso, confiou-me o acesso à sua empresa e permitiu-me alargar os meus conhecimentos, estando orgulhoso da oportunidade e da sua amizade. Também uma palavra de apreço especial ao Engenheiro Sérgio Almeida, pelo seu acompanhamento e orientação de proximidade, sem a qual este caminho teria sido muito mais difícil e menos aliciante.

Aos restantes colaboradores da SIMBIENTE, que amavelmente me receberam, me apoiaram e me forneceram material e informações essenciais à realização desta tese.

À Universidade do Minho e ao Departamento de Engenharia Biológica, pelos ensinamentos e apoio.

A todos, muito obrigado!

Resumo

Esta tese demonstra, através de casos práticos e reais, que é possível alterar o paradigma do modelo de desenvolvimento das sociedades modernas, passando de uma lógica linear (de produção – utilização – eliminação) para uma lógica circular (na qual se redireciona o foco das atividades para a recuperação, reutilização, reparação, renovação e reciclagem de materiais, passando os “resíduos” a ser encarados (e utilizados) como “recursos”).

É este o caminho que permitirá evoluir da teoria para a prática da designada “economia circular”, na qual o potencial de valorização dos resíduos (sólidos e líquidos) terá um papel fundamental. Esta tese analisa três casos de estudo que evidenciam essa evolução de paradigma em diferentes contextos técnicos, tecnológicos e socioculturais.

O primeiro projeto (SARASWATI), a decorrer na Índia e enquadrado pelo 7.º Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia, tem como intuito contribuir para a melhoria das condições de vida de populações rurais remotas que não têm acesso a eletricidade. Recuperando os efluentes domésticos através de digestores anaeróbios de pequena dimensão para produzir biogás (para cozinha, por exemplo) e eletricidade (para refrigeração). Dado o contexto socioeconómico e cultural dos beneficiários do projeto, um dos desafios é conseguir uma solução tecnicamente viável mas que não necessite de ações de operação e manutenção complexas, focando-se numa abordagem “*back to basics*”.

O segundo projeto, em fase de execução, está a decorrer no Brasil e visa a avaliação dos impactes ambientais de uma unidade de recuperação de energia por incineração de resíduos sólidos urbanos (“*waste-to-energy*”) na área metropolitana do Rio de Janeiro. A concretizar-se, este empreendimento será a primeira instalação deste tipo no Brasil, sendo uma solução que tem demonstrado provas efetivas na Europa e nos EUA.

Por fim, o terceiro projeto (INCOVER) é enquadrado pelo programa Horizonte 2020 da União Europeia e tem como objetivo a recuperação de CH₄, a recirculação de CO₂ no processo e o aproveitamento de subprodutos do tratamento de efluentes para produção de bioplásticos, sendo implementadas duas instalações piloto em Espanha e outra na Alemanha. Nesta tese será abordado este projeto através da técnica de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para procurar respostas de acordo com norma adequada e no intuito de estudar a maximização do impacto do projeto.

Abstract

This thesis demonstrates, through practical and real cases, that it is possible to change the paradigm of the development model of modern societies, moving from a linear logic (from production - use - elimination) to a circular logic (in which the focus of the Activities for the recovery, reuse, repair, renewal and recycling of materials, and "waste" to be considered (and used) as "resources").

This is the path that will allow us to evolve from theory to the practice of the so-called "circular economy", in which the potential for recovering waste (solids and liquids) will play a fundamental role. This thesis analyzes three case studies that show this paradigm evolution in different technical, technological and sociocultural contexts.

The first project (SARASWATI) in India and under the 7th Framework Program for Research and Technological Development of the European Union aims to contribute to the improvement of the living conditions of remote rural populations who do not have access to electricity. Recovering domestic effluents through small anaerobic digesters to produce biogas (for cooking, for example) and electricity (for refrigeration). Given the socioeconomic and cultural context of the project beneficiaries, one of the challenges is to achieve a technically feasible solution but does not require complex operations and maintenance actions, focusing on a "back to basics" approach.

The second project, currently underway, is underway in Brazil and aims to evaluate the environmental impacts of a waste-to-energy energy recovery unit in the metropolitan area of Rio de Janeiro . To be realized, this project will be the first installation of its kind in Brazil, a solution that has demonstrated effective evidence in Europe and the USA.

Finally, the third project (INCOVER) is framed by the Horizon 2020 program of the European Union and aims at the recovery of CH_4 , the recirculation of CO_2 in the process and the use of by-products of the treatment of effluents for the production of bioplastics, with two Pilot plants in Spain and another in Germany. In this thesis will be approached this project through the technique of Life Cycle Analysis (LCA) to look for answers according to appropriate standard and in order to study the maximization of the impact of the project.

Índice

Conteúdo

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Índice.....	v
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Quadros.....	ix
Abreviaturas	x
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Relevância do Tema	1
1.2. Estrutura da Dissertação	2
2. Enquadramento	3
2.1.1. Definição de Âmbito	3
2.1.2. Projetos - Objetivos.....	3
3. Estado da Arte	5
3.1. Gestão Integrada de Recursos Hídricos	5
3.2. Gestão e Valorização de Resíduos	7
3.3. Desenvolvimento e Inovação Tecnológica	11
3.3.1. Descrição Geral das Principais Rota Tecnológicas	12
3.3.2. Análise Comparativa das Alternativas Tecnológicas	20
4. Solução para Valorização de Resíduos e Água Residuais	26
4.1. Projeto 1 - SARASWATI	26
4.1.1. Digestor Anaeróbio Móvel de Lamas (Simbiente).....	26
4.1.2. Informação Geral	29
4.1.3. Local do Caso de Estudo em Kharagpur, West Bengal	29
4.1.4. Digestão Anaeróbia	30
4.1.5. Localização	30
4.1.6. <i>Status quo</i> - Águas Residuais	31
4.1.7. Status quo – Resíduos Sólidos	32
4.1.8. Clima	34
4.1.9. Legislação e normas	35
4.1.10. Digestor Anaeróbio Portátil para Nível Doméstico	37
4.1.10.1. Descrição da Tecnologia de Tratamento	37
4.1.10.2. Digestor Anaeróbio	38
4.1.10.3. Matéria-prima.....	39
4.1.10.4. Razão C:N.....	40
4.1.10.5. Produto da Digestão (Digerido).....	41
4.1.10.6. Biogás.....	42
4.1.10.7. Refrigeração por Absorção (Princípio de Operação)	42
4.1.11. Desenho Técnico.....	44
4.1.11.1. Agregado Familiar Alvo	45
4.1.11.2. Dimensionamento do Digestor Anaeróbio	46
4.1.11.3. Características da Matéria-Prima	47
4.1.11.4. Uso e armazenamento do biogás	50
4.1.11.5. Armazenamento e Produção do Efluente Após a Digestão	51

4.1.11.6.	Unidade de refrigeração	51
4.1.12.	Viabilidade Financeira	52
4.2.	Projeto 2 – EIA URE Cajú – Brasil	53
4.2.1.	Descrição Global do Processo	54
4.2.2.	Pegada Ecológica	56
4.2.3.	Localização	57
4.2.4.	Funcionamento	58
4.2.5.	Dados técnicos relevantes ao projeto.....	59
4.2.6.	Emissões e Saúde Pública	61
4.2.7.	Consumo de Água.....	62
4.2.8.	Impactes Ambientais	62
4.2.9.	Cinzas	63
4.2.10.	Efluentes	65
4.2.11.	Efluentes Líquidos.....	65
4.2.12.	Resíduos Sólidos.....	66
4.2.13.	Consumo de Água.....	68
4.2.14.	Consumo de Energia Elétrica	68
4.2.15.	Desmantelamento da área anexa à obra	68
4.2.16.	Estudo Preliminar de Viabilidade Económica e Financeira	68
4.2.17.	Alternativas Locacionais	71
4.2.18.	Justificação da Alternativa Adotada	74
4.2.19.	Análise do Cenário de Não Realização do Projeto	79
4.3.	Projeto 3 – INCOVER.....	80
4.3.1.	Objetivo Técnico	82
4.3.2.	Metodologia	82
4.3.3.	Deteção Ótica para Monitoração e Controle de Bioprocessos	86
4.3.4.	<i>Decision Support System (SSD) e Avaliação da Sustentabilidade</i>	87
4.3.5.	Potencial de Inovação	87
4.3.6.	Avaliação de Ciclo de Vida	88
5.	Discussão Geral e Conclusões.....	95
5.1.1.	SARASWATI	95
5.2.	URE - Caju	98
5.3.	INCOVER.....	101
	Referências Bibliográficas.....	103
	Anexos	107
A.	Estudo de viabilidade – SARASWATI	107
	Dimensionamento	107
	Disponibilidade de matéria-prima na produção de biogás.....	108
B.	Resumo Técnico – URE Caju.....	115

Índice de Figuras

Conteúdo

Figura 1. Geração de RSU no Brasil (2014-2015) (Fonte: Abrelpe).....	9
Figura 2. Coleta de RSU no Brasil (2014-2015) (Fonte: ABRELPE).....	9
Figura 3. Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/d) (Fonte: ABRELPE).	10
Figura 4. Disposição final de RSU no Estado do Rio de Janeiro por tipo de destinação (t/d) (Fonte: ABRELPE).	11
Figura 5. Principais opções e rotas tecnológicas para gerenciamento dos resíduos sólidos (Jucá, 2014).	12
Figura 6. Desenho esquemático do sistema de PBD.	28
Figura 7. Mapa da Índia. (A) West Bengal localização / (B) Paschim Medinipur distrito (Kharagpur/Gopali).....	30
Figura 8. Layout esquemático da estação de tratamento de PBD (alternativa 1).	38
Figura 9. Ciclo básico de refrigeração por adsorção (Ahmed N. Shmroukh, 2013).	43
Figura 10. Ciclo de um refrigerador de absorção.....	44
Figura 11. Tanque digestor anaeróbio.	47
Figura 12. Gasómetro	50
Figura 13. Refrigeração por absorção (frente e trás) (fonte: Feasibility study – PBD).....	52
Figura 14. Waste-to-Energy (ESWET, 2008).	54
Figura 15. Processos de tratamento de RSU (A/S, 2012).	55
Figura 16. Representação gráfica o conceito de uma incineradora WTE.	56
Figura 17. Representação conceitual uma seção longitudinal de uma planta de WTE. (ESWET, 2008).	56
Figura 18. Representa graficamente um comparativo entre as soluções de tratamento de RSU (Tecnologia, 2015).....	57
Figura 19. Composição dos RSU nos últimos 21 anos do município do Rio de Janeiro - % em peso.....	60
Figura 20. Parâmetros Básicos de Projeto (Babcock & Wilcox Volund A/S, 2012).	61
Figura 21. Fluxo das cinzas numa planta de URE (Cajú, 2015).....	63
Figura 22. Emissões anuais da Central Termoeletrica. Resumo esquemático do processo dos gases de combustão (Tecnologia, 2015) (A. Phongphiphat, 2011).....	64
Figura 23. Esquema da Central WTE com destino do chorume (Cajú,2015).	65
Figura 24. Estimativa preliminar dos resíduos sólidos e perigosos a serem gerados na fase de implementação na CTR Caju (Cajú, 2015).	67
Figura 25. Caju.	72
Figura 26. Jacarepaguá (Vargem Pequena).....	72
Figura 27. Santa Cruz.	72
Figura 28. Projeção de panorama de destinação de resíduos sólidos (Santos, 2014).....	76
Figura 29. Tratamento de resíduos sólidos urbanos na Europa (Santos, 2014).	76
Figura 30. Rota Tecnológica para municípios com população superior a 1 000 000 de habitantes	77
Figura 31. Resíduo tratado termicamente no Mundo por tecnologia (Santos, 2014).....	78
Figura 32. Trajeto entre unidade do Caju e CTR Seropédica (Proposal, 2015).....	79

Figura 33. INCOVER CONCEITO: a partir de águas residuais para produtos de valor agregado. Indústria alvo para a economia circular: indústrias de embalagens, químicos, purificação/automotiva-/impressora-tinta.....	81
Figura 34 b. INCOVER caso de estudo 1 esquema a ser implementado nas instalações da UPC (Espanha).	83
Figura 35 b. INCOVER, esquema do caso de estudo 2, a ser implementado nas instalações da Aqualia (Espanha).	84
Figura 36. Biorreator de tanque agitado (0,4 m ³) (superior esquerdo) e unidade de eletrodialise (superior direito) situado no UFZ e o local de demonstração BDZ para o tratamento de águas residuais descentralizadas para ser utilizado no caso de estudo INCOVER 3.	85
Figura 37. INCOVER, caso de estudo 3. Esquema a ser implementado nas instalações UFZ (Alemanha) para água residual industrial.	85
Figura 38. Característica das tecnologias convencionais e solução INCOVER para 800 plantas PE WW com 20 anos de tempo de vida útil (Proposal, 2015) (modificado de Metcalf e Eddy, 2004; Molinos et al, 2012; De Gisi et al, 2015.).....	88
Figura 39. Balanço de massa e energia simplificada para 1 m ³ de água residual através de uma solução INCOVER. Matéria inorgânica não foi tida em conta (Proposal, 2015).	88
Figura 40. Fases de uma ACV relativa a ISO 14044: 2006 (Wayne Trusty, 2010).	90
Figura 41. Coleção genérica de dados (Dong, 2012).	91
Figura 42. ETAR de La Gavia no Gabi 5 (Dong, 2012).	93
Figura 43. O piloto está instalado em Kharagpur Campus (IIT-Kgp) – West Bengal.	98
Figura 44. Análise SWOT para o projeto INCOVER (Proposal, 2015).	102
Figura 45. Projeto de engenharia detalhado do digestor de lamas móvel anaeróbio.	107

Índice de Quadros

Conteúdo

Quadro 1. Geração e Coleta de RSU no Estado do Rio de Janeiro (2014-2015) (t/d) (Fonte: ABRELPE)	9
Quadro 2. Quadro comparativo das alternativas tecnológicas consideradas	21
Quadro 3. Composição relativa de biogás a partir AD (Simbiente, 2014).....	28
Quadro 4. Composição das águas residuais por pessoa (fonte: Feasibility study – PBD)	31
Quadro 5. Tratamento e geração de efluentes domésticos (fonte: Feasibility study – PBD)	32
Quadro 6. Agregados familiares por tipo de instalação de latrina e por tipo de conectividade de drenagem para descarga de águas residuais em Bengala Ocidental (fonte: Feasibility study – PBD)	33
Quadro 7. Geração de RSU em Bengala Ocidental (fonte: Feasibility study – PBD).....	34
Quadro 8. Clima em Kolkata (Paschim Medinipur capital) (fonte: Organization)	35
Quadro 9. Padrões de qualidade de água principal	36
Quadro 10. Terceira alteração de regras ambientais (1993) (parâmetros selecionados)	37
Quadro 11. Características gerais do piloto	38
Quadro 12. TS e VS valores por excrementos humanos (fonte: Feasibility study SARASWATI)....	39
Quadro 13. TS e VS valores para o desperdício de alimentos (fonte: Feasibility study SARASWATI)	40
Quadro 14. Tempo de sobrevivência de patógenos em plantas de biogás em condições mesofílicas	41
Quadro 15. Parâmetros gerais para o agregado familiar alvo (Feasibility study – PBD)	45
Quadro 16. Parâmetros gerais para o <i>design</i> do AD	46
Quadro 17. Características da matéria-prima	49
Quadro 18. Parâmetros gerais para refrigeração por absorção (fonte: Feasibility study – PBD)..	51
Quadro 19. Custos de material e equipamento (fonte: Feasibility study – PBD).....	53
Quadro 20. Custos de manutenção e operação	53
Quadro 21. Parâmetros básicos de projeto (fonte: Cajú, 2015)	59
Quadro 22. Projeção do CAPEX e OPEX por tecnologia (Simbiente, 2016)	69
Quadro 23. Dados de dimensionamento preliminares do projeto	69
Quadro 24. Receitas e despesas preliminares para a opção de manutenção da disposição em aterro (com recuperação de biogás)	70
Quadro 25. Receitas e despesas preliminares para uma URE (incineração) no Caju	70
Quadro 26. Receitas e despesas preliminares para a opção de TMB com produção de CDR no Caju	71
Quadro 27. Receitas e despesas preliminares para a opção de digestão anaeróbia no Caju	71
Quadro 28. Quadro comparativo entre as alternativas locais estudadas	73
Quadro 29. Lista geral de inputs e outputs de uma ETAR.....	94
Quadro 30. Intervenientes e ações na O&M do sistema PBD	96
Quadro 31. Requerimentos técnicos de O&M	96
Quadro 32. Dados de Setembro, 2016	98

Abreviaturas

ACOD	Codigestão Anaeróbia
ACV	Análise de Ciclo de Vida (LCA)
AD	Digestor Anaeróbio (Anaerobic Digester)
AR	Águas Residuais (WW)
BDP	Biodigestor Piloto
C/N	Relação Carbono Azoto
CDR	Compostos derivados de resíduos
EC	Comissão Europeia
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ETR	Estação de tratamento de resíduos
GEE	Gás Efeito de Estufa
<i>HH</i>	Agregado Doméstico (Household)
<i>HRT</i>	Tempo de Residência Hidráulico (Hydraulic retention time)
ICT	Tecnologias de Informação e Comunicação (<i>Information and Communication Technologies</i>)
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)
<i>LPCD</i>	Litros <i>per capita</i> por dia
LPG	Gás de Petróleo Liquefeito
<i>MLD</i>	Milhões de litros por dia
<i>MSW</i>	Resíduos Sólidos Urbanos RSU
<i>MSWR</i>	Recuperação de Resíduos Sólidos Urbanos
<i>O&M</i>	Operação e Manutenção
<i>PBD</i>	Digestor de Biogás Portátil (Portable <i>Biogas Digester</i>)
<i>PE</i>	População equivalente
<i>PHA</i>	Poli-hidroxi-alcenoatos (Polyhydroxyalkanoates)
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SSD	Sistema de Suporte à Decisão (DSS)
TMB	Tratamento Mecânico e Biológico
<i>TN</i>	Azoto Total
<i>TP</i>	Fosforo Total
<i>TS</i>	Sólidos Totais
<i>TSS</i>	Sólidos Totais Suspensos
UE	União Europeia
URE	Unidade de Recuperação de Energia
<i>VS</i>	Sólidos Voláteis
WTE	<i>Waste-to-Energy</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Relevância do Tema

Grande parte da população que vive em condições de falta de saneamento encontra-se em áreas rurais. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) (2010), 79 por cento das pessoas que vivem em áreas rurais não podem contar com instalações sanitárias melhoradas. No entanto, devido à rápida urbanização, em 2050 mais do que a metade da população viverá em áreas urbanas (Voß et al. 2009).

Portanto, é necessário soluções para as áreas rurais e urbanas para assegurarmos o tratamento de águas residuais. Este problema é prevalente na maior parte da Ásia. Uma iniciativa recente do Banco Asiático de Desenvolvimento com o objetivo de promover uma revolução na gestão de águas residuais através de Ásia, destacou que cerca de metade da população do continente asiático vive em cidades e que mais de 90 % das suas águas residuais vão poluir corpos d'água abertos e contaminar o solo, levando a custo humano dramático. Rios sujos, má qualidade das águas subterrâneas e níveis chocantes de saúde pública, especialmente nas zonas carenciadas, são ao principal subproduto desta situação. Além disso, a severa redução nos volumes absolutos de água potável disponíveis para consumo no contexto de uma crescente população asiática, levarão a um problema socioeconómico terrível (Project, 2014).

Um estudo da CPCB (*Central Pollution Control Board*, 2005) mostrou que apenas 6 000 milhões de litros de águas residuais por dia são tratados, resultando em uma taxa de tratamento única de 21 %.

A escassez de águas temporais ou regionais são causadas pelo aumento da densidade populacional, a poluição difusa, a precipitação pouco fiável, aumento da população a curto prazo devido ao turismo e aumento da demanda por irrigação para melhorar a produtividade agrícola (Durham et al., 2005). A Diretiva sobre o tratamento de águas residuais urbanas (artigo 12, TARU, 1991) instou os Estados membros para a reutilização da água tratada "sempre que adequado", e numerosos exemplos de reutilização de águas residuais para diferentes fins são documentados.

A água é reutilizada para irrigação, infiltração, autoclismos ou recuperação de terras, e muitas tecnologias diferentes são aplicadas que variam de sistemas gaseificados convencionais para sistemas de tratamento naturais. Além disso, na Europa estão se tornando cada vez mais populares, estruturas descentralizadas repensadas para o tratamento de águas residuais, que consistem em unidades de tratamento menores para habitações ou assentamentos reduzidos. Sistemas de águas residuais descentralizadas de recuperação estão em uso em edifícios institucionais e instalações industriais (Defrain, 2010). Vários exemplos ilustram como os sistemas alternativos podem ser implementados em países desenvolvidos. A sua utilização não se limita apenas a áreas rurais e países em desenvolvimento com a falta de infraestrutura, mas eles também são usados em um contexto urbano em países desenvolvidos. Mercados de tecnologias de reuso de água estão crescendo, e uma variedade de tecnologias estão disponíveis para atender uma crescente demanda nos países da OCDE e as economias emergentes (OCDE 2009).

1.2. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em três principais capítulos (Capítulo 3,4 e 5). Sendo o primeiro, o capítulo três, uma apresentação do Estado da Arte e esta está subdividida em Gestão Integrada de Recursos Hídricos, Gestão e Valorização de Resíduos e Descrição Geral das Principais Rotas Tecnológicas.

No subcapítulo da Gestão Integrada de Recursos Hídricos, salienta a importância de um processo sistemático de desenvolvimento sustentável face os objetivos sociais, hídricos e económicos. Portanto, a GIRH é definida segundo um processo que promove a gestão e desenvolvimento coordenado da água, da terra e dos recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar social e económico de modo equitativo, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais (Sustainable Sanitation and water management, SSWM, 2014).

No subcapítulo a seguir, Gestão e Valorização de Resíduos, aborda a importância de uma gestão própria e um destino adequado a que os resíduos devem ser alvo. No caso concreto, tomou-se o exemplo da realidade brasileira onde um dos projetos incide. A falta de prevenção, redução e produção de resíduos podem levar a custos excessivos no seu tratamento. Tanto as leis Europeias quanto as Brasileiras, fundamentam a necessidade da valorização através da reciclagem, valorização orgânica seguida da valorização energética, e a sua consequente eliminação adequada (d'Azevedo, 2009).

O terceiro tópico deste capítulo, Descrição Geral das Principais Rotas Tecnológicas, far-se-á um apanhado das diferentes rotas tecnológicas como opções de gerenciamento de resíduos sólidos que mais se destacam como melhores sugestões para os casos que serão abordados ao longo desta presente tese.

O capítulo 4 descreve soluções de valorização de resíduos e águas residuais. Este está, também subdividido em três capítulos, cada um referente aos projetos ao qual o estágio incidiu.

O capítulo 4.1. (Projeto 1 – SARASWATI) descreve o projeto que está a decorrer na Índia e enquadrado pelo 7º Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia, com a temática de recuperação de efluentes e obtenção de biogás através da tecnologia de biodigestor anaeróbio.

O capítulo 4.2. (Projeto 2 – EIA URE Cajú – Brasil) retrata o estudo do processo de incineração WTE, os seus potenciais impactes ambientais e suas vantagens de implementação na realidade da cidade do Rio de Janeiro.

O capítulo 4.3. (Projeto 3 – INCOVER) apresentar-se-á um projeto enquadrado no Programa Horizonte 2020 da União Europeia sobre recuperação de CH₄, recirculação de CO₂ no processo e o aproveitamento de subprodutos. Esta operação decorrerá, em fase piloto, em três ETAR's na Europa em escala real.

Por fim, no capítulo 5 destina-se a análise, sugestões e conclusões destes projetos que encontram-se em andamento.

2. Enquadramento

2.1.1. Definição de Âmbito

A presente tese de estágio realizou-se na empresa *SIMBIENTE, Engenharia e Gestão Ambiental*, que confere uma vasta experiência em atividades de investigação, desenvolvimento, inovação tecnológica na prestação de serviços nas áreas de Engenharia e Gestão Ambiental, além de uma grande experiência na avaliação ambiental estratégica de políticas, planos e programas e em atividades na área do planeamento a diferentes escalas territoriais, bem como em áreas tecnológicas relacionadas com os serviços ambientais e ecossistemas.

2.1.2. Projetos - Objetivos

O seguinte estágio incidiu em diversos projetos europeus de tecnologia ambiental, sendo alguns no âmbito do Horizonte 2020 – Programa-Quadro Comunitário de Investigação e Inovação.

Os projetos abordados foram:

1. SARASWATI, apoio a consolidação, replicação e *up-scaling* de tecnologias sustentáveis de tratamento de efluentes e reuso para Índia.

Este projeto contemplou o estudo sobre a viabilidade de implementação de um biodigestor anaeróbio portátil num aglomerado familiar na Índia de modo a tratar as águas residuais geradas no local e produzir energia elétrica suficiente para alimentar um refrigerador. O biodigestor foi projetado e construído pela Simbiente – Engenharia e Gestão Ambiental - e enviado para o local de estudo. Até ao momento, existe um piloto implementado *on situ* e vem sendo monitorizado por académicos indianos, que reportam as evidências. O objetivo passou por gerir as operações do biodigestor, resolver problemas de *troubleshooting* (dificuldades de operação), com vista à otimização do processo de produção e biogás e consequentemente de energia elétrica.

O projeto SARASWATI dividiu-se em três componentes:

- i. Projeto e construção do reator;
- ii. Acompanhamento e gestão das operações do biodigestor;
- iii. Dimensionamento e construção de um frigorífico de absorção.

Enquanto proposta de estágio, ficou a responsabilidade do relatório de estudo de viabilidade do projeto; a revisão e análise do dimensionamento do biodigestor em funcionamento na Índia; a análise e interpretação contínua dos dados de funcionamento que estavam a ser reportados durante o procedimento de manutenção dos resíduos no biodigestor para a obtenção de metano; e o estudo dos mecanismos possíveis para criação de um sistema de refrigeração que o projeto exigia.

2. EIA URE Brasil. Consistiu na elaboração do estudo de impacto ambiental relativo ao projeto de construção de uma usina de incineração com recuperação energética (URE) no Rio de Janeiro para reduzir a quantidade de resíduos encaminhados para aterro.

Ficou a cargo da SIMBIENTE analisar a adequação do empreendimento com relação ao arcabouço legal pertinente e aos planos e programas governamentais existentes na área de estudo; Identificar os potenciais impactos nas fases de planeamento, construção e operação do empreendimento; Definir medidas mitigadoras, compensatórias e ou potenciadoras dos impactos inerentes às atividades do empreendimento, e os programas de controlo e monitoramento, os quais deverão fazer parte do Sistema de Gestão Ambiental; Apresentar resultados conclusivos sobre o Estudo de Impacte Ambiental referente à viabilidade técnica-económica e ambiental do projeto em análise.

No que diz respeito ao trabalho de estágio, coube a participação nos relatórios técnicos, a verificação dos dados e valores de projeção da capacidade elétrica a que o projeto dispunha-se a cumprir; e a colaboração da montagem do EIA para o licenciamento do empreendimento.

3. INCOVER, Eco Tecnologias inovadoras de recuperação de recursos de águas residuais. O objetivo deste projeto é desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis de valor acrescentado para tratamento de águas residuais municipais e industriais (*wastewater* - WW) por meio de metodologias de monitoramento e controlo de operação inteligentes. À escala de demonstração, as soluções INCOVER irão recuperar energia (biometano) e produtos de valor agregado (bioplásticos, ácidos orgânicos, biofertilizantes, biocarvão, carvão ativado e água de irrigação) de águas residuais municipais, agrícolas e industriais. Para isto, será desenvolvido um sistema de apoio à decisão e avaliação de sustentabilidade, para seleção de soluções de tratamento mais eficientes para facilitar a abordagem integrada de gestão.

A SIMBIENTE, enquanto parceira no projeto, formalizou a proposta junto das entidades Europeias competentes a aprovação da mesma; No decorrer do projeto, fica a cargo de analisar soluções através de ferramentas de Análise de Ciclo de Vida Ambiental, Social e de Sustentabilidade; E orientação das decisões de monitoramento.

Em contributo de trabalho estagiário, houve a participação na proposta; O pré-estudo de Análise de Ciclo de Vida, assim como uma simulação em adequado *software* (Gabi 5.0); Levantamento de dados de *input* e *output* das operações das ETAR's em questão.

3. Estado da Arte

3.1. Gestão Integrada de Recursos Hídricos

O constante crescimento global da população humana e a escassez de água doce requerem necessidades adequadas práticas na gestão de água mundial. Países em desenvolvimento, poluição da água e o acesso à recursos energéticos apresentam desafios para a saúde humana, saúde ambiental e desenvolvimento econômico. O constante acúmulo de excrementos humanos e a falta gestão contribuem diretamente para a contaminação, falta de disponibilidade e de abastecimento de água fresca.

A população da Índia (caso que será abordado no projeto SARASWATI) é responsável por 16 por cento da população mundial, mas tem apenas quatro por cento dos recursos hídricos disponíveis (Conselho de Controle de Poluição Central (CPCB), 2002). O crescimento populacional de 1,9 % por ano e para o desenvolvimento econômico rápido está colocando grande pressão sobre os recursos hídricos já escassos.

Estudos recentes indicam que a demanda é aproximadamente igual ao abastecimento do país, escondendo-se grandes variações regionais com escassez aguda em muitas partes. O crescimento econômico implica o aumento do consumo de água, podendo esperar-se um agravamento rápido da situação da água (Simbiente, 2014). Mesmo assim os recursos hídricos não estão escassos, se olharmos o volume total de água disponível e a precipitação altamente variável no tempo e no espaço (Voß F., 2009). As regiões da Índia têm diferentes desafios em matéria de escassez de água, muitos dos quais se tornará pior devido ao impacto esperado pela mudança climática. O Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) usa dez modelos, nove dos quais predizem que a precipitação, especialmente no centro e no norte-oeste da Índia, vão diminuir substancialmente. Águas residuais não tratadas a partir de assentamentos humanos provocam alta poluição ambiental. Um estudo recente mostrou que a principal fonte de poluição do Ganges, que cobre 26 % de área da nação, é o desperdício humano.

Estima-se que um milhão de metros cúbicos de águas residuais domésticas são descarregados todos os dias, promovendo riscos de higiene e ambientais (Das, 2010). Vários estudos têm demonstrado os elevados prejuízos econômicos relacionados com a poluição do meio ambiente e da água causada pela falta de gestão de águas residuais adequada (Maria, 2003).

A maioria das pessoas que vivem em condições de falta de saneamento está em áreas rurais. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) e Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) (2010), 79 % das pessoas que vivem em áreas rurais não podem contar com instalações sanitárias melhoradas. No entanto, devido à rápida urbanização, em 2050 mais do que a metade da população viverá em áreas urbanas (Voß F., 2009). Portanto, as soluções para as áreas rurais e urbanas têm que ser procuradas para assegurarmos o tratamento de águas residuais. Este problema prevalece na maior parte da Ásia. Uma recente iniciativa do Banco Asiático de Desenvolvimento, destacou que cerca de metade da população do continente asiático vive em cidades, e que mais de 90 % das suas águas residuais poluem corpos d'água abertos ou vazam para o solo, levando a um dramático custo humano. Rios sujos, má qualidade das águas subterrâneas e os níveis chocantes de saúde pública, especialmente entre os pobres, são os principais subprodutos desta situação. Além disso, provocam uma forte redução nos

volumes absolutos de água potável disponíveis para consumo no contexto de uma população asiática em ascensão, levando a um problema socioeconômico terrível (Simbiente, 2014).

Um estudo da CPCB (2005) mostrou que apenas 6×10^9 L de águas residuais por dia são tratados, resultando em uma taxa de tratamento de apenas 21 %. O estudo revelou ainda que, das 115 estações de tratamento de resíduo centralizado, localizado nas cidades Classe I e vilas Classe II que foram estudados, 45 não conseguiram alcançar a normas de descarga. Entre as que estão em conformidade com as normas, muitas dessas estações de tratamento recebem pequenas quantidades de águas residuais ou estão adaptadas para pequenos caudais de águas residuais. A situação dificilmente tem melhorado desde então.

Estes resultados mostram que as estações de tratamento centralizadas não são uma solução sustentável para a Índia, onde a fonte de alimentação é raramente contínua, e a operação e manutenção não estão garantidas.

O processo de urbanização levará a áreas recém-construídas um enorme potencial para servir unidades menores de estações de tratamento de águas residuais descentralizadas em vez de tratamento de águas residuais centralizado convencional. Estações de tratamento de águas residuais inovadoras visando não só o tratamento das águas residuais, mas também proporcionar outros benefícios, tais como a reutilização da água, reutilização de energia ou reutilização de nutrientes - dependendo do contexto local - são a necessidade do dia.

Assim, a reutilização de águas residuais e sua reciclagem local, pode ser altamente sustentável porque a água recuperada, além de aumentar a sua disponibilidade, pode portanto, evitar excesso de tratamentos dispendiosos. Isso significa que ele cumpre os requisitos dos usuários finais. No caso da Índia, tendo em conta que existe uma baixa proporção de tratamento de águas residuais, que pode ser benéfica de duas formas: por um lado, pode levar a uma maior razão de tratamento de água residuais, e por outro lado, podem mitigar os cenários de escassez de água. Semelhantes desafios da água ocorrem na Europa e na Índia: Recursos de água doce estão distribuídos de forma desigual.

A escassez de águas temporais ou regional é causada pelo aumento da densidade populacional, a poluição difusa, a precipitação não confiável, o aumento da população de curto prazo devido ao turismo, e aumento da demanda para a irrigação para melhorar a produtividade agrícola (B. Durham, 2005).

A Diretiva relativa ao tratamento de águas residuais urbanas, exortou os Estados membros a reutilização de água tratada "sempre que necessário" e numerosos exemplos de reutilização de águas residuais para diferentes fins são documentados. A água é reutilizada para irrigação, infiltração, descargas de vasos sanitários ou recuperação de terras, e muitas tecnologias diferentes que variam de sistemas de arejamento convencionais para sistemas de tratamento naturais foram aplicadas. Além disso, estruturas estabelecidas na Europa, que favorecem soluções centralizadas, estão sendo repensadas para o tratamento de águas residuais descentralizado que consiste em unidades de tratamento menores para várias casas ou pequenos assentamentos. Estes sistemas descentralizados para recuperação de águas residuais também estão em uso em edifícios institucionais e instalações industriais (Defrain, 2010). Vários exemplos ilustram como os sistemas alternativos podem ser implementados em países

desenvolvidos. A sua utilização não se limita apenas a áreas rurais e países em desenvolvimento com a falta de infraestrutura, mas eles também são usados em um contexto urbano nos países desenvolvidos. Mercados para as tecnologias de reutilização de água estão crescendo, e uma variedade de tecnologias estão disponíveis para atender uma demanda crescente nos países da OCDE e as economias emergentes (OECD, 2009).

Além disso, o governo indiano já havia reconhecido a importância da reutilização de águas residuais na Política Nacional de Saneamento Urbano publicado em 2008. As tecnologias que promovam a reciclagem e reutilização de águas residuais tratadas devem ser encorajadas, e a reciclagem e reutilização de águas residuais tratadas não-potáveis para aplicações, deve ser incentivada sempre que possível. Assim, existe um grande potencial para a cooperação benéfica entre a União Europeia (UE) e a Índia em matéria de tratamento de águas residuais descentralizada inovadora e gestão.

Neste contexto, o projeto SARASWATI explorará a manutenção de resíduos domésticos em prol da população de acordo com os critérios propostos pelo projeto (a desenvolver no capítulo 4 – SARASWATI).

A gestão integrada, tem como propósito reduzir e/ou eliminar resíduos através da concepção, implementação e administração de sistemas de prevenção, valorização, reciclagem e eliminação de resíduos mediante a coparticipação de comunidades urbanas, agrícolas, industriais e das entidades gestoras e operadores de resíduos com a perspectiva do desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade de crescimento é relacionada de forma abrangente, a envolver os aspetos ambientais, sociais, culturais, económicos, políticos e institucionais (Simbiente, 2014).

3.2. Gestão e Valorização de Resíduos

[O conteúdo que se segue, foi retirado do relatório “Alternativas Tecnológicas Locacionais” – SIMBIENTE, 2016]

A gestão e valorização dos resíduos sólidos é um dos problemas emergentes da sociedade moderna. Com o aumento e concentração populacional, a produção de resíduos torna-se cada vez maior, tendo como consequência o aumento das quantidades dos mesmos que terminam nas unidades de destinação, muitas delas sem as devidas condições para um tratamento e encaminhamento adequado. Esta destinação inadequada de RSU traz inúmeras consequências, pois quando lançados sem tratamento no ambiente, além de gerarem odores desagradáveis, provocam a proliferação de doenças e contaminação do meio ambiente pelos lixiviados, bem como constituem grandes perdas económicas.

Estima-se que aproximadamente 25 % das emissões de metano (gás responsável por cerca de 14 % do efeito de estufa terrestre, com um potencial de aquecimento global 25 vezes superior ao do dióxido de carbono, para um horizonte temporal de 100 anos, tem como origem a decomposição da fração orgânica dos resíduos. O Brasil é o 5º país mais populoso do mundo, e está entre os 10 maiores emissores mundiais de gases de efeito de estufa pelo sector de resíduos.

Os impactos causados pela ausência de uma gestão eficiente de resíduos estão presentes principalmente nos países em desenvolvimento, onde existem fragilidades (de ordem económica,

social, ambiental e de governação) que condicionam a gestão dos mesmos, apresentando frequentemente um ciclo vicioso. Os constrangimentos na gestão de recursos financeiros dedicados a esta área e a escassez de áreas disponíveis e adequadas para a implantação de unidades de gestão de resíduos dentro de distâncias aceitáveis, vêm impedir a prestação de serviços com qualidade principalmente em centros urbanos. Este fato leva a que muitas vezes estas unidades tenham de ser implantadas em locais cada vez mais distantes dos centros urbanos, agravando os custos ambientais e financeiros, principalmente associados ao transporte dos mesmos.

Na presente tese, tomar-se-á como caso de estudo o projeto URE Caju no Brasil. Atualmente, o Brasil apresenta uma tendência expressiva de aumento na geração de RSU, bem como uma tendência crescente na coleta de resíduos e de resíduos que são adequadamente dispostos, sem, no entanto, ignorar que a quantidade de resíduos que é inadequadamente disposta ainda é grande.

Analisando os dados pesquisados pela ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais e publicados no documento "*Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*", verifica-se que a geração de RSU no Brasil, em 2015, totalizou 79,9 Mt, configurando um crescimento a um índice inferior ao registrado em anos anterior.

Segundo a mesma fonte "*a comparação entre a quantidade de RSU gerada e o montante coletado em 2015, que foi de 72,5 milhões de toneladas, resulta em um índice de cobertura de coleta de 90,8% para o país, o que leva a cerca de 7,3 milhões de toneladas de resíduos sem coleta no país e, conseqüentemente, com destino impróprio*".

No que concerne à disposição final, cerca de 42,6 Mt de RSU, ou 58,7 % do coletado, seguiram para aterros sanitários. No entanto, o volume de resíduos enviados para destinação inadequada, também sofreu um acréscimo, com quase 30 Mt de resíduos dispostas em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

A prática da disposição final inadequada de RSU ainda ocorre em todas as regiões e estados brasileiros, e 3 326 municípios ainda fazem uso desses locais impróprios.

De acordo os dados da ABRELPE, a população brasileira apresentou um crescimento de 0,8 % entre 2014 e 2015 e a geração *per capita* de RSU aumentaram proporcionalmente. A geração total, por sua vez, atingiu o equivalente a 218 874 t/d de RSU gerado no país, um crescimento de 1,7 % em relação ao ano anterior, como apresentado na **Figura 1**.

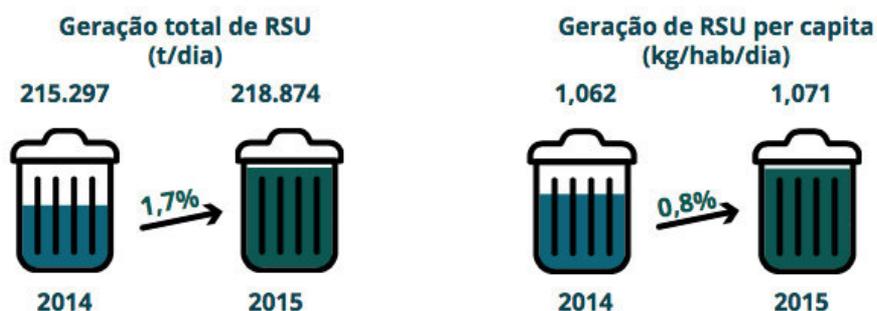


Figura 1. Geração de RSU no Brasil (2014-2015) (Fonte: Abrelpe).

No que diz respeito à coleta de RSU verificou-se que a mesma, em 2015, cresceu em todo o Brasil, em comparação ao ano anterior, como é visível no esquema da Erro! A origem da referência não foi encontrada..

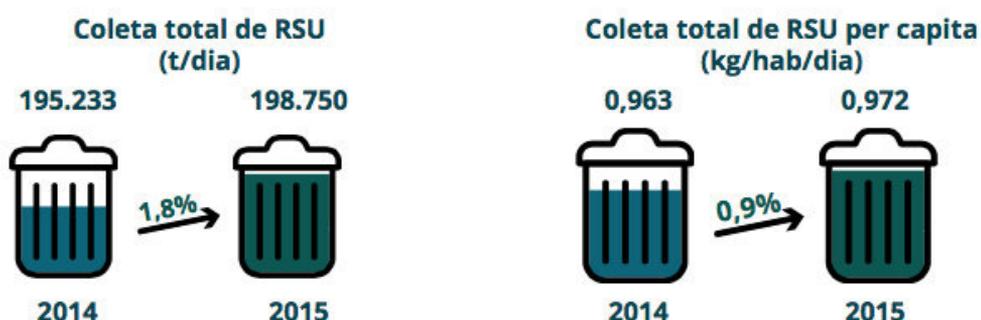


Figura 2. Coleta de RSU no Brasil (2014-2015) (Fonte: ABRELPE).

No **Quadro 1** apresentam-se os dados referentes ao Estado do Rio de Janeiro, verificando-se a mesma tendência de crescimento do país, quer ao nível da geração de RSU quer de coleta dos mesmos.

Quadro 1. Geração e Coleta de RSU no Estado do Rio de Janeiro (2014-2015) (t/d) (Fonte: ABRELPE)

População Total		RSU Gerado (t/d)		RSU Coletado			
				Por habitante (kg/d)		Total (t/d)	
2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
16 461 173	16 550 024	21 834	22 213	1,307	1,323	21 518	21 895

A disposição final de RSU apresenta no Brasil sinais de evolução e aprimoramento, com a maioria dos resíduos coletados (58,7 %) sendo encaminhados para aterros sanitários, que se constituem como unidades adequadas. As unidades inadequadas, ainda existentes em todas as

regiões do país, recebem mais de 82 000 toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental, como representado no gráfico da **Figura 3**.

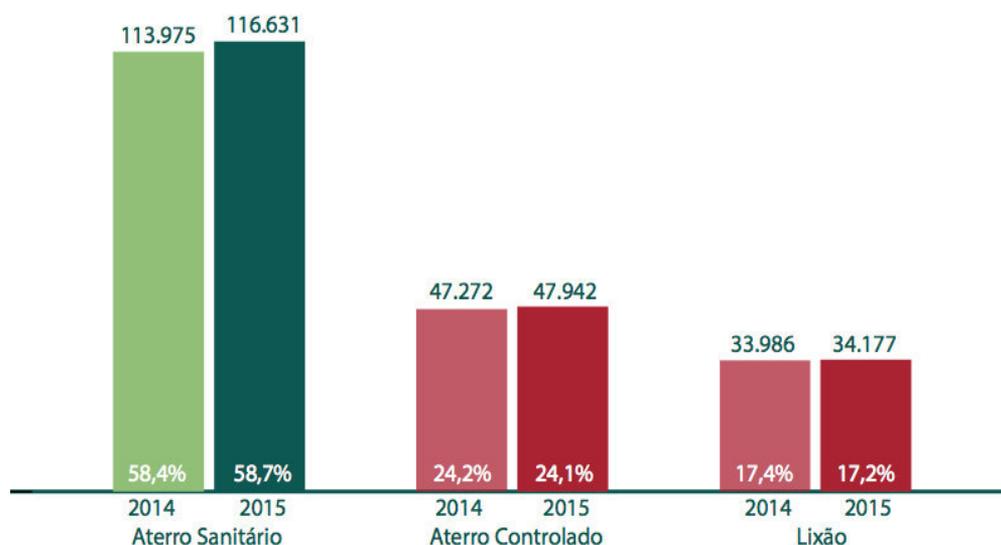


Figura 3. Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/d) (Fonte: ABRELPE).

No caso específico do Estado do Rio de Janeiro, os valores de RSU com destinação inadequada ainda correspondem a aproximadamente 7 000 toneladas por dia, ultrapassando 30 % dos resíduos coletados (**Figura 4**).

O acima exposto permite concluir que apesar de algum progresso alcançado com relação à disposição adequada de RSU, fica mais claro que ainda há muito a ser feito para eliminar a ameaça sanitária e ambiental dos lixões e da disposição inadequada em geral, com a necessidade de reforçar os sistemas de gerenciamento de resíduos através da seleção e integração de etapas de tratamento dos RSU (com base em diversas rotas tecnológicas) em fases pré ou pós disposição dos resíduos, conforme a rota tecnológica implementada.

Existe ainda uma oportunidade importante de melhoria dos serviços de coleta visto que uma parcela significativa dos RSU permanece ainda sem coleta. Não obstante, a coleta seletiva e a reciclagem são também elementos básicos e importantes num sistema moderno de gerenciamento de resíduos, não apenas por razões ambientais, mas também por razões financeiras (ISWA).

Estes dados evidenciam a importância de se definirem e implementarem novas soluções para a gestão dos resíduos sólidos urbanos na área metropolitana do Rio de Janeiro, baseadas numa correta seleção das melhores alternativas tecnológicas disponíveis.

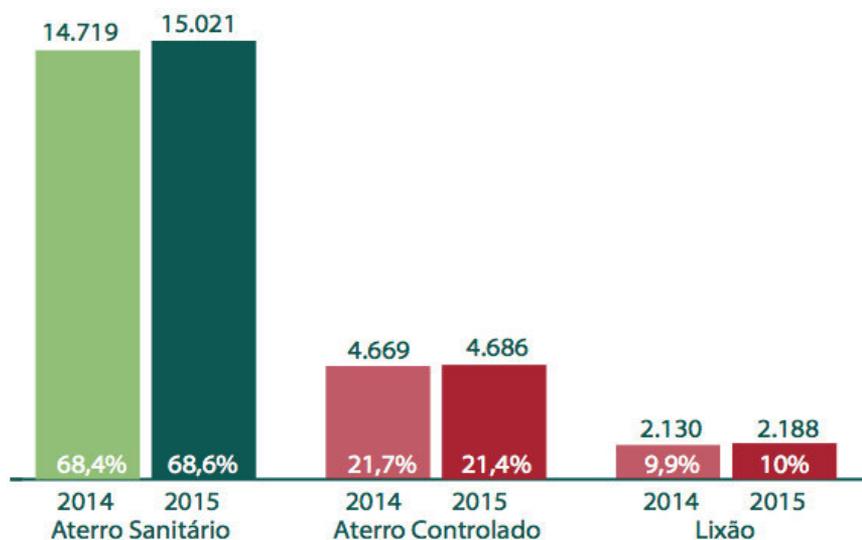


Figura 4. Disposição final de RSU no Estado do Rio de Janeiro por tipo de destinação (t/d) (Fonte: ABRELPE).
Lixão: Lixeira/Vazadouro ao céu aberto.

3.3. Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

[O conteúdo que se segue, foi retirado do relatório “Alternativas Tecnológicas Locacionais” – SIMBIENTE, 2016]

Dada a crescente pressão mundial sobre os recursos naturais, as atuais tecnologias não são, a longo prazo, adequadas para a salvaguarda do desenvolvimento sustentável. Assim é necessário planos de ação destinados a atrair mais investimentos privados e públicos para o desenvolvimento e demonstração de tecnologias ambientais em consonância com o objetivo da União Europeia para a investigação. As ações destinam-se a melhorar o processo de inovação e a tirar as invenções dos laboratórios para o mercado.

Incentivos económicos bem orientados podem ser úteis para ajudar a promover a aceitação das tecnologias ambientais. Estes têm sido usados com sucesso para promover investimentos em eficiência energética em residências e para investir em energias renováveis. Estes podem assumir muitas formas distintas, por exemplo, licenças transacionáveis e incentivos fiscais. A fim de garantir que esses subsídios, quando concedidos a empresas, não adulteram indevidamente a concorrência no mercado interno, a Comissão adotou orientações para auxílios ambientais estatais.

Na seguinte tese, umas das tecnologias proposta é a de implantação de uma Unidade de Recuperação de Energia (URE), ou Central de Tratamento de Resíduos, por incineração de resíduos sólidos para geração de energia elétrica é uma opção tecnológica de extrema significância para o setor de gestão de resíduos do Estado do Rio de Janeiro, mas que apresenta um histórico de controvérsia tanto a nível nacional como internacional, além da inerente complexidade técnico-financeira, que deve ser devidamente ponderada e clarificada.

Nesse contexto, importa realizar uma breve resenha sobre os desenvolvimentos históricos das tecnologias de gestão de resíduos urbanos no Brasil, a apresentação de referências internacionais ao nível das melhores tecnologias ambientais disponíveis nesta matéria, bem como uma descrição comparativa das principais características técnicas e de viabilidade económica e ambiental das soluções tecnológicas mais frequentemente consideradas, de modo

a enquadrar e fundamentar as opções a tomar no presente projeto de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos na área metropolitana do Rio de Janeiro.

Nesse sentido, a **Figura 5** apresenta as principais opções e rotas tecnológicas que têm sido adotadas a nível nacional e internacional.

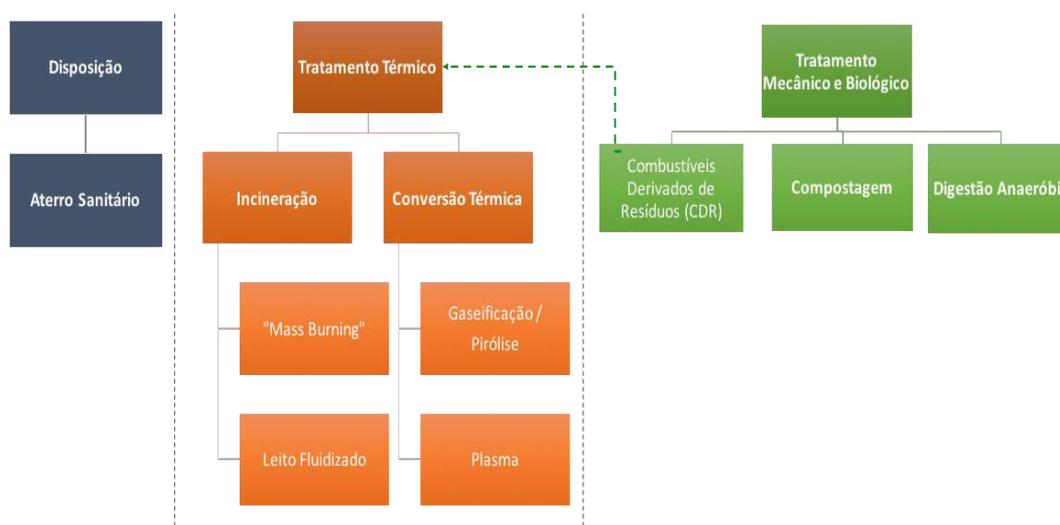


Figura 5. Principais opções e rotas tecnológicas para gerenciamento dos resíduos sólidos (Jucá, 2014).

3.3.1. Descrição Geral das Principais Rota Tecnológicas

São apresentadas neste capítulo as principais rotas tecnológicas, que configuram diferentes opções de gerenciamento de resíduos sólidos, sobre as quais se considerou mais adequado desenvolver a presente análise comparativa, quer pelas suas especificidades em relação à destinação e subprodutos finais dos resíduos, quer pela maturidade, evolução e avanço tecnológico e ambiental que têm demonstrado nos últimos anos a nível mundial (UFP, 2014):

- Disposição (em aterro sanitário);
- Tratamento Térmico (por incineração ou conversão térmica – tecnologias *Waste-to-Energy* (WTE) ou usinas resíduos-energia (REN);
- Tratamento Mecânico e Biológico (compostagem ou digestão anaeróbia).

a) Rota de Disposição – Aterro Sanitário

Segundo a NBR 15.849/2010, os aterros sanitários consistem em uma instalação para a disposição de resíduos sólidos no solo, localizada, concebida, implantada e monitorado segundo princípio de engenharia e prescrições normalizadas, de modo a maximizar a quantidade de resíduos disposta e minimizar impactos ao meio ambiente e à saúde pública, sendo a solução mais difundida e utilizada para a disposição final de resíduos sólidos urbanos em todo o mundo.

No entanto, atualmente, para se cumprir o que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), antes de encaminhar os resíduos sólidos ao aterro sanitário deve-se primeiramente reciclá-los, tratá-los e/ou reutilizá-los, visando prolongar sua vida útil. Assim,

devem ser enviados para o aterro sanitário apenas os resíduos que não podem ser mais recuperados sob nenhuma forma, ou ainda, aqueles para os quais não existe mercado.

Os aterros sanitários no Brasil são normalizados pela NBR 8419/1984, e obedecem a técnicas de confinamento de modo a reduzir os resíduos ao menor volume permissível, ocupando a menor área possível, executadas segundo critérios de engenharia específicos. Estas instalações podem ser classificadas segundo a forma em que são projetados (em vala, em trincheira, em encosta, em área) e podem receber resíduos considerados não perigosos, ou seja, resíduos de Classe IIA (não inertes e que possuem propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água – como matéria orgânica e papel) e Classe IIB (inertes e que não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água – como vidros, plásticos e borrachas; a exceção são os Resíduos da Construção Civil, que se enquadram nesta classificação mas não podem ser dispostos em aterros sanitários).

Uma vez que num aterro sanitário ocorre um conjunto de processos físicos, químicos e microbiológicos, o mesmo assume a forma de um reator anaeróbio, que tem como resultado uma massa de resíduos, química e biologicamente mais estável, e no qual são gerados gases (biogás) no processo de decomposição anaeróbia dos resíduos. Esses gases podem ser drenados e encaminhados, por meio de tubos coletores, para uma unidade de geração de energia. Esta evolução tecnológica, quando aplicada, permite otimizar áreas, reduzir custos operacionais e criar mais-valias econômicas e ambientais pelo aproveitamento energético do biogás.

Esta solução apresenta como principais vantagens:

- i. Possibilidade de se utilizar áreas já degradadas por outras atividades (ex: área utilizada como pedreira, etc.);
- ii. Possibilidade de receber e acomodar rapidamente quantidades variáveis de resíduos, sendo bastante flexível;
- iii. Recebimento de resíduos de diversas naturezas (Classe IIA e IIB);
- iv. Adaptável a comunidades de diferentes dimensões;
- v. Menores custos de investimento e operação que outras tecnologias;
- vi. Utilização de equipamentos e máquinas usadas em serviços de terraplanagem;
- vii. Operação simples, não requerendo pessoal altamente especializado;
- viii. Possibilidade de aproveitamento energético do biogás;
- ix. Danos ao meio ambiente controláveis se corretamente projetado e executado.

E as seguintes principais desvantagens:

- a) Exigência de grandes áreas de terreno, cada vez mais escassas em áreas próximas à produção da maior parte dos resíduos (centros urbanos), acarretando despesas avultadas de transporte;
- b) Impede a utilização da terra para outros fins durante décadas;
- c) Provoca grande movimentação de terra e resíduos;
- d) É considerada em termos políticos e legais como a última opção na gestão de resíduos, não sendo desde Agosto de 2014 permitida a disposição de RSU diretamente em aterros sem tratamento prévio;
- e) Necessidade de um sistema eficaz para drenagem e acumulação dos líquidos percolados (chorume), que serão enviados para tratamento em estações de tratamento

- de esgotos, quase sempre distantes, com altos custos e riscos na logística de transporte;
- f) A capacidade de geração de biogás é decrescente ao longo do tempo, pelo que o aproveitamento econômico do gás para a geração elétrica fica limitado a um espaço de tempo relativamente pequeno, estimando-se entre 12 a 18 anos.
 - g) Possibilidade de desenvolvimento de maus odores;
 - h) Possibilidade de deslocamento de poeiras;
 - i) Alteração da estética da paisagem;
 - j) Diminuição do valor comercial dos terrenos;
 - k) Longo período pós-fechamento para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos;
 - l) Possibilidade de exposição e risco aos trabalhadores do aterro;
 - m) Necessidade de controlo dos riscos de impactos ambientais de longo prazo;
 - n) Quando não operado adequadamente pode apresentar proliferação de vetores e doenças associadas, possibilidade de passivos ambientais e emissões de gases de efeito estufa (metano e CO₂).

Esta é a solução atualmente existente para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos da área metropolitana do Rio de Janeiro, sendo a sua manutenção o cenário a considerar em caso de não execução do projeto em análise.

b) Rota de Tratamento Térmico – Incineração

A incineração é uma das tecnologias de tratamento mais antigas existentes na Europa, Estados Unidos e Japão, enquadrando-se nos denominados tratamentos térmicos existentes para o tratamento de resíduos sólidos.

O objetivo principal dessa tecnologia consiste na redução da massa e do volume dos resíduos em alta temperatura (acima de 800 °C), feita com uma mistura de ar adequada durante um determinado intervalo de tempo, e com a utilização simultânea da energia neles contidos. A energia recuperada pode ser utilizada para produção de calor e de energia elétrica. A recuperação total energética de um incinerador moderno se situa entre 50 % e 70 % da energia presente nos RSU, de forma que 15 % a 25 % são energia elétrica e o restante é energia térmica.

A incineração é indicada para o tratamento térmico de quantidades médias de resíduos sólidos (mais de 160 000 t/ano ou 240 t/d) e pelo menos uma linha trabalhando 8 000 h/ano.

A energia elétrica gerada por tonelada de resíduos incinerados, depende principalmente do Poder Calorífico Inferior (PCI) do resíduo tratado, mas também do porte da unidade de incineração, dos parâmetros do vapor gerado e do nível de aproveitamento deste. Diversos estudos têm apontado valores médios de geração de energia elétrica por tonelada de resíduos entre 600 kWh/t e 769 kWh/t nas atuais unidades de incineração.

Os incineradores na Europa, Estados Unidos e Japão operam ao abrigo de legislação ambiental rigorosa, requerendo a utilização das melhores tecnologias disponíveis para controle da poluição

atmosférica. No Brasil, a única norma federal que dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos é a Resolução CONAMA n.º 316, de 29 de outubro de 2002, que estabelece um mínimo de 30 % de reciclagem da massa de resíduos sólidos urbanos para que se proceda à queima do restante.

Estão disponíveis no mercado principalmente duas tecnologias para a incineração de resíduos:

- a) *Mass Burning*
- b) Leito Fluidizado

A tecnologia de *Mass Burning* consiste basicamente na utilização de RSU como combustível em caldeiras dotadas de grelhas mecanizadas que revolvem a massa de resíduos durante o processo de queima. O calor resultante é aproveitado para a geração de vapor que, por sua vez, é utilizado para a produção de energia elétrica por meio de um conjunto turbogerador.

Dentre as tecnologias de tratamento térmico disponíveis, a *Mass Burning* são hoje a mais utilizada em unidades de recuperação de energia (URE) em todo o mundo, com mais de 750 plantas em operação em diversos países da Europa, Ásia e América do Norte. Percentualmente, cerca de 75 % do total de resíduos direcionados para sistemas de tratamento térmico com geração de energia no mundo (aproximadamente 300 000 t/d) são encaminhados para UREs de tecnologia *Mass Burning* (Simbiente, 2016).

Por outro lado, a tecnologia de combustão em **leito fluidizado**, baseada em um sistema no qual, ao invés dos resíduos serem queimados sobre uma grade (como ocorre nos processos de *Mass Burning*), o leito de chamas é composto por partículas inertes como areia ou cinzas. Quando o ar é bombeado através do leito, o material se comporta como um fluido. Há vários tipos diferentes de queimadores de leito fluidizado, por exemplo, os leitos de circulação e os leitos de bolhas.

Em qualquer caso, esta tecnologia requer uma uniformização no tamanho dos resíduos que não se verifica no caso dos RSU, sendo por isso este sistema usualmente considerado como mais adequado para quantidades reduzidas de RSU pré-selecionado e/ou conjugado com lodos de efluentes.

Atualmente são tratados cerca de 80 000 t/d de resíduos em sistemas de tratamento de leito fluidizado em todo o mundo.

Dentre as vantagens da opção pela incineração identificam-se as seguintes:

- i. Destruição da maior parte dos componentes do resíduo, promovendo uma significativa redução de volume (entre 80 % e 90 %) – aspeto muito relevante em locais de baixa disponibilidade de áreas para tratamento e disposição dos resíduos;
- ii. Potencial de recuperação de energia superior aos aterros sanitários e aos digestores anaeróbios;
- iii. Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser incinerados e os normativos federais obrigam a uma reciclagem de pelo menos 30 %;
- iv. Permite evitar a produção de chorume;
- v. Necessidade de menor área para instalação;
- vi. Redução na emissão de odores e ruídos.

Entre as principais desvantagens destacam-se:

- a) Elevados custos de instalação, operação e manutenção do tratamento dos resíduos;
- b) Inviabilidade de produção em caso de resíduos com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorados;
- c) Percepção social negativa, devido a experiências antigas com instalações obsoletas.

Conversão Térmica

Os processos de conversão térmica são processos termoquímicos de decomposição de matéria em ausência ou em ambiente carente de oxigênio.

Dentro desta categoria de processos identificam-se dois tipos de tecnologias:

- 1) Pirólise/Gaseificação
- 2) Plasma

A **pirólise e a gaseificação** são processos termoquímicos de conversão de matéria orgânica em ausência ou em ambiente carente de oxigênio. Quando a matéria orgânica é aquecida a temperaturas entre os 400 °C e o 800 °C (no caso da pirólise) ou os 800 °C e os 1 200 °C (no caso da gaseificação), as cadeias de hidrocarbonetos longas se rompem, transformando a matéria sólida em uma mistura líquida (alcatrão e bio-óleo), uma mistura gasosa (hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, azoto, metano e outros hidrocarbonetos leves) e uma certa quantidade de matéria sólida (caracterizada por cinzas e carbono fixo).

Atualmente apenas 20 000 t/d de resíduos são tratados em sistemas de pirólise/gaseificação.

As principais vantagens deste tipo de tecnologias são:

- i. Permite um balanço neutro de carbono durante o processo de produção de energia elétrica, uma vez que todo gás carbônico produzido durante o processo é absorvido pela própria usina;
- ii. Permite uma redução de peso da massa de resíduos até 75 % e uma redução de volume que pode alcançar até 90 %;
- iii. Produz de 8 % a 12 % de cinzas (enquanto a incineração produz de 15 % a 20 %);
- iv. O gás proveniente da gaseificação possui um volume 30 % menor do que o produzido com uma mesma massa de RSU incinerada, reduzindo o custo das operações de limpeza do mesmo.

As principais desvantagens são as seguintes:

- i. Dificuldade na garantia das características de pureza do gás de síntese resultante (ou seja, eliminar o conteúdo de alcatrão de modo que o gás possa ser utilizado em um motor a combustão interna ou em uma turbina), fator necessário para a conversão do mesmo em energia elétrica;
- ii. O bio-óleo produzido possui características que dificultam a sua conversão em energia elétrica ou o simples armazenamento – normalmente essa mistura líquida apresenta uma alta viscosidade e um pH bastante ácido;
- iii. É necessária uma homogeneidade (a nível de granulometria e umidade) nos resíduos a serem utilizados como combustível – não verificada no caso dos RSU -, cujo não cumprimento pode resultar em uma variabilidade nas características qualitativas do gás

- gerado e, conseqüentemente, no desempenho do motor a combustão interna ou da própria turbina;
- iv. Tecnologias ainda pouco consolidadas à escala industrial.

Por outro lado, a tecnologia de **plasma** consiste na decomposição química por calor na ausência de oxigênio. Esta tecnologia de conversão térmica vem sendo utilizada principalmente para resíduos perigosos, pois a temperatura elevada (entre 4 000 °C e 5 000 °C) propicia a destruição e a gaseificação da matéria orgânica e a fusão da matéria inerte.

Atualmente, cerca de 300 t/d de resíduos são tratados com a tecnologia plasma em todo o mundo.

As principais vantagens da tecnologia de plasma são:

- i. As elevadas temperaturas causam rápida e completa pirólise da substância orgânica, permitindo fundir e vitrificar certos resíduos inorgânicos;
- ii. Os produtos vitrificados são similares a um mineral de alta dureza;
- iii. Permite reduções de volume extremamente elevadas, podendo ser superiores 99 %.

Por outro lado, esta tecnologia tem como principais desvantagens:

- i. O elevado consumo energético necessário para alimentar o plasma, o que a torna não competitiva com as demais tecnologias para o tratamento de um combustível com baixa densidade energética, como é o caso do RSU;
- ii. O sistema não dispensa um sofisticado sistema de lavagem de gases, nomeadamente para a retenção dos metais voláteis e dos gases ácidos;
- iii. Para o tratamento de resíduos diversificados, em particular contendo matéria orgânica em quantidades significativas, a tecnologia não parece ter alcançado grande desenvolvimento industrial, acabando os resíduos por ser incinerados de forma indireta, isto é, são decompostos e depois eliminados por combustão;
- iv. Quanto à produção de dioxinas e furanos, não é claro que se possa garantir inequivocamente uma vantagem nítida sobre as tecnologias de incineração mais avançadas nem com as técnicas mais simples de gaseificação.

c) Rota de Tratamento Mecânico e Biológico – Combustíveis Derivados de Resíduos

Os denominados Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) são produzidos por trituração de RSU para utilização como combustível, também conhecido como *Refuse Derived Fuel* (RDF). O CDR é um termo que se aplica a materiais com um valor calorífico elevado (normalmente, cerca de 18 MJ/kg), recuperados da coleta de resíduos.

Os principais beneficiários desse material são indústrias de cimento, os incineradores de resíduos com recuperação de energia e as indústrias de geração de energia industrial.

Em relação à produção de CDR, o mais importante é a recuperação de energia e a otimização da logística (transporte e armazenamento) dos resíduos. Quanto a sua composição, o CDR deve ser composto de material orgânico com baixa umidade, e não deve possuir frações de contaminação crítica (por exemplo, metais pesados, como Cr, Cd, Pb, Hg), nem substâncias orgânicas críticas (substâncias halogenadas, medicamentos ou resíduos infetados), pois essas frações críticas geram um CDR de má qualidade.

O processo de produção do CDR gera rejeitos que devem ser eliminados. O percentual destes rejeitos varia de 20 % a 80 %, dependendo da qualidade dos resíduos e do tipo de coleta e separação dos mesmos.

A produção de CDR requer quantidades de energia significativas, especialmente de energia elétrica, pois corresponde ao tratamento essencialmente mecânico com grande desgaste de materiais (trituração) e gasto de energia. Do ponto de vista energético, essa operação só é sustentável quando o saldo total de energia (da coleta até o destino final dos resíduos após a sua combustão) seja positivo, e mais ainda, que não produza resíduos combustíveis contaminados.

Essa tecnologia apresenta como principais vantagens:

- i. Possibilidade de armazenamento em silos, o que permite melhor modulação da produção de energia, em comparação com a queima direta de resíduos sólidos urbanos;
- ii. Armazenamento dos briquetes em paletes, racionalizando o transporte de longa distância, evitando a dependência de planta próxima à unidade;
- iii. O fato de serem considerados como unidades de pré-tratamento dos RSU;
- iv. Agregação de valor aos resíduos;
- v. Transformação dos resíduos sólidos urbanos em alternativas energéticas;
- vi. Possibilidade de instalação em áreas industriais próximas aos centros urbanos e aos grandes consumidores de energia;
- vii. Prolongamento da vida útil de aterros existentes.

Como principais desvantagens deste tipo de tecnologia identificam-se as seguintes:

- a) Alto consumo de energia elétrica, que é dissipada (não-recuperável);
- b) A qualidade e utilização do CDR são sensíveis às características do resíduo processado;
- c) É necessário haver demanda de mercado (utilizadores finais) para escoamento do CDR;
- d) Dissipação dos metais no meio ambiente pela utilização dos metais dos trituradores nas ligas desses equipamentos;
- e) Possibilidade de contaminação do CDR pela presença de metais.

Compostagem

A compostagem é um dos tratamentos mecânicos e biológicos (TMB), que consiste num processo biológico de decomposição aeróbia da matéria orgânica contida em resíduos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto que pode ser aplicado no solo para melhorar suas características de produtividade, com riscos ambientais reduzidos.

A NBR 13591/2010 da ABNT define Usina ou Unidade de Compostagem como uma instalação dotada de pátio de compostagem e conjunto de equipamentos eletromecânicos destinados a promover e/ou auxiliar o tratamento das frações orgânicas dos resíduos domiciliares.

Os principais parâmetros a serem observados durante a compostagem são a aeração e a umidade. A aeração é necessária para a atividade biológica e, em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem ou com poucos odores, em

virtude da granulometria e da umidade dos resíduos. Já o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação.

Os principais tipos de compostagem são a compostagem artesanal, a compostagem com reviramento mecânico, a compostagem em pilhas estáticas com aeração forçada e a compostagem em recintos fechados com aeração forçada.

Esta tecnologia apresenta as seguintes principais vantagens:

- i. Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos;
- ii. Promove o aproveitamento agrícola da matéria orgânica pelo uso de composto orgânico no solo;
- iii. Os seus rejeitos podem ser dispostos em aterros sanitários, reduzindo os problemas relativos à formação de gases e lixiviados, visto que são materiais biologicamente estabilizados;
- iv. Exige pouca mão-de-obra especializada;
- v. Promove envolvimento das comunidades e empresas locais
- vi. Quando bem operadas, as unidades de compostagem não causam poluição atmosférica ou hídrica;
- vii. Permite geração de renda com a comercialização do composto, caso exista mercado.

As principais desvantagens da tecnologia são as seguintes:

- i. Requer uma separação eficiente de resíduos e um tempo de processamento que pode chegar a seis meses;
- ii. A sua viabilidade económica e financeira está dependente da existência de mercado para revender o composto;
- iii. Exigência de grande área abrigada de intempéries para armazenamento do composto;
- iv. Quando mal operada, os líquidos e gases gerados podem contaminar o meio ambiente e prejudicar a qualidade de vida das populações próximas;
- v. Grandes investimentos em instalações para receção dos RSU e separação de sua fração orgânica por processo mecânico que, se não equipadas para trabalhar sob pressão negativa, elevando ainda mais os seus custos, terão seu licenciamento ambiental restrito pelo odor causado;
- vi. Altos custos com instalação de compostores em número suficiente para a quantidade de RSU a serem tratados, que apresentam tempos de retenção variando entre 45 a 60 dias;
- vii. Exigência de grandes áreas de terrenos para a fase aeróbia do processo, muitas vezes distantes do local de receção e da fase anaeróbia, agregando altos custos e riscos pela logística de transporte.

Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um dos tratamentos mecânicos e biológicos (TMB), que consiste num processo de conversão de matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio livre, e ocorre em três fases. A primeira fase é ácida; depois vem a fase acetogénica e por último a fase metanogénica, com a geração de metano e gás carbónico.

A maioria dos sistemas de digestão anaeróbia requer pré-tratamento dos resíduos para se obter uma massa homogênea. Este consiste em um pré-processamento que envolve a separação ou

triagem dos materiais não biodegradáveis, seguido por uma trituração. A triagem tem por objetivo a remoção de materiais reaproveitáveis como vidros, metais ou plásticos, ou não desejáveis (o rejeito), como pedras, madeira, entre outros.

A viabilidade econômica dos processos de digestão anaeróbia pode ser alcançada a partir da redução dos custos de disposição em aterro sanitário, geração de receita derivada da produção e comercialização de energia renovável e ainda a possibilidade de comercialização de créditos de carbono (pouco significativa no presente). É importante salientar que até a presente data não existe no Brasil digestor anaeróbio que trate resíduos sólidos urbanos.

Essa tecnologia apresenta como principais vantagens:

- i. O aumento da vida útil dos aterros sanitários;
- ii. A redução da fração orgânica dos RSU, responsável pelos odores desagradáveis e a geração de lixiviados de alta carga poluidora nos aterros sanitários;
- iii. Maior geração de biogás e metano do que no aterro sanitário, devido às condições controladas de umidade e temperatura dos digestores;
- iv. Permite a coleta de todo o biogás gerado (em aterros o índice de recuperação pode variar de 20 a 40 %), reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa;
- v. Em seu processamento tem-se a geração de produtos valorizáveis: biogás (energia e calor) e composto orgânico;

Por outro lado, as principais desvantagens dessa tecnologia são as seguintes:

- i. A composição dos resíduos pode variar dependendo da localização (zona de geração) e da estação do ano, podendo comprometer o processo de biodigestão anaeróbia e conseqüentemente a qualidade do biogás e do material digerido gerado;
- ii. Necessidade de etapa posterior (como compostagem) para bioestabilização dos resíduos digeridos;
- iii. Complexidade na operação do sistema, principalmente em termos de comportamento das comunidades microbiológicas e de obstruções de canalização;
- iv. Necessidade de mão-de-obra qualificada para o processo de operação e monitoramento da planta.

3.3.2. Análise Comparativa das Alternativas Tecnológicas

Análise de Vantagens e Desvantagens

No **Quadro 2** são sintetizadas as principais vantagens e desvantagens reconhecidas nos tipos de rotas tecnológicas consideradas. Importa no entanto salvaguardar que podem variar de acordo com diferentes tecnologias específicas dentro de cada rota.

Quadro 2. Quadro comparativo das alternativas tecnológicas consideradas

Rotas		Disposição	Tratamento Térmico		Tratamento Mecânico e Biológico		
Critério		Aterro Sanitário	Incineração	Conversão Térmica	Combustíveis Derivados de Resíduos	Compostagem	Digestão Anaeróbia
Eficiência e Flexibilidade de Operação	Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Solução com elevado grau de maturidade tecnológica e controlo operacional Acomoda diferentes quantidades e tipos de resíduos Não requer pessoal altamente especializado 	<ul style="list-style-type: none"> Solução com elevado grau de maturidade tecnológica e controlo operacional Permite elevada redução do volume dos RSU (entre 80 % e 90 %) 	<ul style="list-style-type: none"> Permite uma redução de peso e volume da massa de resíduos até 75 % e 90 %, respetivamente (no caso da pirólise ou gaseificação) e superiores a 99 % do caso do plasma Permite um balanço neutro de carbono durante o processo de produção de energia elétrica 	<ul style="list-style-type: none"> Energia sob a forma de briquetes, que podem ser armazenados, permitindo a modulação da produção de energia e a racionalização do transporte 	<ul style="list-style-type: none"> Solução com elevado grau de maturidade tecnológica Não requer pessoal altamente especializado 	<ul style="list-style-type: none"> Solução com elevado grau de maturidade tecnológica
	Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> Limitação legal ao recebimento de resíduos apenas após todas as outras opções de tratamento Exige adequada modelagem do 		<ul style="list-style-type: none"> Dificuldades na garantia das características de pureza do gás de síntese resultante Bio-óleo produzido possui características 	<ul style="list-style-type: none"> A qualidade e utilização do CDR são sensíveis às características do resíduo processado Possibilidade de contaminação do CDR pela presença 	<ul style="list-style-type: none"> Requer separação eficiente de resíduos e longo tempo de processamento 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiência muito dependente da composição dos resíduos, pode variar sazonalmente Necessita de etapa posterior para

Rotas		Disposição	Tratamento Térmico		Tratamento Mecânico e Biológico		
Critério		Aterro Sanitário	Incineração	Conversão Térmica	Combustíveis Derivados de Resíduos	Compostagem	Digestão Anaeróbia
		terreno		<p>que dificultam a sua conversão em energia elétrica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necessita uma homogeneidade dos resíduos que não se verifica nos RSU • Tecnologias ainda pouco consolidadas à escala industrial 	de metais		<p>bioestabilização dos resíduos digeridos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Complexidade na operação do sistema • Requer pessoal altamente especializado
Ambiental	Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Permite reuso de áreas degradadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos • Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser incinerados e os normativos federais obrigam a uma reciclagem de pelo menos 30 % • Destroi a maior parte dos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos • Produz de 8 % a 12 % de cinzas (menores que as outras tecnologias) • As elevadas temperaturas decompõem quase completamente os resíduos e os patogénicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos • Possibilidade de instalação em áreas industriais próximas aos centros urbanos e aos grandes consumidores de energia 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos • Promove o aproveitamento agrícola da matéria orgânica • Provoca reduzida poluição atmosférica ou hídrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a vida útil do local de disposição final de resíduos • Permite a redução da fração orgânica dos RSU, responsável pelos odores desagradáveis e a geração de lixiviados de alta carga poluidora nos aterros sanitários • Permite a coleta de todo o biogás

Rotas		Disposição	Tratamento Térmico		Tratamento Mecânico e Biológico		
Critério		Aterro Sanitário	Incineração	Conversão Térmica	Combustíveis Derivados de Resíduos	Compostagem	Digestão Anaeróbia
			componentes do resíduo <ul style="list-style-type: none"> • Permite evitar a produção de chorume • Necessita de menor área para instalação 				gerado (em aterros o índice de recuperação pode variar de 20 a 40 %), reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa
	Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Exige e inutiliza grandes áreas de terreno • Tem impactos paisagísticos • Provoca grande movimentação de terra e resíduos • Requer um longo período pós-fechamento para a estabilização • Necessita controlo de impactos ambientais de longo prazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de poluentes gasosos (CO, SO₂, NO_x, material particulado, dioxinas e furanos), embora tecnologicamente minimizáveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Não são claras as vantagens em termos de emissão de dioxinas e furanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Dissipação dos metais no meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige grandes áreas para o sistema de tratamento e a estocagem do composto • Pode gerar efluentes líquidos e gasosos com potencial de contaminação do meio ambiente 	
Social	Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Gera emprego local 	<ul style="list-style-type: none"> • Gera emprego local • Reduz a emissão de odores e ruídos para as populações próximas 	<ul style="list-style-type: none"> • Gera emprego local 	<ul style="list-style-type: none"> • Gera emprego local 	<ul style="list-style-type: none"> • Promove envolvimento das comunidades e empresas locais 	<ul style="list-style-type: none"> • Gera emprego local

Rotas		Disposição	Tratamento Térmico		Tratamento Mecânico e Biológico		
Critério		Aterro Sanitário	Incineração	Conversão Térmica	Combustíveis Derivados de Resíduos	Compostagem	Digestão Anaeróbia
	Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Gera maus odores e deslocamento de poeiras, com impactos na saúde humana e na qualidade de vida • Pode apresentar proliferação de vetores e doenças associadas • Exposição e risco aos trabalhadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem uma percepção social negativa, devido a experiências antigas com instalações obsoletas 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ter alguma percepção social negativa, devido à imaturidade tecnológica e ausência de exemplos bem-sucedidos à escala industrial 		<ul style="list-style-type: none"> • Pode provocar odores e efluentes prejudiciais à qualidade de vida das populações próximas 	
Económico e Financeiro	Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Tem menores custos de investimento e operação • Permite aproveitamento energético do biogás 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de recuperação de energia superior aos aterros sanitários e aos digestores anaeróbios 	<ul style="list-style-type: none"> • Menores custos de limpeza do gás produzido 	<ul style="list-style-type: none"> • Agregação de valor aos resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite geração de renda com a comercialização do composto, caso exista mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior geração de biogás e metano do que no aterro sanitário
	Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Tem custos do tratamento do chorume • A capacidade de rentabilização do biogás é 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem elevados custos de instalação, operação e manutenção • Tem limitações em caso de resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem um elevado consumo energético 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem um elevado consumo energético • É necessário haver demanda de mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • A sua viabilidade económica e financeira está dependente da existência de mercado para 	<ul style="list-style-type: none"> •

Rotas		Disposição	Tratamento Térmico		Tratamento Mecânico e Biológico		
Critério		Aterro Sanitário	Incineração	Conversão Térmica	Combustíveis Derivados de Resíduos	Compostagem	Digestão Anaeróbia
		decrescente ao longo do tempo <ul style="list-style-type: none"> • Provoca a desvalorização dos terrenos 	com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorados		(utilizadores finais) para escoamento do CDR	revender o composto <ul style="list-style-type: none"> • A grande escala exige elevados investimentos 	

4. Solução para Valorização de Resíduos e Água Residuais

4.1. Projeto 1 - SARASWATI

[O conteúdo que se segue, foi retirado do relatório “*Feasibility Study – Pilot 6- Mobile Anaerobic Digester*” – SIMBIENTE, 2014]

O mau estado do saneamento e da gestão de águas residuais na Índia (como em muitos países asiáticos) é bem documentada e levou recentemente o Banco Asiático de Desenvolvimento a invocar uma revolução na gestão de águas residuais em toda a Ásia.

As abordagens convencionais, fracassaram em muitas áreas centralizadas e dificilmente foram capazes de resolverem eventuais problemas em zonas rurais, montanhosas e de rápido desenvolvimento em áreas urbanas na Índia. Em alternativa, são necessários sistemas inovadores e descentralizados que visam vários benefícios. Um principal benefício no contexto de SARASWATI é o reaproveitamento das águas residuais tratadas para diferentes propósitos. Outros benefícios incluem a reutilização da energia e nutrientes, que também são importantes. Apesar do mau estado geral de tratamento de águas residuais em todo o Sul da Ásia, a Índia tem experiência já considerável com tais abordagens descentralizadas.

Durante a última década, centenas de estações de tratamento de águas residuais descentralizadas de diferentes tipos de tecnologia foram instaladas em toda a Índia. No entanto, diversos erros de funcionamento foram detetados devido a várias razões. Além disso, não há avaliação consolidada e revisão de todas as instalações existentes disponíveis. Como resultado há apenas um conhecimento muito limitado sobre o desempenho das tecnologias existentes disponíveis e uma análise e avaliação dessas plantas é muito oportuna, a fim de tirar conclusões e recomendações sólidas para futuras estratégias de gestão de águas residuais na Índia. SARASWATI irá realizar uma avaliação tão abrangente e independente e, portanto, fornecer sugestões fundamentais para a melhoria das tecnologias existentes. Além disso, SARASWATI visa a implantação de tecnologias da UE comprovadas com potencial para resolver os graves desafios na Índia como a poluição da água devido à descarga de águas residuais não tratadas e de águas pluviais, escassez de água e esgotamento das águas subterrâneas, as práticas de tratamento de lamas sem higiene devido à falta de tecnologias adequadas (Project, 2014).

4.1.1. Digestor Anaeróbio Móvel de Lamas (Simbiente)

O presente estudo centra-se em armazenar e tratar águas sanitárias (*black water*) e resíduos alimentares das cozinhas domésticas. Atualmente, mais excreta humana é depositada em fossas sépticas onde estão descobertas e não tratada.

Digestão com produção de biogás, é uma tecnologia viável para melhorar tratamentos de águas residuais e resíduos, a fim de reduzir os problemas ambientais e riscos causados aos habitantes pela falta de infra-estruturas de saneamento e pela crescente geração de resíduos sólidos. Este pode ser construído e operado economicamente, de forma confiável e segura.

O processo de digestão anaeróbica ocorre naturalmente, na ausência de oxigénio. A digestão é um processo multi-etapas (consistindo em hidrólise, acidificação, a metanogénese) realizada por bactérias. Em sistemas de saneamento de biogás, as diferentes reações degradantes têm lugar

num digestor. O processo reduz a quantidade de material e produz biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia. Conceitos de saneamento de águas residuais sanitárias, com base na tecnologia anaeróbia, têm algumas vantagens em relação aos sistemas convencionais de tratamento de águas residuais aeróbica tais como, reciclagem de nutrientes, balanço de energia e redução de emissão de CO₂.

No entanto, um autoclismo doméstico gera águas residuais que não são adequadas para o tratamento no local numa unidade de biogás em pequena escala, a menos que outros substratos sejam adicionados. As águas residuais sanitárias ou “*blackwater*” por si só não poderia produzir biogás suficiente para cobrir completamente a necessidade de energia para cozinhar, refrigeração ou a iluminação de um agregado familiar. Isso significa que, a produção de biogás pode ser maior através da adição de resíduos de cozinha orgânica ou resíduos agrícolas, de jardins ou esterco dos animais para o digestor. Em geral, todos os tipos de biomassa podem ser utilizados como substratos desde que contenham hidratos de carbono, proteínas, gorduras, celulose e hemicelulose, como componentes principais.

Esse procedimento de adicionar dois tipos de substratos diferentes, ou mais, num mesmo biodigestor anaeróbio chama-se de co-digestão. A **co-digestão** apresenta-se como uma opção muito interessante para aumentar o rendimento do processo de DA de resíduos biodegradáveis (Mata-Alvarez, 2000) (Silveira, 2009).

A **co-digestão anaeróbia** pode apresentar diversas vantagens em comparação à digestão de substratos isoladamente, tais como: aumento do rendimento e da qualidade do biogás, desempenho mais estável, com produção de um digerido com boa qualidade e redução das emissões de gases de efeito de estufa (Mata-Alvarez, 2000) (Silveira, 2009).

O desenvolvimento de um biodigestor portátil, para o tratamento de águas residuais em zonas rurais com uso integrado de resíduos sólidos, mudou a estrutura do consumo de energia das famílias rurais e aumentou muito a aplicação de adubo orgânico altamente eficiente, melhorando a fertilidade do solo e promover o desenvolvimento agrícola sustentável.

O desempenho de digestores que operam sobre o desperdício de alimentos depende do tamanho de partícula do afluente. Portanto, a redução do tamanho das partículas e consequente aumento da superfície específica disponível, representa uma solução para aumentar os rendimentos de degradação e de acelerar o processo de digestão (Lohri, 2009).

O biogás, vindo do digestor, é composto por 50-75 % de metano, 25-45 % dióxido de carbono, e quantidades vestigiais de outros gases. Em geral, a composição do biogás está ilustrada no **Quadro 3** (Al Seadi, 2008).

O biogás é usado como uma tecnologia ecologicamente amigável e orientada para o futuro em muitos países. O biogás pode ser usado para cozinhar com fogões a gás, iluminação, aquecimento, refrigeração, geração de eletricidade, ou como combustível de transporte. No entanto, algumas destas opções são apenas viáveis para grandes sistemas de biogás.

Quadro 3. Composição relativa de biogás a partir AD (Simbiente, 2014)

Matéria	%
Metano (CH ₄)	50-75
Dióxido de carbono (CO ₂)	25-45
Vapor de água (H ₂ O)	2 (20 °C) - 7 (40 °C)
Oxigênio (O ₂)	<2
Azoto (N ₂)	<2
Amoníaco (NH ₃)	<1
Hidrogênio (H ₂)	<1
Sulfeto de hidrogênio	<1

O presente estudo irá analisar a viabilidade de opções diferentes para a aplicação do sistema de PBD, a nível do agregado familiar. No entanto, é sempre difícil adotar um determinado tipo de digestor para fins domésticos. Desenho dos digestores é variado, com base na localização geográfica, disponibilidade de substrato e condições climáticas. As alternativas de abordagens esboçadas na **Figura 6** refletem uma ordem aproximada de crescente complexidade técnica e integração, as maneiras em que a componente técnica pode variar.

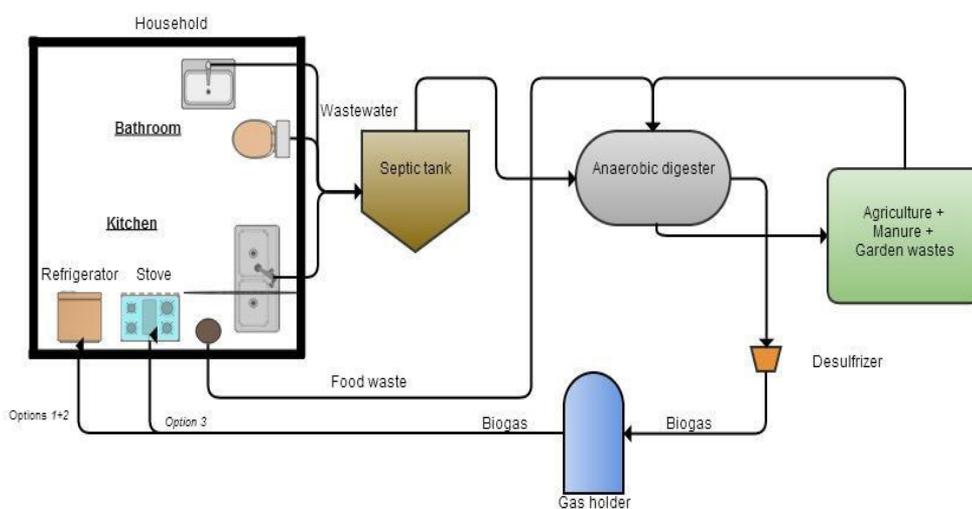


Figura 6. Desenho esquemático do sistema de PBD.

Na atualidade, um digestor de biogás portátil de 1.5 m³ foi projetado para produzir biogás a ser usado como fonte de energia para um refrigerador de absorção adaptado. Os produtos da digestão, a partir de digestor anaeróbico, serão aplicados aos jardins domésticos ou usados na agricultura.

Como uma alternativa para o refrigerador de absorção foi, também, proposto o uso do biogás em uma cozinheira de biogás fogão.

4.1.2. Informação Geral

O sistema proposto foi concebido para demonstrar a viabilidade tecnológica da digestão anaeróbia em zonas rurais. O funcionamento do aparelho é simplificada e a unidade própria é móvel, a fim de ser capaz de cobrir vários locais e sensibilizar as diferentes populações. A construção e operação da unidade foram desenvolvidas com base nas melhores práticas que ajudam as pessoas a superar problemas relacionados com a utilização e integração em instalações domésticas rurais.

A unidade de móvel de digestão anaeróbia inclui um digestor principal e um tanque de armazenagem de biogás, bem como duas unidades para a utilização do biogás produzido: uma caldeira de água e um refrigerador de absorção. A inclusão desta última unidade de refrigeração que utiliza o biogás diretamente, sem a transformação do biogás em energia elétrica é um ponto forte de inovação que reduz o custo da unidade proporcionando condições para o armazenamento de alimentos e até mesmo de armazenamento médica em pequenos centros de saúde rurais. Isto é visto como uma aplicação tecnológica positiva para biogás ainda mais em regiões com clima quente e húmido.

Potencial para resolver problemas de água na Índia: Embora a Índia mostra um desenvolvimento recente em termos de unidades de digestão anaeróbia em pequena escala, consciência das melhores práticas, bem como solução para a integração de baixa tecnologia em instalações domésticas ainda permanecem como um amplo campo para a melhoria. O principal objetivo da unidade é não introduzir jogo de mudança de tecnologia, mas com base na tecnologia existente comprovada e projeto padronizado simples, para aumentar a consciência sobre o valor do recurso, aplicabilidade e segurança do funcionamento. A tecnologia foi concebida como uma maneira de usar aplicações de baixa tecnologia para contribuir para a melhoria das condições e qualidade de vida das populações nas regiões rurais. O bloco de anúncios pode ser aplicado em áreas rurais isoladas para pequenas comunidades ou propriedades únicas para aplicações para cozinhar, aquecimento e refrigeração.

4.1.3. Local do Caso de Estudo em Kharagpur, West Bengal

Problemas de água existentes: A maioria da área rural e área periurbana em West Bengal não têm local adequado para tratamento das chamadas *blackwater*. Em alguns lugares, há apenas fossas sépticas que servem ao propósito e o efluente do tanque séptico é deixado na superfície da água drenos naturais poluição e água subterrânea. Devido às inadequadas instalações de tratamento de resíduos, o ambiente em torno dos sistemas de sanitários públicos está a ficar poluído devido às descargas de águas residuais parcialmente tratadas das fossas sépticas mal conservadas. Este efluente em muitos locais se une ao corpo de água onde a aquacultura é praticada pela população local para apoiar a sua necessidade alimentar. Este não é seguro de acordo com as orientações da OMS. Além disso, esta água da lagoa é usada pela população local para tomar banho e satisfazer as suas necessidades de lazer, que podem levar à disseminação de doenças água nascido. Por isso, é essencial adotar práticas de saneamento adequado para manter a higiene pública e controlar o surto de doenças água nascido frequentes.

Solução necessária: tecnologias de baixo custo para o tratamento de águas sanitárias e tratamento de lamas pode fornecer a solução para a proteção da qualidade da água e manter a higiene pública em tais áreas.

4.1.4. Digestão Anaeróbia

Processo de digestão anaeróbia está sendo amplamente usado para tratar as lamas de águas residuais e resíduos orgânicos de modo a proporcionar redução de volume e massa do material de entrada. Este processo biológico emprega microrganismos, na ausência de oxigênio, para converter águas residuais em lamas prontamente descartáveis e biogás. Os digestores de lamas anaeróbio, além de fornecer os meios para a eliminação eficaz de excrementos humanos, também fornecem uma fonte de energia e fertilizante agrícola. O biogás é produzido quando a matéria orgânica é degradada na ausência de oxigênio. O biogás de digestor anaeróbico contém cerca de 65 % de metano e 35 % de dióxido de carbono, com pequenas quantidades de azoto, hidrogênio e sulfureto de hidrogênio.

A finalidade desta unidade piloto é proporcionar eliminação eficaz para instalações sanitárias de excrementos humanos, bem como uma fonte de energia e um fertilizante. O *design* do piloto de lamas anaeróbico na sua forma atual consiste em um tanque digestor anaeróbico com entrada e câmaras de saída e um suporte de gás e de água selado.

4.1.5. Localização

Como referido acima, a demonstração do piloto está a ser realizada na vila Gopali em Kharagpur localizado no distrito de Paschim Medinipur, West Bengal. Esta localiza-se a 10 km em direção ao sul de Kharagpur e 132 km da capital do Estado Kolkata. Ela está situada entre 21 ° 46 'N e 22 ° 57' N latitudes 86 ° 33 'E e 87 ° 44' de longitude (Figura 7).

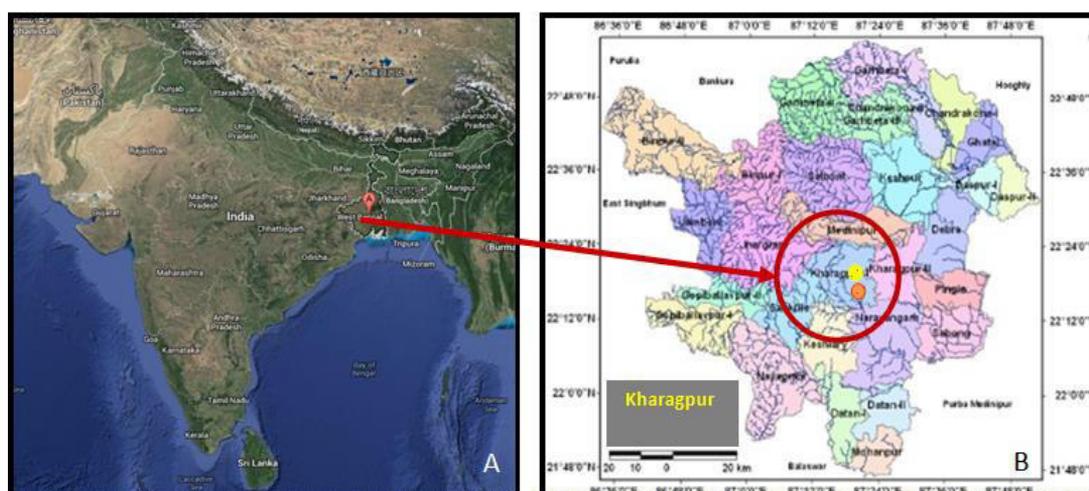


Figura 7. Mapa da Índia. (A) West Bengal localização / (B) Paschim Medinipur distrito (Kharagpur/Gopali).
[Fonte: (A) google maps; (B) Bhunia, G. S. et al. (2012)].

4.1.6. *Status quo* - Águas Residuais

Com a rápida expansão das cidades e abastecimento doméstico de água, quantidade de águas residuais está a aumentar na mesma proporção. Estima-se que o consumo de água fresca pelo uso doméstico leva até 70-80 % do volume total de águas residuais globalmente (Asano, 2002) (Harrison, 1999).

No entanto, a quantidade e a qualidade da água residual depende de muitos fatores. A quantidade e o tipo de águas residuais produzidas nos domicílios são influenciados pelo comportamento, estilo de vida e os padrões de vida dos habitantes, bem como o enquadramento técnico e jurídico pelo qual as pessoas são cercadas (Henze, 2008).

O efeito da poluição das águas residuais é devastador. Estas poluem massas de água superficiais, tais como lagoas e, conseqüentemente, recursos hídricos subterrâneos. Em certas aldeias rurais, como em Bengala Ocidental, a defecação a céu aberto pode levar a problemas graves de qualidade da água. Além disso, latrinas e fossas sépticas mal feitas podem gerar aquíferos rasos impróprios para beber.

De acordo Henze (2008) as águas residuais de habitantes é frequentemente expressa no equivalente unidade População (PE). Assumindo que 1 habitante equivalente produz 0,2 m³/d de águas residuais, a contribuição real de uma pessoa viva pode ser assumida de acordo com o **Quadro 4**. Os valores apresentados na tabela têm como base cálculos de valores médios encontrados na literatura.

Quadro 4. Composição das águas residuais por pessoa (fonte: Feasibility study - PBD)

Parâmetro	Valor	Unidade	Comentário
Águas residuais	0.2	m ³ /d	0,05-0,40
CQO	112,5	g/d	25-200
CBO ₅	47,5	g/d	15-80
TOC	38	g/d	0,6 - 1,0 * CBO
TS	200	g/d	
SS	107,5	g/d	
TN	9	g/d	2-15
TP	2,55	g/d	1-3
Coliformes	10 ¹²	N ° /100 ml	
<i>Streptococcae</i> fecal	10 ⁷	N ° /100 ml	

De acordo com o Compêndio de Estatísticas do Ambiente, 93 % das águas residuais totais são geradas apenas em cidades Classe I. Considerando que a produção de águas residuais em cidades Classe I de Bengala Ocidental é 2 345,21 x 10⁶ L/d foi possível estimar águas residuais total gerada no Estado, que é 2 521,7 x 10⁶ L/d. Os valores LPCD para águas residuais foram estimados supor que geração de efluentes líquidos é de 70 % do consumo total de água. Geração de águas residuais domésticas e tratamento estão apresentados no **Quadro 5** (Ministry of Statistic and Programme Implementation, 2009).

A fim de reduzir riscos à saúde e ao mesmo tempo garantir uma melhor qualidade de vida às pessoas, é necessário a intervenção no distrito para fornecer instalações sanitárias em cada agregado familiar.

A NLM (*National Level Monitoring*) relatou que no Estado de Bengala Ocidental, apenas 43 % das casas concluídas foram fornecidas instalações sanitárias. Paschim Medinipur foi considerado um dos distritos prioritários para a execução dessas instalações, devido à menor percentagem de cobertura de saneamento, que foi estimada em 14 % (Ministry of Rural Development, 2013). Perspetivas da distribuição dos agregados por tipo de instalação de latrinas e por tipo de conectividade de drenagem foram tomadas a partir dos dados do Censo Indiano de 2011.

Quadro 5. Tratamento e geração de efluentes domésticos (fonte: Feasibility study - PBD)

Geração de águas residuais	Valor (MLD)	LPCD
Total das águas residuais	2 521,7	28
<i>Black water</i>	882,6	9,8
<i>Grey water</i>	1 639,1	18,2
Pico de fluxo por dia	2	horas
Tratamento de águas residuais	443,96	n/a
Água não tratada	2 077,7	n/a

4.1.7. Status quo – Resíduos Sólidos

Na Índia, a gestão de resíduos sólido é de responsabilidade dos municípios locais. Embora seja um dos mais importantes serviços básicos dos municípios locais, é uma das mais problemáticas. Mais de 90% dos resíduos sólidos urbanos são descartados diretamente na terra de forma insatisfatória, causando impacto negativo na saúde pública e meio ambiente.

A quantidade de RSU gerados depende, principalmente, de fatores: hábitos alimentares, nível de vida, grau de atividades comerciais e estações do ano. As taxas de geração de RSU em cidades pequenas são inferiores das cidades metropolitanas, onde a taxa de geração *per capita* de RSU na Índia varia de 0,2 a 0,5 kg/d. De acordo com CPCB (2000), o estado de Bengala gera 0,321 kg/d per capita de resíduos sólidos **Quadro 7**).

De acordo com Kumar (2008), em Kharagpur a geração de resíduos *per capita* é em torno de 0,4 kg/d. A densidade dos resíduos sólidos gerados foi considerada entre 700 e 900 kg/m³ (K. N. Kumar, 2008).

A composição dos RSU é muito diferente em diferentes partes do país no que diz respeito à composição. Geralmente, os resíduos sólidos municipais contêm matéria orgânica compostável, materiais recicláveis e substâncias tóxicas, entre outros. Caracterização dos resíduos mostra que Kharagpur tem uma elevada proporção de resíduo misto (material orgânico misturado com alguns materiais inertes). O material inerte é principalmente poeira, areia e solo, sendo uma grande fração de RSU indiano devido as áreas em grande parte sem asfalto. Materiais recicláveis como plástico, papel, metal e têxteis são frações menores na Índia, que é uma característica comum nos países em desenvolvimento (K. N. Kumar, 2008).

Quadro 6. Agregados familiares por tipo de instalação de latrina e por tipo de conectividade de drenagem para descarga de águas residuais em Bengala Ocidental (fonte: Feasibility study – PBD)

Práticas atuais	Valor	% do uso total
Número total de domicílios	20 067 299	100
Depósito de água	6 399 638	31,9
Sistema de esgoto canalizado	1 113 584	5,5
Tanque séptico	4 157 508	20,7
Outro sistema	1 128 546	5,6
Latrina de poço	5 128 672	25,6
Poço com ventilação	4 478 967	22,3
Poço sem ventilação	649 705	3,2
Outra latrina	281 065	1,4
Estrume descartado em céu aberto	78 446	0,4
Estrume removido por humanos	130 330	0,6
Estrume depositado por animais	72 289	0,4
Sem latrina no interior das instalações	8 257 924	41,2
Latrina pública	506 636	2,5
Aberto	7 751 288	38,6
Drenagem fechada	1 853 782	9,2
Drenagem aberta	4 489 442	22,4
Sem drenagem	13 724 075	68,4

Quadro 7. Geração de RSU em Bengala Ocidental (fonte: Feasibility study – PBD)

Estado/ Município	População 2011	Geração de resíduos sólidos (t/d)	Gerado por habitante (kg/d)
Bengala Ocidental	91 347 736	29 322,62	0,321
Kharagpur	237 171	94,87	0,4

Outra característica dos resíduos sólidos é que tem baixo teor orgânico e não pode facilmente ser adubado. Devido a isso, recomenda-se separação entre biodegradáveis (principalmente cozinha e resíduos de jardim) e componentes não biodegradáveis dos resíduos domésticos para que o conteúdo orgânico dos resíduos pode ser usado para produção de energia ou compostagem.

Atualmente, em algumas áreas, a gestão dos resíduos sólidos de cozinha e de jardim ocorre com disposição à céu aberto, em campos, para decomposição da fração biodegradável ou para alimentar animais da população local.

4.1.8. Clima

O clima de Bengala Ocidental experimenta grandes variações. As estações do ano em Bengala Ocidental estão divididas em cinco categorias principais: verão, inverno, outono curto, primavera e estações chuvosas. A escala de temperatura em Bengala Ocidental é de bem abaixo do ponto de congelamento nas montanhas durante o inverno a cerca de 45 °C em partes do sul durante o verão (Government of West Bengal, 2011).

Contudo, em Bengala Ocidental há uma pronunciada disparidade sazonal das chuvas. As encostas frente sul do Himalaia recebem chuva forte em alguns lugares superior a 5000 mm, considerando que em algumas áreas relativamente mais seca, por exemplo nos Paschim Medinipur, a precipitação média anual é de menos de 1 700 mm. O estado também é sujeito a considerável variabilidade de ano para ano.

O clima caracteriza-se por quente de verão, inverno frio, chuvas abundantes e humidade. A temperatura média do distrito varia muito entre estações, variando entre máxima 43 °C e mínima 7 °C, respetivamente, com uma precipitação média anual, 1 428 mm.

Precipitação normal estimada durante 1994 a 2005, com mais de 21 anos é 1 549 mm. No entanto, nos últimos anos, tem sido altamente irregular (**Quadro 8**).

Quadro 8. Clima em Kolkata (Paschim Medinipur capital) (fonte: Organization)

Mês	Temperatura média °C		Precipitação Média - Total (mm)	Média de dias de chuva
	Diária mínima	Máximo diário		
Janeiro	13,9	26,6	16,8	0.9
Fevereiro	16,9	29,7	22.9	1.5
Março	21,7	34,0	32,8	2.3
Abril	25,1	36,3	47,7	3.0
Maio	26,4	36,0	101,7	5.9
Junho	26,5	34.1	259,9	12.3
Julho	26,1	32,2	331.8	16,8
Agosto	26,1	32.0	328.8	17.2
Setembro	25,8	32,2	295.9	13.4
Outubro	24.0	31,9	151.3	7.4
Novembro	18.9	29,8	17.2	1.1
Dezembro	14.3	27,0	7.4	0.4

4.1.9. Legislação e normas

Nas últimas décadas, o quadro jurídico relativo a água na Índia tem sido complementado por dimensão dos direitos humanos. O principal objetivo é que todos tenham direito à igualdade e não-discriminatório de fornecimento de uma quantidade suficiente de água.

Em primeiro lugar, a gestão de qualidade de água na Índia realizou-se sob a disposição da lei da água (prevenção e controle da poluição), 1974. O objetivo fundamental desta lei é manter e restaurar a justiça dos recursos aquáticos nacionais pela prevenção e controle da poluição. No entanto, a lei não define o nível de acerto para ser mantido ou restaurado em corpos de água diferentes do país. O Conselho Central de controle de poluição (CPCB) tem tentado definir a justiça em matéria de proteção de usos humanos e assim, usos humanos da água tomada como base para a identificação de água aos objetivos de qualidade para os corpos de água diferentes no país. Desde que o corpo de água natural deve ser usado para vários concorrentes bem como exigências conflitantes, o objetivo visa restaurar e/ou manutenção de corpos d'água natural ou suas partes para uma qualidade tão conforme necessário para seus melhores usos.

Assim, identificaram-se os critérios de qualidade de água primária para diferentes usos. Um resumo do sistema de classificação de uso com base é apresentado no **Quadro 9**.

Quadro 9. Padrões de qualidade de água principal

Uso de base designado	Classe de água	Critérios
Fonte de água potável sem tratamento convencional, mas após a desinfecção	A	1. Coliformes - NMP / 100mL = 50 ou menos. 2. pH [6,5-8,5] 3. DO= 6 mg/L ou mais 4. BOD = 2mg/L ou menos
Banho ao ar livre (organizado)	B	1. Coliformes - NMP/100mL = 500 ou menos. 2. pH [6,5-8,5] 3. DO= 5 mg/L ou mais 4. BOD = 3 mg/L ou menos
Fontes de água potável, após tratamento convencional	C	1. Coliformes - NMP/100mL = 5000 ou menos. 2. pH [6-9] 3. DO= 4 mg/L ou mais 4. BOD = 3 mg/L ou menos
Propagação das pescas de vida selvagem	D	1. pH [6,5-9,5] 2. DO= 4 mg/L ou mais 3. Livre de amoníaco (como N) 1,2 mg/L ou menos
Irrigação, refrigeração Industrial controlada de resíduos	E	4. pH [6,5-9,5] 5. Condutividade elétrica a 25 mg/cm max.2250 6. Relação da absorção de sódio Max. 26 7. Boro máx 2mg/L

Sob regra 3A de 1986 de regras de proteção de meio ambiente, o governo da Índia foi notificado em 19 de maio de 1993 que a emissão ou descarga de poluentes ambientais das indústrias, operações ou processos não devem exceder os parâmetros relevantes e padrões especificados no Programa VI. Existem três tipos de padrões de efluentes. As normas gerais de descarga de efluentes cobrem mais de 40 parâmetros incluindo cor e odor, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, pH, CBO, CQO, vários produtos químicos e metais. Os limites admissíveis podem variar dependendo de onde os efluentes são depositados como águas de superfície, esgotos públicos, zonas de terra com irrigação e zonas costeiras marítimas. Um resumo destas normas para a água de superfície e para irrigação pode ser observado na tabela abaixo.

Em relação à regulamentação dos resíduos sólidos, em 2000, o Ministério do Ambiente veio com a norma de 2000 (Tratamento e Gestão - MSWR) sobre resíduos sólidos urbanos municipais (Ministério do Meio Ambiente e Florestas 2000).

As regras dão claramente a responsabilidade pela gestão de resíduos sólidos, em particular o desenvolvimento de infraestruturas para a recolha, armazenagem, segregação, transporte, processamento e, finalmente, a eliminação dos resíduos sólidos urbanos para os órgãos locais. A esse respeito, todas as autoridades municipais são responsáveis pela recolha, tratamento e eliminação de resíduos sólidos municipais. Geralmente, a demanda MSWR que todos os resíduos sólidos urbanos devem ser geridos e manipulados de acordo com os critérios especificados. Quanto à fração biodegradável, as regras exigem para processá-lo por compostagem, vermicompostagem, a digestão anaeróbia ou qualquer processamento biológico adequado para a estabilização de resíduos. Produtos daqueles de processamento têm de

cumprir normas específicas. Enchimento de terra está sendo restrito a não-biodegradáveis, os resíduos inertes e outros resíduos não é adequado para tratamento biológico de reciclagem.

Quadro 10. Terceira alteração de regras ambientais (1993) (parâmetros selecionados)
(fonte: Feasibility study – PBD)

Parâmetro	Água superficial	Para irrigação
Sólidos suspensos (mg/l)	100	200
CBO ₅ (mg/l)	30	100
CQO	250	-
Cloro residual total (mg/l)	1,0	-
Nitrogénio amoniacal (mg/l)	50	-
Arsênio (mg/l)	0,2	0,2
Fluoreto (mg/l)	0,2	-
Fosfatos dissolvidos	5,0	-

4.1.10. Digestor Anaeróbio Portátil para Nível Doméstico

4.1.10.1. Descrição da Tecnologia de Tratamento

Para o presente estudo foi assumido que um PBD será usado para produzir biogás a partir de digestão anaeróbia de águas sanitárias. No entanto, como acima referido, apenas as *blackwater* não fornecem energia suficiente para suprir as necessidades de energia da casa, assim o desperdício de alimentos e outros resíduos da agricultura serão também adicionados ao processo. O biogás produzido será usado como fonte de energia em um refrigerador de absorção adaptado ou como uma alternativa para um fogão de cozinheiro de biogás. Especialmente em áreas rurais remotas, onde não existe eletrificação (confiável), um frigorífico pode ser útil para preservar alimentos e medicamentos. No **Quadro 11** apresenta as características gerais do sistema PBD.

Nesta abordagem, o sistema será composto principalmente por um tanque digestor anaeróbio, um tanque de armazenamento de gás, uma bomba de gás, carregador solar, dessulfurizador, entrada e saída de canalizações e aparelhos também.

Quadro 11. Características gerais do piloto

Tipo	Agregado familiar
Usuários regulares	4 Membros da família
Influente para digestão	Águas negras; desperdício de alimento da cozinha de uso doméstica; resíduos da agricultura
Volume de digestor	2 m ³
Uso do gás	Pequeno Frigorífico de absorção ou fogão Cook de biogás
Efluente de digestor	Chorume e digerido
Uso dos efluentes	Adubo para o jardim doméstico ou agrícola
O & M	Usuários

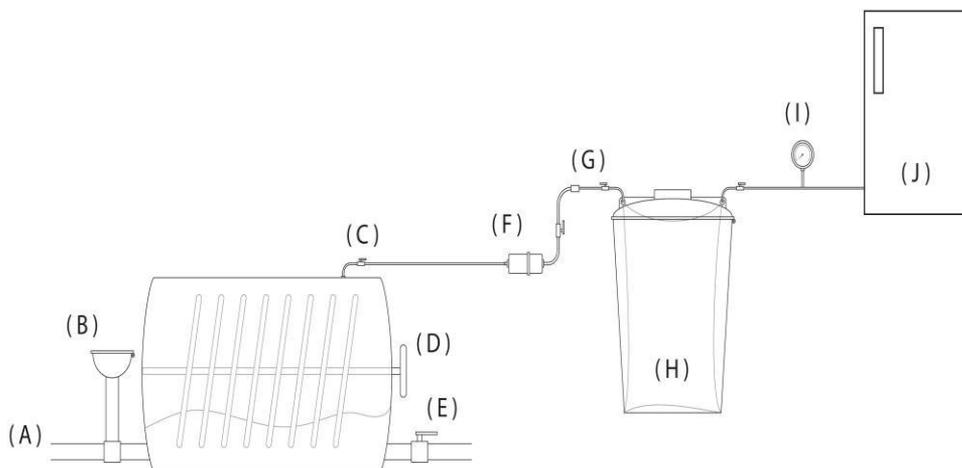


Figura 8. Layout esquemático da estação de tratamento de PBD (alternativa 1).

(A) Entrada de Água negras; (B) entrada de resíduos alimentares; (C) Saída de gás; (D) digestor com agitação manual; (E) Saída do digerido; (F) Dessulfurizador; (G) válvulas e tubos; (H) tanque gás; (I) Válvula de pressão; (J) Refrigerador de absorção.

4.1.10.2. Digestor Anaeróbio

O processo de digestão terá lugar em um tanque séptico (digestor) que cria as condições ideais para as bactérias para fermentar a matéria orgânica em condições anaeróbicas. O sistema inclui duas entradas separadas, uma para a latrina e outra para os resíduos de cozinha e tem também duas saídas, uma para o gás que é conectado ao gasómetro e outro para o efluente de digestor que permite fácil remoção. Neste sistema, pequenas quantidades de substratos serão alimentadas no digestor em intervalos frequentes (duas ou mais vezes ao dia) e uma quantidade correspondente de substrato será deslocada e exonerada do digestor a cada tempo novo que o material é adicionado. Com digestores alimentação semi-contínuas, a taxa de produção de lodo e gás é mais uniforme do que em um lote de alimentar o sistema. No entanto, este tipo de digestores, uma pequena quantidade de matéria-prima fresca pode fluir diretamente para o estouro sem ser digerida. No entanto, com boa mistura, este estouro vai ser insignificante. Para

conseguir isso, o processo de digestão deve ser reforçado com agitação manual para garantir uma boa mistura de resíduos. Alimentos e resíduos agrícolas serão alimentados manualmente com um balde.

Com base na temperatura média relatada em Paschim Medinipur, supunha-se que o reator deveria ser operado em um condições mesofílicas com uma faixa de temperatura entre 25 e 35 °C. A operação em condições mesofílicas tem algumas vantagens em comparação com a operação termofílica uma vez que é mais estável e não requer energia para aquecer o reator. No entanto, seria necessário mais dias para degradar os substratos no reator, porque o processo de digestão é mais lento para processos mesofílicos comparados com termofílicos.

Sobre pH mais literatura mostra um pH ótimo na faixa de 6,5-7,5, proporcionando que uma operação estável com rendimento de biogás maximizada.

Durante este processo cerca de 60 % dos sólidos digeríveis devem ser convertidos em biogás. Também será fornecido instruções para a mistura manual.

4.1.10.3. Matéria-prima

As águas sanitárias estão a ser co-digeridas com resíduos alimentares e de jardim. No entanto, a *blackwater* e os resíduos sólidos (de cozinha e de jardim) serão alimentados para o digestor separadamente.

No piloto, a fonte crítica é a de origem sanitária. A quantidade se fezes e urina produzidas *per capita* por dia podem variar para diferentes regiões. As razões para isso podem dever-se a diferentes hábitos alimentares e condições climáticas. Na Índia, a quantidade de fezes *per capita* é de, aproximadamente, 400 g/d e aproximadamente 1 200 g/d de urina. Os valores da relação de resíduos sólidos para humanos revelam o seguinte (Quadro 12):

Quadro 12. TS e VS valores por excrementos humanos (fonte: Feasibility study SARASWATI)

Excrementos humanos	Sólidos totais (TS)	Sólidos voláteis (VS)
Fezes	12 %	85 %
Urina	2 %	85 %

Atualmente, a *blackwater* retirada do agregado familiar são encaminhadas diretamente para um tanque séptico. Então, a água residual armazenada no tanque séptico diretamente corado para o digestor.

O baixo consumo de água de lavagem será útil para alcançar uma baixa diluição de *blackwater* e um processo mais eficiente. Nesta matéria, para determinar a composição específica da *blackwater* produzida será necessária informação mais detalhadas sobre o tipo de instalação sanitária que é aplicado e a quantidade de água por descarga.

Em relação resíduos sólidos, o agregado familiar será convidado a recolher diariamente o resíduo de cozinha em baldes, e também resíduos de jardim recolhido de propriedades domésticas (se disponível). Ambos serão adicionados manualmente com uma frequência de duas vezes por dia.

Desperdícios de alimentos biodegradáveis degradam-se facilmente no entanto, depende muito da composição do material de entrada considerada. Geralmente, tem alto teor de humidade (tipicamente mais do que 70 % de humidade) e uma estrutura fraca. Na verdade, é muito difícil estimar ou medir a percentagem de carboidratos, lipídios e proteínas em um substrato heterogêneo. A matéria-prima proposta neste estudo, devido à natureza dinâmica e sensível do processo biológico para a composição de entrada requer uma avaliação mais detalhada. No entanto, existem várias técnicas disponíveis para estimar a quantidade de biogases contidos em um substrato complexo. Conhecendo a composição geral do material de entrada para o sistema é essencial para calcular a quantidade e composição do biogás produzido, bem como a quantidade de energia contida no biogás. Para alcançar este objetivo, as análises da composição dos resíduos mistos será importante na aplicação do processo de digestão anaeróbica de modo a adaptar-se e otimizar as condições de operação para a matéria-prima específica. Para este estudo foram considerados as seguintes características de resíduos de alimentos (ver Quadro 13):

Quadro 13. TS e VS valores para o desperdício de alimentos (fonte: *Feasibility study SARASWATI*)

	Sólidos totais (TS)	Sólidos voláteis (VS)
Desperdício de alimentos	42 %	96 %

4.1.10.4. Razão C:N

As unidades de biogás são especialmente eficazes quando os componentes de resíduos e de águas residuais com baixo teor de carbono e conteúdo de nitrogênio são misturados com componentes com alto teor de carbono e conteúdo de nitrogênio. Isso faz com que as unidades de biogás uma forma adequada de lidar com uma mistura de fezes (baixo C: N) com cozinha e resíduos de jardim (alta C:N). A esse respeito, é sempre importante manter em peso uma relação C:N entre 15-30: 1 para atingir uma taxa ótima de digestão. Se a relação C:N é baixa, o pH irá aumentar a ter um efeito tóxico sobre as bactérias, se a relação C:N é elevada, a limitação N poderia causar falta de nutriente para o crescimento de bactérias anaeróbicas, ambos resultando em menor produção de biogás. Para evitar estas ocorrências, a relação C:N ser manipulado através da combinação de materiais de baixo teor de carbono, com os que são ricos em azoto.

Segundo a literatura, a relação C:N ideal para a geração de biogás encontra-se no intervalo entre 20-30:1. E o substrato que será tratado deverá conter entre 7 % e 10 % de sólidos totais (TS) (Tommy Karlsson, 2014).

4.1.10.5. Produto da Digestão (Digerido)

Várias avaliações econômicas têm demonstrado a importância de usar não só o biogás mas também a lama digerida. As lamas digeridas, decomposta em diferentes conteúdos orgânicos, permite que os nutrientes sejam absorvidos facilmente no solo. Podendo, por conseguinte, estarem imediatamente disponíveis para as plantas. A lama não só contribui como fonte direta para as plantas, mas também para o desenvolvimento de organismos do solo.

Quando a digestão está completa, o digerido é inodoro e não atrai insetos. Comparado com o esterco, o digerido tem melhor qualidade fertilizante e foi provado um aumento de rendimento no cultivo de legumes, frutas, cereais, entre outros. O digerido é um produto do biodigestor e é composto de dejetos humanos e resíduos alimentares (possivelmente também outra matéria orgânica). No processo de digestão, cerca de 60 % de matéria seca total, provenientes de águas negras e desperdício de alimentos é transformada em biogás e o residual de 40 % é transformado em digerido.

As propriedades orgânicas deste digerido e os seus potenciais impactos precisarão ser investigados durante a sua aplicação no solo, para avaliar seus efeitos sobre este, sobre o estado dos nutrientes do solo e do valor das substâncias húmicas. Bioteste são recomendados para estimar a ecotoxicidade antes do uso em terra, a fim de prevenir os riscos de saúde para os seres humanos e animais, também antes do uso agrícola.

A presença de coliformes fecais é frequentemente utilizado como um indicador da qualidade sanitária global de ambientes de solo e água como eles ocorrem, geralmente, em frequências mais altas que os agentes patogênicos e são mais simples e mais seguro para detetar.

A tabela abaixo mostra o tempo de sobrevivência dos coliformes e patógenos no processo anaeróbio em uma condição de mesófilos.

Quadro 14. Tempo de sobrevivência de patógenos em plantas de biogás em condições mesofílicas

Bactérias	Dias de fatalidade	Taxa (%)
<i>Escherichia Coli</i>	20	100
Salmonela	7	100
Shigella	5	100
Poliviruses	9	100
Óvulos de Schistosoma	7	100
Óvulos de ancilostomíase	10	100
Óvulos de Ascaris	36	98

Neste âmbito, o digerido produzido e retirado do digestor e deve ser colocados num leito de secagem antes de ser utilizado para a fertilização, a fim de limpar os agentes patogênicos. Uma vez deixado secar durante cerca de um mês, é então capaz de ser utilizado como um fertilizante rico em nutrientes.

4.1.10.6. Biogás

O biogás produzido no digestor, em primeiro lugar vai ser recolhido para um espaço de armazenagem e, em seguida, utilizado como um combustível para executar um refrigerador de absorção. Neste tipo de digestores é quase necessário dispor de um recipiente de gás separado, mesmo que algum gás irá ser armazenado no próprio digestor. Armazenar o biogás produzido reduz o problema da baixa taxa de fluxo durante a operação geladeira. Existem dois tipos principais de titular do gás em separado: o tipo de gás flexível e do tipo cúpula flutuante. Desse modo, o biogás será retirado do digestor por uma mangueira de tubo no topo do digestor, e levado para um saco flexível de PVC, o qual deve ser bastante durável e não pode queimar. A literatura tem mostrado que, quando é usado para cozinhar ou refrigeração, o suporte do gás deve ser capaz de armazenar cerca de 60 % da produção de gás de um dia.

No biogás, há um pouco de H_2S , que é tóxico e corrosivo. A presença do teor de enxofre nos gases como resultado de um aumento da produção de sulfureto de hidrogénio (H_2S) tem de ser tomada em consideração e possivelmente filtrado ou eliminado quimicamente. O sulfureto de hidrogénio tem de ser removida, a fim de evitar a corrosão em tubagens, compressores, tanques de armazenamento de gás e as unidades de refrigeração. A concentração de sulfureto de hidrogénio no biogás depende da matéria-prima e varia entre 0,1 % a 1 %. Por este motivo, é essencial remover grande parte das quantidades de sulfureto de hidrogénio no biogás produzido. Dessulfuração é realizada para evitar concentrações tóxicas de H_2S . O sulfureto de hidrogénio é extremamente reativo com a maioria dos metais. A remoção do H_2S a partir de biogás pode ser feito por vários métodos, quer química ou biológica, tendo lugar dentro ou fora do digestor.

Finalmente, o biogás vindo do gasómetro, será conduzido à cozinha para ser usado como combustível.

4.1.10.7. Refrigeração por Absorção (Princípio de Operação)

A atual realidade económica e ambiental despertou um novo interesse nos refrigeradores alimentados por fontes de calor. Os sistemas de refrigeração de sorção, durante algumas décadas, foram utilizados para diversas aplicações entre elas como ar condicionado e refrigeração. Porém, dada a sua baixa eficiência e custos de investimentos elevados, a sua utilização tem sido restringida em comparação com os sistemas de compressão. Devido a isto, os sistemas de sorção e de dessecantes têm sido utilizados, em geral, apenas quando grandes quantidades de energia térmica, a partir de resíduos, estão disponíveis e podem ser fornecidos para o sistema, como, por exemplo, tecnologia solar e geotérmica (*Dossat, Principles of Refrigeration*).

A maioria dos processos industriais utiliza uma grande quantidade de energia térmica através da queima de combustível fóssil para produzir vapor, ou de calor para o efeito. Após os processos, o calor é rejeitado para o ambiente como resíduos. Este calor residual pode ser convertido a um refrigeração útil usando um sistema de refrigeração de funcionamento térmico, tal como um ciclo de refrigeração por absorção.

Energia contratada por empresas para frigoríficos de compressão de vapor convencionais pode ser reduzido. O uso de calor, para operações de sistemas de refrigeração, ajuda a reduzir

problemas relacionados com o ambiente, o chamado efeito de estufa, a partir de emissão de CO₂ através da queima de combustíveis fósseis em centrais de energia elétrica (Srikhirin, 2001).

O sistema básico de refrigeração de adsorção usualmente consiste de quatro componentes principais: um leito adsorvente sólido ou adsorvente, um condensador, um dispositivo de expansão e um evaporador (o esquema do ciclo está representado na **Figura 9**. O sistema opera com base no princípio da adsorção reversível entre o adsorvente e o refrigerante, esta reversibilidade depende da temperatura do adsorvente e a pressão de vapor do refrigerante. Para obter um efeito de arrefecimento contínuo e estável em ARS, geralmente dois ou mais adsorventes são utilizados. No ciclo de dois adsorvedor (de dois leitos de adsorção), é aquecida durante o período de dessorção e o outro adsorvedor é arrefecida durante o período de adsorção, em seguida, o ciclo completo é conhecido como "tempo do ciclo". Os períodos de aquecimento e arrefecimento são invertidos quando os adsorventes de alcançar os limites desejados superior e inferior de temperatura do ciclo de refrigeração, que dependem da seleção de o fluido refrigerante e o adsorvente. Recentemente, há mais interesse no desenvolvimento da tecnologia de refrigeração de adsorção por razões diferentes. Entre eles, os sistemas de sorção são tranquilos, de longa duração, barato para manter e ambientalmente benigna. Os sistemas de arrefecimento e refrigeração de adsorção tem as vantagens de ser, livre ou quase livre de peças, eficientemente conduzidos por baixa temperatura calor residual ou fontes de energia renováveis em movimento, e não requerem quaisquer lubrificantes sintéticos (Ahmed N. Shmroukh, 2013).

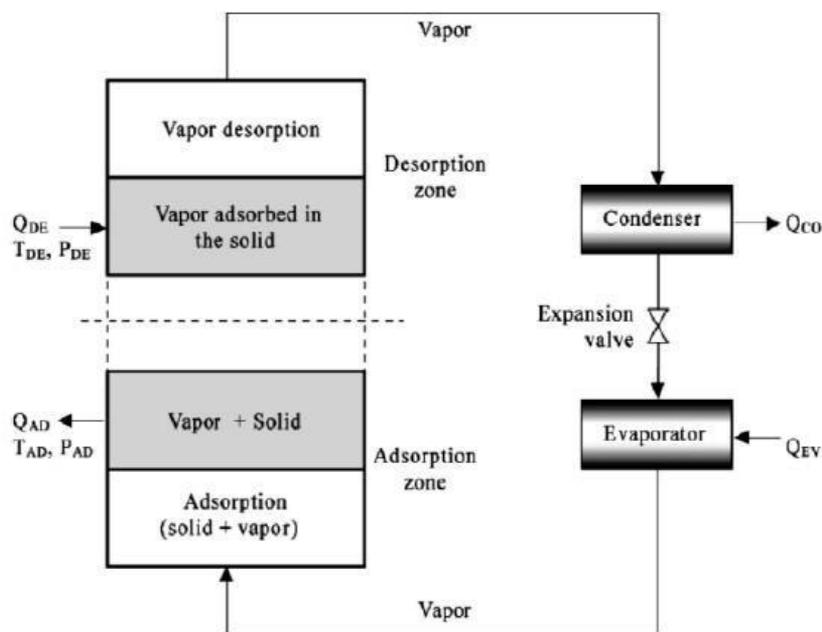


Figura 9. Ciclo básico de refrigeração por adsorção (Ahmed N. Shmroukh, 2013).

Uma das opções será a utilização de um refrigerador do tipo de absorção, operando em amoníaco e água e equipado com termossifão automático. No estado de Bengala Ocidental, cerca de 90 % da população não tem acesso a eletricidade, o frigorífico a biogás poderia ser de grande importância para se manter materiais sensíveis à temperatura, como alimentos, medicamentos e vacinas em áreas remotas.

No entanto, no mercado interno, há uma oferta limitada de refrigeradores e congeladores de gás, e muito menos projetado para rodar em biogás. É por isso que, para o *design* do sistema tradicional utilizando um refrigerador de gás, é necessário fazer a alteração do bico injetor de gás, a fim de assegurar a pressão adequada para operar o biogás. Neste caso, são necessários jatos estáveis de queima.

Assim, o refrigerador deve ser adaptado para utilizar biogás como uma energia alimentado refrigeração por absorção alternativa, permitindo que ele seja completamente desligada da rede elétrica. O princípio básico de um sistema de refrigeração por absorção é que ele utiliza uma fonte de calor para fornecer a energia necessária para conduzir o processo de arrefecimento, com base na teoria de cilindro-*Munters*. Em uma absorção de gás amoníaco líquido refrigerador cilindro-*Munters* evapora-se na presença de hidrogénio gasoso, proporcionando o arrefecimento.

O amoníaco, agora gasoso, é enviado para um recipiente contendo água, que absorve este. A solução de água-amoníaco é então dirigida passado um aquecedor, que ferve amoníaco gasoso para fora da solução de água-amoníaco. O amoníaco gasoso é, em seguida, condensado em um líquido. O amoníaco líquido é então enviado de volta através do gás de hidrogénio, completando o ciclo (Figura 10).

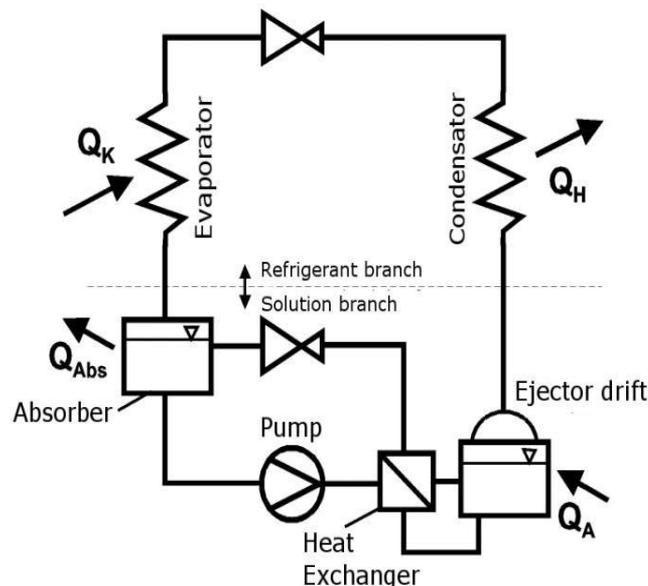


Figura 10. Ciclo de um refrigerador de absorção
(fonte: Simbiente L. , 2014)

Com base em várias fontes na literatura, para executar um refrigerador de absorção que será necessário cerca de 30 a 75 L de biogás por hora, dependendo da temperatura exterior.

4.1.11. Desenho Técnico

O *design* do PBD para as zonas rurais dos países em desenvolvimento deve basear-se na produção de biogás a partir de materiais digeríveis disponíveis no local, com o uso do gás determinado pela quantidade produzida e a produção de uma quantidade necessária de biogás para um propósito específico, como refrigeração, cozinhar e iluminação, entre outros.

Tal como referido acima das circunstâncias locais específicas deve ser levado em consideração ao planejar um sistema de tratamento de águas residuais de biogás; parâmetros gerais são, por exemplo quanto os excrementos ou de águas residuais tem de ser tratado; o fator de diluição do efluente com água de descarga; adição de matéria-prima orgânica; o conteúdo de lamas de assentar no afluente; o clima; e quanta área está disponível.

De acordo com estudos da literatura e dados locais reunidos, foram selecionados alguns parâmetros de projeção no desenho do sistema de PBD. Variáveis de entrada principal (a taxa de diluição, HRT, quantidade e qualidade da matéria-prima, etc) foram escolhidos a partir de faixas de operação desses valores dados por diferentes pesquisadores, e os cálculos foram feitos com base nos valores selecionados para cada parâmetro.

Em relação a este, nesta secção, o reator conceber que vai ser descrito, e também o desenho detalhado será fornecido na secção atual. É evidente que os parâmetros de entrada diferentes irão produzir diferentes saídas.

Além do tratamento de resíduos e águas residuais necessita de nossas preocupações também estavam se reunindo biogás suficiente para executar um frigorífico, a fim de atingir uma temperatura espaço em torno de 4 °C e armazenar o máximo de biogás como possível, para que a geladeira continuariam a ser executado quando a produção de biogás é menor.

Em relação a este, para o dimensionamento do sistema considerou-se duas abordagens principais. Um iniciado a partir do montante disponível de resíduos de águas negras e alimentos e calcula quanto de biogás para refrigeração ou cozinhar pode ser derivada dela. Outra abordagem foi começando com as necessidades de biogás para os fins mencionados.

Para esta abordagem um PBD de um volume de 1,5 m³ foi visto para ser apropriado no tratamento de águas sanitárias e resíduos de cozinha. A esse respeito, o desenho e os cálculos de dimensionamento realizados seguiram a literatura e a supervisão da SIMBIENTE e estão apresentados em anexo (A). O sistema de biogás proposto foi projetado para possibilidades locais e condições de baixo custo com base em informações e estudos apresentados na literatura local.

4.1.11.1. Agregado Familiar Alvo

Com base em 2011 dados do censo foi assumido por este estudo, uma média de 4 pessoas por agregado familiar (2 adultos + 2 crianças).

Quadro 15. Parâmetros gerais para o agregado familiar alvo (Feasibility study - PBD)

Parâmetro	Valor	Unidade
Agregados familiares	1	#
Pessoas por domicílio	4	Cap

O agregado alvo também deve atender as seguintes descrições:

- I. Agregado familiar sem qualquer ou tratamento inadequado de águas residuais;
- II. Agregado familiar sem eletricidade como fonte de energia;
- III. E doméstico com fontes de resíduos agrícolas ou animais.

4.1.11.2. Dimensionamento do Digestor Anaeróbio

Conforme referido acima o desenho de um biodigestor é semelhante ao de um tanque séptico, com a diferença de que o biodigestor incorpora a capacidade de biogás para ser recolhido e armazenado. O uso deste é ideal nesta situação, devido ao custo relativamente baixo da unidade. Além disso, este tipo de digestor requer pouca manutenção e sem consumo de energia.

O **Quadro 16** descreve os parâmetros gerais assumidos para o projeto do sistema.

Quadro 16. Parâmetros gerais para o *design* do AD

Digestor anaeróbio			
HRT	25	Dias	Assumido (experiências próprias)
Dimensões (H * W * D)	1.35 * 1,25 * 1,21	m * m * m	Assumido (experiências próprias)
Volume	1.5	m ³	Assumido (experiências próprias)
Volume eficaz dentro do digestor	1.125	m ³	Calculado (anexo A)
Caudal diário	45	L	Calculado (anexo A)
Volume do gasómetro	0.8	m ³	Calculado (anexo A)

A capacidade do digestor de biogás baseava-se em experimentos feitos, sobre a disponibilidade de matéria-prima para o nível-alvo e no tempo de retenção ideal assumido. Para um digestor anaeróbio completamente misturado HRT é necessário cerca de 6 a 15 dias. No entanto, neste caso HRT deve ser mantida aproximadamente 25 dias porque digestor funcionará como um reator parcialmente misturado. Baseia-se a temperatura média local, supunha-se que o processo será mantido em torno de 30 °C de operação. O volume de trabalho eficaz do digestor foi calculado supondo que $\frac{3}{4}$ do volume total cria volume suficiente livre dentro do digestor.

Considerando um tanque digestor de 1,5 m³ volume total era possível concluir que o volume eficaz é 1,125 m³.

A alimentação diária foi calculada dividindo o volume eficaz com o tempo de retenção, resultando em 45 L. Para este estudo, considerou-se que uma ninhada de água têm o mesmo peso que uma ninhada de resíduos, desde que a densidade dos sólidos é perto de densidade da água.

Como acima referido o digestor deve ter possibilidade de agitação manual. O misturador deve ser girado algumas vezes por dia e quebras de qualquer camada de escória formada, aumentando o rendimento do processo.

O digestor deve ser concebido de tal forma para que os resíduos podem ser facilmente colocados dentro dele. Uma abertura para o desperdício de alimentos ou resíduos agrícolas deve estar disponível para trazer os materiais para o digestor (ver **Figura 11**). O tanque digestor deve ter três furos, um para a entrada de resíduos de efluentes e comida e com o tubo de descarga de gás e outra para o tubo de saída do chorume.

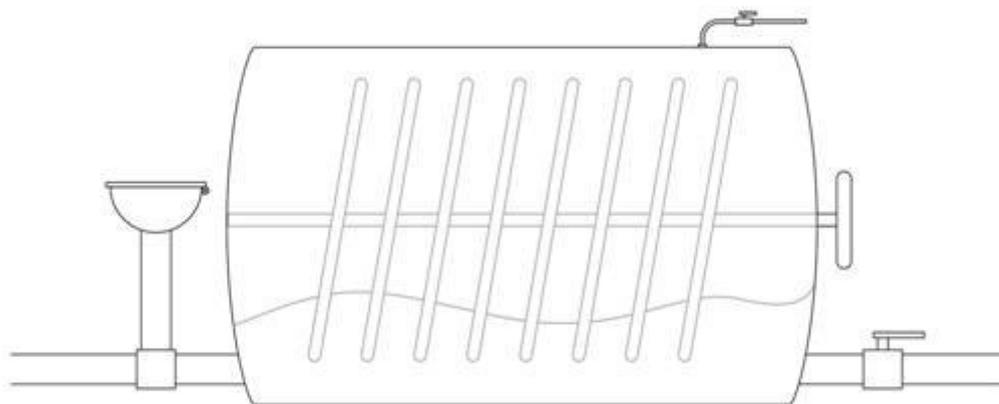


Figura 11. Tanque digestor anaeróbico.

4.1.11.3. Características da Matéria-Prima

A quantidade e a natureza da matéria-prima são fatores-chave para determinar o tamanho ideal do digestor de biogás, o volume de água necessária e a quantidade de biogás a ser gerado. Na verdade, todos os tipos de biomassa podem ser usados como substratos, enquanto eles contêm hidratos de carbono, proteínas, gorduras, celulose e hemiceluloses como componentes principais.

Para o presente estudo a água negra do sanitário e o desperdício alimentar da cozinha foram considerados como matéria-prima. Para este estudo foi assumido que a água negra e o resíduo de cozinha produzido no agregado familiar é 100 % coletado. Para determinar a quantidade de matéria-prima disponível foram tomados em conta, os parâmetros gerais do agregado familiar, que estão representados no quadro abaixo. Como não foi possível encontrar todas as características necessárias de fezes humanas e desperdício de alimentos, a maioria dos parâmetros foram assumidos com base na literatura existente (**Quadro 17**).

Sobre a *blackwater*, foi assumido de um agregado familiar de 4 pessoas, que as latrinas são usadas em média uma vez por pessoa por dia para defecar e duas vezes por dia por pessoa para urinar. Para atingir este valor considerou-se que cada pessoa defeca uma vez por dia e que eles usam quase sempre sua latrina em casa e para urinar, sabendo que cada pessoa urinar cerca de 4 vezes por dia, considerou-se que metade das vezes que os membros da família urinam fora. Supondo que cada pessoa urina cerca de 0,3 kg por micção e defeca 0,40 kg por defecar concluiu-se que um agregado familiar de 4 Membros produz 2,4 kg de urina e 1,6 kg de fezes por dia.

Por outro lado, suponha-se que cada família produz um montante total de 1 kg de *foodwaste* por dia. Esta estimativa foi baseada de acordo com *Central Pollution Control Board of West Bengala* que informou que a taxa de geração de resíduos *per capita* tem uma média de 0,25 kg/d (Central Pollution Control Board, 2010).

Com base nestes propósitos, foi possível concluir que cada família deve ser capaz de produzir uma média de 5 kg de resíduos totais disponíveis para alimentar o digestor. Uma caracterização áspera e relativamente fácil de resíduos é a análise de sólidos totais (TS) e sólidos voláteis (VS). TS e VS são importantes porque eles determinam o indicador mais comum do desempenho de digestor, que é a quantidade de metano produzido por unidade de massa de matéria sólida ou voláteis. Os valores de percentagem de TS e VS para WC e resíduos de cozinha (ver **Quadro 12** e **Quadro 13**), foram tirados da literatura.

A quantidade de sólidos totais nas excreções humanas foi calculada com base nos valores do **Quadro 17**, que dá por casa 240 g/d, conforme a quantidade de TS para *foodwaste* foi estimada para ser por casa 400g/d. O biogás e, portanto, produção de metano dependem da quantidade de COD_{removidos} por tratamento anaeróbico. Com base na literatura, um valor_{total} estimado de COD de cerca de 1,1 mg/mg (O₂/TS) para a matéria-prima combinada foi levado para calcular a quantidade_{total} de COD de matéria-prima combinada por dia. Com uma percentagem estimada se COD_{removido} de 87 % e sabendo que na produção de metano de teoria é 350 L/kg COD_{removido}, a produção total de biogás produzido (Estoppey, 2010).

Como conclusão, Considerando que uma família tem uma média de 4 membros, produção de biogás total de *blackwater* misturado com *foodwaste*, foi estimada em 329,5 L/d. Para os cálculos da produção de biogás foi assumido conteúdo de metano de 65 % e um menor aquecimento valor 22 MJ/m³ de biogás.

No entanto, o biogás diário produzido da *blackwater* e da *foodwaste* só é suficiente para cozinhar 1 litros de água por habitante por dia (ver anexo).

No entanto, o biogás diário produzido de *blackwater* e de *foodwaste* é suficiente apenas para cozinhar 1 litro de água por habitante por dia (ver anexo).

De acordo com nossos cálculos, para executar um refrigerador de absorção foi estimado que em torno de 0,75 m³ de biogás deve ser necessária. A este respeito, alternativas de fora do agregado familiar devem tomar em consideração, quanto resíduos de agricultura/jardim de exemplo ou estrume animal mesmo. Se disponível, quanto a palha de arroz exemplo resíduos de agricultura, menos de 1 kg por dia é necessário para ser alimentados no digestor, para produzir o biogás suficiente para executar um frigorífico. Adicionar 1 kg de palha de arroz para o digestor será possível produzir um total de 880 L de biogás por dia. Isto foi calculado com base no montante do desejável TS-citação que precisa ser adicionado para produzir a quantidade de biogás diário necessário. Por outro lado, se apenas o estrume de vaca está disponível adicionando cerca de 2 kg por dia de estrume de vaca deve ser suficiente para produzir quantidades equivalentes de biogás por dia.

No entanto, informação mais detalhada é necessário saber qual o tipo de resíduo pode ser adicionado para o digestor, e também as características de cada matéria-prima devem ser determinadas em valores realistas.

Quadro 17. Características da matéria-prima

<i>Black Water</i>			
Urina (por pessoa)	1,20	kg/d	Assumido com base em (Estoppey, 2010)
Fezes (por pessoa)	0,40	kg/d	Assumido com base em (Estoppey, 2010)
Estima-se a produção diária de excreções humanas (por pessoa)	1,60	kg/d	Calculado (anexo)
Estima-se a produção diária de excreções humanas por HH	4,00	kg/d	Calculado (anexo)
TS (por agregado doméstico)	0,24	kg/d	Calculado a partir da tabela 17 (anexo)
VS/TS	85	%	Calculado a partir da tabela 17 (anexo)
VS _{FW} (por agregado doméstico)	0,20	kg/d	Calculado (anexo)
Desperdício de alimentos			
Produção diária de 1 pessoa	0,25	kg/d	Assumido com base na CPCB, 2010
Produção diária do agregado familiar	1,00	kg/d	Calculado
Teor de matéria seca	0,40	%	Assumido com base em Estoppey, s. (2010)
TS (por agregado doméstico)	0,40	kg/d	Calculado (anexo)
VS/TS	96	%	Assumido com base em Estoppey, s. (2010)
VS _{FW} (por agregado doméstico)	0,38	kg/d	Calculado (anexo)
Matéria-prima mista			
Quantidade total produzida	5	kg/d	Calculado
TS	0,64	kg/d	Calculado
Razão CQO _{total} /TS	1,1	g/g	Assumido com base em Estoppey, s. (2010)
Quantidade de CQO por dia	704	g/d	Calculado
% CQO _{removido}	87	%	Assumido com base em Estoppey, s. (2010)
CQO _{removido}	613	g/dia	Calculado
Teor de metano	65	%	Média assumida com base em várias fontes
Produção de biogas	329.5	L/dia	Calculado

Relativamente à quantidade de água necessária, dependerá da quantidade de sólidos a ser alimentado no biodigestor na proporção de 1:1, que devem ser fornecidos principalmente pela água de lavagem. No entanto, a quantidade de água não deve ser elevada a fim de não exceder a carga máxima de 25-45 L de água adicional, incluindo a *blackwater*.

4.1.11.4. Uso e armazenamento do biogás

O biogás será coletado e armazenamento até a hora do consumo no gasómetro. O volume de gasómetro foi escolhido de forma igual à esperada produção diária de biogás, resultando em uma capacidade de ao redor de 0,8 m³. Em seguida, o tubo de gás levarão o biogás para o lugar onde ele é consumido pelos aparelhos a gás, que neste caso será o refrigerador de absorção. No entanto, o biogás é 100 % saturada com vapor de água e contém sulfeto de hidrogênio.

Condensação, coletar no tubo de gás deve ser removida por uma armadilha de água. Por outro lado, sem tubagens, válvulas ou acessórios que contêm alguma quantidade de metais ferrosos podem utilizados para tubulação de biogás, porque eles seriam destruídos pela corrosão com um curto período de tempo. As linhas de gás podem consistir em tubos de aço galvanizados padrões feitos de PVC rígido ou PE e devem ser resistentes ao UV. Tubos devem ter dimensões nominais de ½" e um comprimento de menos de 30 m.

Na **Figura 12**, é apresentada uma representação esquemática do titular do gás. O exterior do titular do gás é um tanque de 1 m³ que será principalmente para proteger o saco interno de ataques ambientais e animais. Dentro o titular gás há uma bolsa de gás que irá armazenar o gás produzido antes de ser consumido.

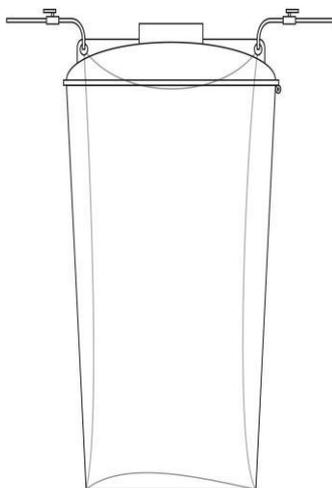


Figura 12. Gasómetro

4.1.11.5. Armazenamento e Produção do Efluente Após a Digestão

O efluente do BDP contém aproximadamente 1-12 % de produtos orgânicos refratários. Este pode ser usado em frações líquidas ou sólidas, secadas ou em pasta. Nenhum dos nutrientes, tais como azoto, fósforo, potássio e magnésio ou os oligoelementos essenciais para o crescimento das plantas, são removidos durante o processo de digestão. A relação C:N é reduzida devido à perda de carbono sendo que uma melhoria em termos de adubação, desde então, promove um efeito fitofisiológico favorável.

No presente estudo, foi estimado uma produção de digeridos a volta de 2-2,5 t/ano.

Dependendo do conteúdo nutritivo, estima-se que os produtos da digestão produzidos em um ano podem ser usados como adubo em uma área de cerca de 500 m².

4.1.11.6. Unidade de refrigeração

Os frigoríficos que são executados com chama de querosene podem ser adaptados para funcionar a biogás. Uma vez que o biogás é a única fonte externa de calor, o queimador do frigorífico terá que ser modificado.

Para assegurar que esta refrigeração possa ser usada, um frigorífico a gás de 60 litros de capacidade total, que consome em torno de 0,25 kg de gás por dia, foi assumido. Baseando-se em cálculos de conversão entre o GPL e o biogás, significa que, necessitaremos de 0,50 m³ de produção diária de biogás.

Quadro 18. Parâmetros gerais para refrigeração por absorção (fonte: Feasibility study - PBD)

Modelo	Dometic RM 4211	
Capacidade	60	L
Consumo de gás por dia	250	g/d
PCI (GPL)	46.607	MJ/kg
% de metano no biogás	60	%
Valor de aquecimento (metano)	35,8	MJ/m ³
Tempo diário de consumo	24	h/d
Energia disponível (biogás)	23,27	MJ/m ³
Consumo de energia por dia (LPG)	11.65	MJ/d
Consumo de biogás por dia	0,48	m ³ /d

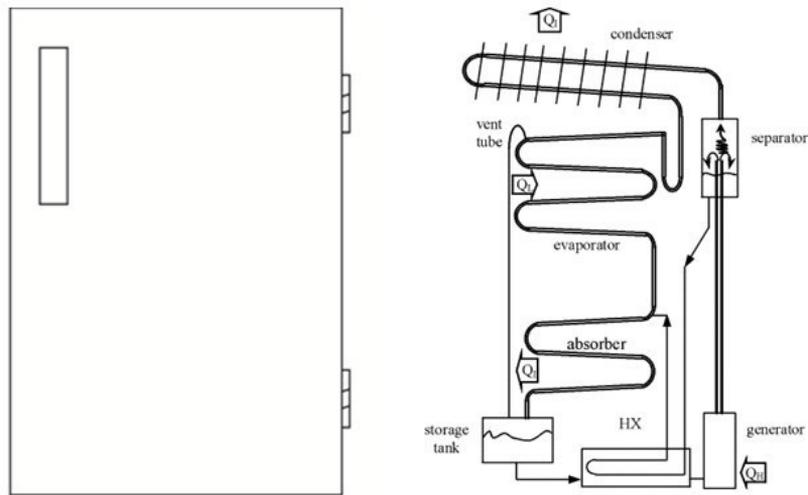


Figura 13. Refrigeração por absorção (frente e trás) (fonte: Feasibility study - PBD).

4.1.12. Viabilidade Financeira

Entendimentos dos retornos financeiros e econômicos são elementos chave no processo de decisão sobre saneamento de biogás. Em relação a este, durante esta seção, é avaliada a viabilidade financeira do sistema PBD. Em primeiro lugar, os custos de investimento, os custos de operação e manutenção, bem como as economias possíveis.

Análise financeira dos custos e benefícios fornece *insights* sobre a vontade do consumidor e capacidade de investir em tecnologias de saneamento de biogás capturando potencial rede retorna para casa. O quadro a seguir, lista uma estimativa grosseira do PBD equipamento e custos materiais, considerando a alternativa 1, com a introdução de um refrigerador de absorção. No entanto, os preços individuais mais realistas devem para determinar como eles dependendo da disponibilidade local de equipamentos e materiais e a distância do sistema a partir do agregado familiar.

O investimento em um PBD deve fornecer energia para refrigeração durante o tempo esperado de funcionamento do sistema, que é cerca de 20 anos.

O custo do sistema doméstico PBD deve variar cerca de 82 000 INR dependendo da zona do mercado e da disponibilidade de equipamentos locais e materiais. Com base em pesquisas na internet e contatos feitos foi possível concluir que a necessidade de materiais e equipamentos para as construções do biodigestor está disponível localmente. No entanto, foram encontrados frigoríficos não apropriados localmente e algumas partes da tecnologia poderá ser importar.

Num período de tempo entre 20 a 30 anos – o tempo normal de vida de um biodigestor – deve constituir a base de cálculo.

Certas partes têm de ser substituídos após 8-10 anos. As peças de aço precisam ser redesenhadas anualmente ou a cada dois anos.

Quadro 19. Custos de material e equipamento (fonte: Feasibility study – PBD)

Componentes	Custos (Eur)	INR (Indian rupee)	Ano de referência
Tanque de digestor	98	6 743	2013
Tubos (pelo menos 6)	30	2 537	2013
Válvulas (pelo menos 5)	60	5 074	2013
Titular de gás	37,45	3 166	2013
Medidor de pressão	9,74	823	2013
Refrigerador de absorção	745	62 840	2013
Desulfurizador	11,23	948	2013

Quadro 20. Custos de manutenção e operação

Componentes	Custos (EUR)	INR (<i>Indian Rupee</i>)	Ano de referência
Entrada do trabalho	150	12 696	2013
Material	990	83 680	2013
Custos de energia	0	0	n/a
Custos de transporte	100	8 464	2013

4.2. Projeto 2 – EIA URE Cajú – Brasil

[O conteúdo que se segue, foi retirado do documento “Memorial Descritivo de Processo – Cajú, RJ – ZITEC]

Neste capítulo, o objetivo será descrever o estudo de análise de risco ambiental, ou estudo de impacto ambiental, da implantação e funcionamento de uma incineradora, tipo WTE, com disponibilidade anual de funcionamento maior que 8 000 horas, para tratamento dos resíduos sólidos urbanos – RSU, com geração de energia elétrica. Esta pretende aplicar o conceito das melhores tecnologias disponíveis mais conhecidas como BAT – *Best Available Techniques* (Directive 96/61/EP – IPPC Directive, 2006).

A tecnologia WTE pode ser entendida como um processo térmico de conversão dos resíduos sólidos urbanos tendo como produto final calor para processos industriais e/ou energia elétrica para a sociedade.

Existem duas categorias de instalações WTE. Plantas tipo *mass-burn* onde o lixo é colocado na usina no estado bruto, como coletado e a categoria CDR (Combustível derivado de resíduos), que utiliza resíduos previamente segregados e triturados, mais conhecido como combustíveis derivados de resíduos. As plantas mais usuais construídas no século XXI são tipos *mass-burn*,

com grelhas móveis, em face de sua simplicidade, bem como seu custo, quando comparado com outras tecnologias como gaseificação e plasma (Psomopoulos, Bourka & Themelis, 2009).

Esta tecnologia traz como benefícios ambientais a diminuição da dependência de aterros sanitários devido a drástica diminuição do volume destinado aos mesmos (de 90-95 %), minimizando a necessidade de criação de novos espaços e eliminando a emissão de metano, potente gás do efeito estufa. Secundariamente, mas não menos importante, ela também acarreta economia em transporte, tráfego, combustível, equipamentos, mão-de-obra e logística.

Sua localização é considerada estratégica, pois estará inserida no centro de carga da geração de RSU da cidade e com facilidade de inserção da energia produzida na rede de distribuição.

A salientar que a motivação do uso da tecnologia WTE se dá pelo fato da disponibilidade de “energia” ser uma condição para o desenvolvimento em todos os países no mundo. Porém o grande desafio é o estabelecimento do equilíbrio entre as energias convencionais, no caso as fósseis, e as renováveis, a mesma importância deve ser dada à sustentabilidade do projeto atendendo seus três pilares, o econômico, o social e o ambiental. Também relevante, é o aumento da população concomitantemente com a melhoria do padrão de vida e conseqüentemente com o aumento do consumo e do aumento da geração de resíduos. Por exemplo, para o ano de 2020 a previsão de geração de resíduos no mundo é de 18 bilhões de toneladas. Nesse contexto o Brasil se insere, haja vista o aumento populacional bem como seu aumento de renda *per capita* e consumo.

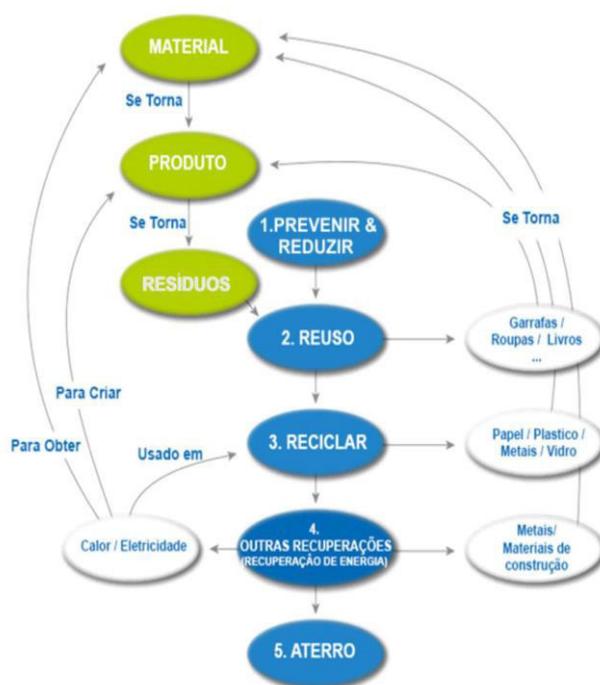


Figura 14. Waste-to-Energy (ESWET, 2008).

4.2.1. Descrição Global do Processo

De forma geral, os tratamentos dos RSU se dividem em três processos:

- i. Aterros sanitários;
- ii. Tratamentos Térmicos;

iii. Tratamento Biológicos.

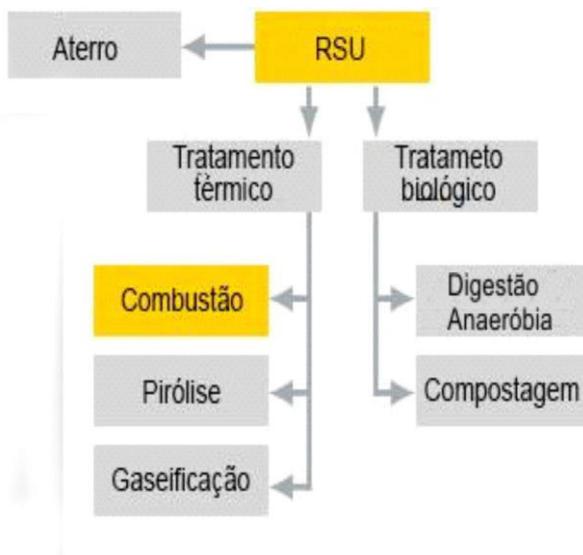


Figura 15. Processos de tratamento de RSU (A/S, 2012).

O tratamento térmico por combustão ou incineração do RSU com aproveitamento energético, conhecido por *Waste-to-Energy*, WTE, os resíduos são queimados como qualquer outro combustível, gerando energia sob a forma de eletricidade e/ou calor.

Além dos resíduos sólidos urbanos comuns a incineradora poderá tratar uma combinação de resíduos industriais, desde que não perigosos, Classe II pela norma ABNT 10.004.

O projeto pretende processar quase todos os tipos de resíduos sólidos urbanos combustíveis, incluindo os resíduos de serviços de saúde e resíduos não perigosos de origem industrial similares a RSU. A caracterização típica dos resíduos é heterogênea, e deste modo contar-se-á com a ocorrência de variações significativas nas descargas destes.

Uma descrição genérica do processo de incineração é apresentada na **Figura 17**. Como representado, os resíduos são depositados no *bunker* de recebimento, sendo em seguida inseridos na câmara de combustão onde se processa a queima através das grelhas móveis. Em alguns casos os resíduos podem ser submetidos a um pré-tratamento, no caso, em uma Unidade de Tratamento Mecanizado, UTM antes de ser enviado à planta de WTE, dependendo da composição gravimétrica e da tecnologia de incineração selecionada.

Os gases resultantes da queima dos resíduos passam pela caldeira gerando vapor e em seguida passam por uma turbina, ciclo *Rankine*, a qual movimentará um gerador elétrico produzindo energia.

Na sequência os gases passam pelo sistema de tratamento de gases, compostos por unidades de neutralização de compostos ácidos e de injeção de carvão ativo para adsorção de metais pesados bem como das dioxinas e furanos. Por fim são utilizados filtros manga para retenção de particulados (F. Zanelli, 2000).

Os sistemas de engenharia que compõem a planta de WTE podem ser agrupados em 4 categorias:

- a) Sistema de acondicionamento (Bunker);
- b) Sistema de Combustão;
- c) Sistema de geração de Energia;
- d) Sistema de tratamento de gases.



Figura 16. Representação gráfica o conceito de uma incineradora WTE.

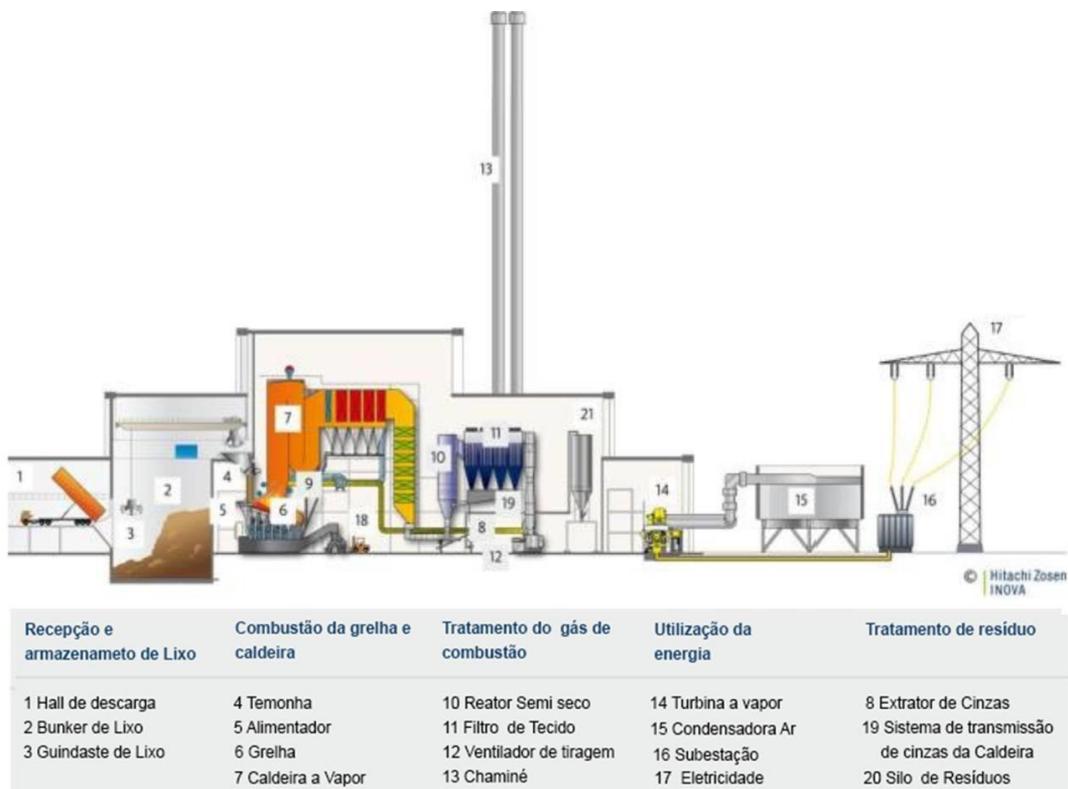


Figura 17. Representação conceitual uma seção longitudinal de uma planta de WTE. (ESWET, 2008).

4.2.2. Pegada Ecológica

A empresa alemã BASF (BASF *Eco-Efficiency Group*, 2004) realizou a pesquisa da pegada ecológica comparativa de três soluções de tratamento de RSU:

- I. Tratamento Mecânico Biológico (Aeróbio), MBT;
- II. Aterro Sanitário;
- III. *Waste-to-Energy* - WTE.

As principais conclusões estão resumidas na figura abaixo que mostra a pegada ecológica destas três soluções de gestão. Quanto maior for a pegada menos indicada é a solução.

A contribuição de CO₂ equivalente gerado nos aterros sanitários, conforme o estudo, é de 1,2 t de CO₂ por tonelada de RSU disposto. As emissões de gases efeito estufa pelos aterros são superiores ao das incineradoras de WTE (D. Batchelor, 2002) (Themelis, 2003-2004). Com relação aos custos em ordem crescente, aterros sanitários tem o menor custo dos três, o tratamento mecânico biológico, 8 % mais caro e as instalações de WTE, 54 % mais caras que os aterros sanitários. No entanto, em consideração aos critérios de desempenho ambiental (Consumo de energia, consumo de matéria prima, demanda por área para instalação, emissões atmosféricas, efluentes e riscos), as WTE apresentam-se como a melhor solução para o tratamento dos resíduos.

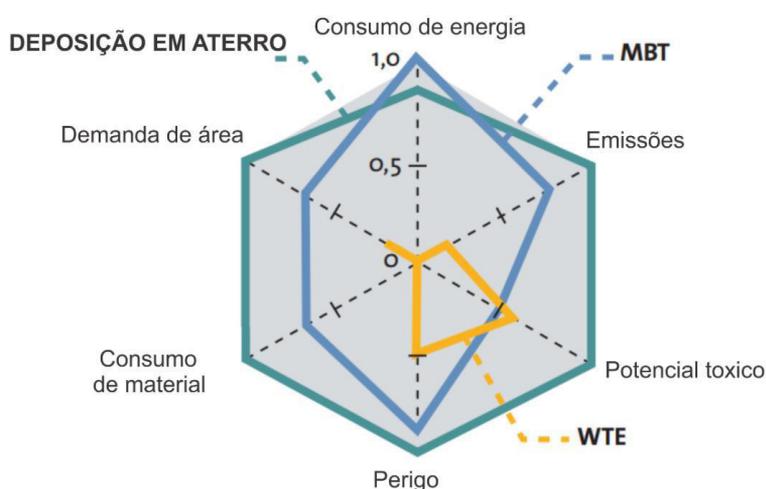


Figura 18. Representa graficamente um comparativo entre as soluções de tratamento de RSU (Tecnologia, 2015).

4.2.3. Localização

A localização também é um fator preponderante na avaliação do impacto ambiental. O complexo tem fixação estratégica, dentro da área de coleta do complexo da COMLURB/SERB que já recebe o RSU da cidade do Rio de Janeiro (Freguesia de Caju).

Esta estratégia permite grande economia de equipamentos, combustíveis e logística, pela não necessidade de deslocamento do volume total de RSU até o aterro sanitário que situa-se a 72,7 km de distância por acesso interno da cidade, como também promove benefícios em relação à poluição em geral, seja pela emissão de gases ou pelo fator de saúde pública com a não utilização dos meios de descartes habituais.

Esta redução de resíduo a ser transportado é em torno de 906 t/d, o que traduz em menos 34 viagens por dia de caminhões de carga (68 vezes, se contabilizarmos ida e volta), significando ainda a queima escusada de 860 m³ de gásóleo por ano, fonte de geração dos gases de efeito de estufa.

4.2.4. Funcionamento

O RSU municipal perfaz uma média total de 3 710 t/d, a recolha funciona 365 dias por ano. A unidade WTE Caju terá capacidade de processamento de 1300 t/d, a funcionar intermamente.

O sistema de geração de energia elétrica seguirá através do Ciclo *Rankine* em regime fechado. Trata-se de geração de vapor através de uma caldeira associada a uma turbina a vapor, que por sua vez é acoplada a um gerador de energia elétrica. Seu sistema de condensação será refrigerado a ar e não à água, enquanto o sistema de tratamento dos gases da combustão utiliza o sistema semi-seco (semi-dry) com reuso da água. Ambos processos são sustentáveis por não haver alto consumo de água, somente para reposição de perdas e limpeza.

De forma resumida, segue abaixo o funcionamento da WTE ([http://www.nea.gov.sg/energywaste/waste-management/waste-to-energy-\(wte\)-incineration-plants, 2015](http://www.nea.gov.sg/energywaste/waste-management/waste-to-energy-(wte)-incineration-plants, 2015)):

- I. O início do processo se dá pelo recebimento dos caminhões com RSU os quais são pesados na entrada para logo a seguir se dirigirem ao *bunker* de descarga (fosso). Ao sair o caminhão é pesado novamente para se quantificar o peso de lixo depositado. No final do dia tem-se o total de RSU recebido na planta.
- II. Para prevenção de maus odores na região da planta, na praça de recebimento do lixo a pressão atmosférica é negativa evitando o escapamento de ar para o ambiente externo. Para criar a pressão negativa o ar da praça de recebimento é aspirado e insuflado na fornalha para alimentar os queimadores principais e secundários.
- III. Os RSU's são colocados no alimentador do incinerador através de pontes rolantes. No caso de peças grandes, estas são colocadas em trituradores (*crushers*) para adequação ao processo. A temperatura de operação fica entre 850 e 1 000 °C, camadas de refratários protegem as paredes do incinerador contra temperaturas extremas bem como da corrosão.
- IV. Em geral a redução em volume dos resíduos é de 90 % e a de peso em torno de 75 %, tendo como rejeito as cinzas de fundo e as cinzas provenientes do sistema de tratamento dos gases de combustão (*fly ash*).
- V. Os gases resultantes da combustão passam por um sistema de limpeza composto por precipitadores eletrostáticos, sistemas doseadores de cal, carvão ativado e amônia (ou uréia) e por fim a passagem pelos filtros manga, de tecido, para remoção dos particulados contaminantes. Assim os gases podem ser lançados á atmosfera através da chaminé cumprindo as normas ambientais.
- VI. As sucatas metálicas contidas nas cinzas são separadas e destinadas para reciclagem siderúrgica e as cinzas restantes são enviadas para aterro sanitário licenciado classe II ou podem ser utilizadas como agregado em concreto ou outros materiais da construção civil, desde que previamente testados. Quanto às cinzas *fly ash* (classe I), são destinadas para aterro de classe I, perigosos, ou para unidade de coprocessamento de resíduos.
- VII. Conforme recomenda a BAT - *Best Available Techniques* (Directive 96/61/EC (IPPC Directive), 2006) são disponíveis os seguintes tratamentos para as cinzas provenientes do sistema de tratamento dos gases da combustão, *Fly Ash*.

- a) Imobilização em concreto e posterior deposição em aterros Classe II
- b) Vitrificação
- c) Extração ácida de metais pesados
- d) Deposição em aterro Classe I

A BAT cita também como opção mais barata e também utilizada, o encapsulamento em *bigbags* impermeáveis e deposição em aterros sanitários Classe II.

O projeto adotará os mais modernos conceitos de engenharia de forma a gerar a maior capacidade possível de energia elétrica bem como a menor quantidade de rejeitos. Também deverá estar de acordo com a norma Europeia “*EU Directive 96/61/EC on Integrated Pollution Prevention and Control*” (Directive 96/61/EC (IPPC Directive), 2006).

4.2.5. Dados técnicos relevantes ao projeto

A Central de Tratamento de Resíduos (CTR), irá processar quase todas as categorias de RSU combustíveis compreendendo, também, resíduos de serviços de saúde e resíduos não perigosos de origem industrial. Uma vez que a caracterização dos RSU é heterogênea, haverá variações significativas nas cargas destes. O sistema de “*mass burning*” ou “queima toral” tem sido eficaz nestas condições em instalações que operam em outros países. A faixa de poder calorífico é entre 6 a 12 MJ/kg.

A imagem a seguir, demonstra a tabela de gravimetria para a composição do RSU usados para simulação.

No **Quadro 21**, o Poder Calorífico Inferior (PCI) considerado em projeto é igual a 8 MJ/kg, valor este obtido no Diagrama de Queima de Resíduos (**Figura 20**). Este valor permite a viabilidade técnica para geração de calor a partir do RSU que a futura central irá receber.

Quadro 21. Parâmetros básicos de projeto (fonte: Cajú, 2015)

Parâmetros	Valor Considerado
Densidade	134,87 kg/m ³
PCI	8 MJ/kg (1910 kcal/kg)
Índice de Humidade	41,26 %
Índice de Inertes	1,11 %
Disponibilidade	>8000 h/ano
Capacidade Máxima de Queima	54,16 t/h (1300 t/d)

Componentes (%)	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Papel – Papelão	24,05	22,26	21,08	22,21	21,85	19,77	18,71	18,78	16,06	12,48	13,51	14,83	14,56	15,96	16,08	16,46	16,94	15,99	16,83	15,62	15,14
Plásticos	15,07	15,09	16,11	16,78	19,90	17,61	19,77	17,61	19,17	15,44	15,34	14,69	17,15	18,58	20,31	19,11	19,29	19,14	18,99	21,01	17,84
Vidro	2,62	3,63	3,22	3,68	3,48	3,22	3,52	2,74	2,99	3,23	3,24	2,71	2,96	2,79	2,84	2,96	3,19	3,28	3,39	3,46	3,69
Matéria orgânica Putrescível	45,43	48,80	49,09	48,50	50,05	51,27	51,65	55,96	53,04	59,73	60,74	61,35	58,23	56,21	53,63	55,02	52,68	53,28	52,81	52,00	53,60
Metal	3,49	3,09	2,82	2,75	2,16	2,66	1,96	1,97	1,92	1,70	1,65	1,61	1,59	1,51	1,74	1,40	1,68	1,57	1,63	1,65	1,68
Inerte	0,44	0,97	1,53	0,89	0,63	0,94	0,72	0,35	1,46	1,37	0,86	0,75	0,74	1,01	1,09	1,03	1,39	1,81	1,11	1,12	2,00
Folha	4,81	2,46	3,04	1,97	0,72	1,91	1,50	0,60	2,34	2,12	1,06	1,30	1,75	1,09	1,26	1,06	1,12	1,35	1,37	1,00	1,17
Madeira	0,96	0,53	0,76	0,68	0,18	0,44	0,44	0,38	0,66	0,66	0,34	0,33	0,36	0,32	0,34	0,36	0,37	0,34	0,50	0,42	0,54
Borracha	0,17	0,18	0,24	0,33	0,11	0,30	0,29	0,18	0,25	0,22	0,24	0,32	0,21	0,20	0,23	0,21	0,29	0,22	0,32	0,23	0,25
Pano - Trapo	2,43	2,50	1,71	1,92	0,79	1,61	1,28	1,21	1,83	1,51	1,58	1,61	1,67	1,60	1,75	1,57	2,09	1,75	1,94	2,00	2,35
Couro	0,26	0,16	0,27	0,21	0,10	0,18	0,10	0,15	0,27	0,27	0,22	0,07	0,23	0,23	0,18	0,14	0,21	0,21	0,27	0,43	0,32
Osso	0,27	0,33	0,13	0,08	0,03	0,09	0,06	0,07	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,09
Coco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,26	1,17	0,40	0,55	0,47	0,40	0,40	0,60	0,82	0,48	0,65	0,71
Vela / Parafina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,08
Eletro / Eletrônico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,20	0,23	0,20	0,32	0,35	0,53
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Peso Esp. (Kg/m³)	63,58	64,79	63,98	68,15	66,10	68,47	69,02	50,81	54,44	53,60	48,35	44,93	43,57	40,60	23,96	11,15	09,09	33,02	34,87	42,51	43,33
Teor umidade	64,54	70,20	67,02	63,67	63,10	62,91	60,89	63,74	72,49	76,55	50,45	56,86	65,30	50,12	40,26	-	-	36,57	41,25	24,67	31,45

Figura 19. Composição dos RSU nos últimos 21 anos do município do Rio de Janeiro - % em peso. (COMLURB – Diretoria Técnica e de Logística – Gerência de Pesquisa).

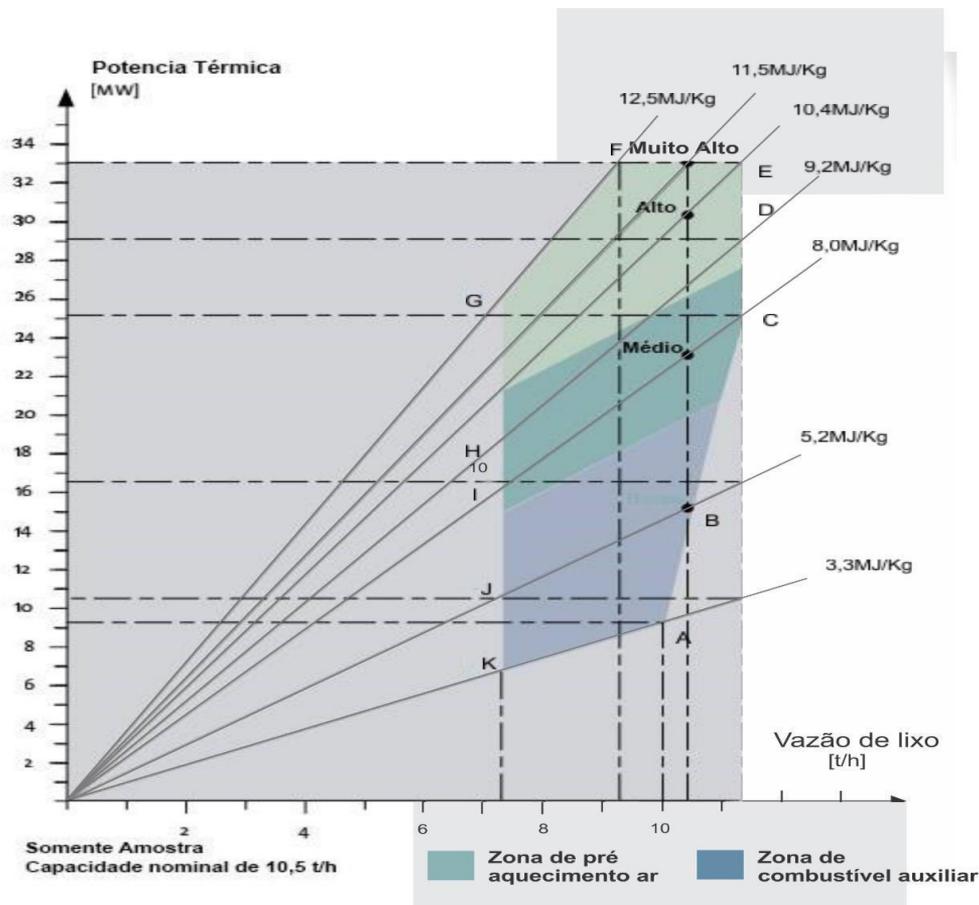


Figura 20. Parâmetros Básicos de Projeto (Babcock & Wilcox Volund A/S, 2012).

Em anexo, segue o resumo técnico do projeto.

4.2.6. Emissões e Saúde Pública

As emissões nas centrais de WTE sempre foram motivo de preocupação aos órgãos ambientais. Nos EUA, era habitual o uso de incineradores domésticos dos quais não possuíam nenhum controle das emissões. Numa cidade como Nova Iorque com 18 000 incineradores, a poluição era tamanha que o resultado desta prática deixou com baixa reputação esta opção de tratamento, criando impedimentos ao processo de implementação de centrais WTE. Em verdade, os incineradores eram as maiores fontes de emissões de dioxinas, furanos e mercúrio. Porém, com a instalação das 87 centrais de WTE, nos EUA, associado às novas exigências do ano de 1995 do “Clean Air Act” e do “MACT”, *Maximum Achievable Control Technology*, que apela ao uso das melhores tecnologias disponíveis para o tratamento e controle das emissões. Nestas tecnologias, incluía-se os sistemas de filtragem avançados, injeção de carvão ativo, redutor de NOx não catalítico e outros controladores. Hoje, nos EUA, as emissões de dioxina e mercúrio oriundos das centrais de WTE, representam menos de 1 % do total de emissões de dioxinas e furanos dos EUA (Psomopoulos, 2009).

O que sai da chaminé?

Uma vez que a incineração de RSU, bem como a de resíduos perigosos podem emitir substâncias perigosas ao meio ambiente, e conseqüentemente afetar a saúde humana, várias restrições operacionais são impostas. A União Europeia através da Directive 2000/76/EC que

trata da destruição térmica de resíduos estabeleceu uma série de parâmetros a ser controlados assim como o limite de carbono orgânico total (COT) de escória e de cinzas além de outras substâncias. As dioxinas e furanos devem ser destruídos até o limite de 0,1 ng/m³. Além disso, há limites para a formação de monóxido de carbono (CO), e as condições de combustão deverá minimizar a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x).

O sistema de tratamento dos gases terá de apresentar eficácia suficiente para reter outros poluentes como particulados, ácido clorídrico (HCl), fluoreto de hidrogênio (HF), dióxido de enxofre (SO₂), metais pesados como o mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e chumbo (Pb).

As centrais WTE permitem o tratamento de RSU de diversas origens com tolerância para diversos poluentes, tendo como resultado baixas emissões e ainda como subprodutos da queima alguns metais agregados e, como principal produto, a produção de energia limpa (Tecnologia, 2015).

4.2.7. Consumo de Água

Como o condensador é refrigerado a ar, o consumo de água restringir-se-á ao uso interno da central: sanitário e manutenção. O sistema de tratamento dos gases da combustão adotará o sistema a seco (*dry*) sem uso de água.

Também de salientar que, por legislação municipal, haverá o reaproveitamento de águas pluviais, diminuindo o consumo por fornecimento externo.

- i. Processo: 160 m³/d (pode ser utilizada água de reuso, conforme CONAMA 357 (CONAMA, 2005) e CONAMA 482 (CONAMA, 2011)).
- ii. Sanitário: 40 m³ /d.
- iii. Consumo total de água: 200 m³/d.

4.2.8. Impactes Ambientais

Para o funcionamento de uma Central de Incineração de RSU, é de extrema importância que os parâmetros ambientais estejam concordantes com a legislação, para evitar efeitos negativos ao meio ambiente e à população. Este objetivo é alcançado através de condições de monitoramento técnico rigoroso

Na atividade de incineração dos RSU várias substâncias precisam ser acompanhadas com atenção:

- a) NO_x – óxidos de azoto;
- b) SO₂ – Dióxido de enxofre;
- c) Metais pesados: Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb);
- d) Dioxinas e furanos.

No respeitante aos limites de emissões atmosféricas levar-se-á em consideração as seguintes diretrizes:

- i. *DIRECTIVE 2000/76/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL* of 4 December 2000 on the incineration of waste;
- ii. Resolução SMA-079, de 04 de novembro de 2009, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo;

iii. Resolução CONAMA No 316, de 29 de outubro de 2002.

Outros parâmetros como a água e resíduos sólidos deverão estar de acordo com:

- a) Resolução CONAMA 357, (CONAMA, 2005);
- b) Resolução CONAMA 482, (CONAMA, 2011);
- c) Resíduos Sólidos: Política Nacional de Resíduos Sólidos Lei nº 12 305.

Na Central WTE Caju, será proposto o aproveitamento da água das chuvas, com reservatório de acúmulo, filtros e tratamento para utilização em equipamentos sanitários e manutenção.

4.2.9. Cinzas

As cinzas terão 5 pontos de origem:

1. Cinzas de fundo das grelhas móveis.
2. Cinzas do superaquecedor.
3. Cinzas do trocador de calor.
4. Cinzas do economizador.
5. Cinzas do filtro de tecido (filtro manga).

As cinzas serão removidas em dois pontos:

- a) No poço 1, *Ash Pit*, serão coletadas as cinzas das grelhas móveis, do superaquecedor e do permutador de calor. Estas, por serem mais grossas, poderão ser reaproveitadas em processos industriais;
- b) No poço 2, *Fly ash*, serão coletadas as cinzas procedentes do tratamento dos gases de combustão do economizador e dos filtros de manga. Estas cinzas, por serem mais finas, normalmente são caracterizadas como perigosas - classe I, pela norma ABNT 10.004, em face da presença das dioxinas e metais voláteis como, antimônio, cádmio, enxofre, zinco, chumbo.

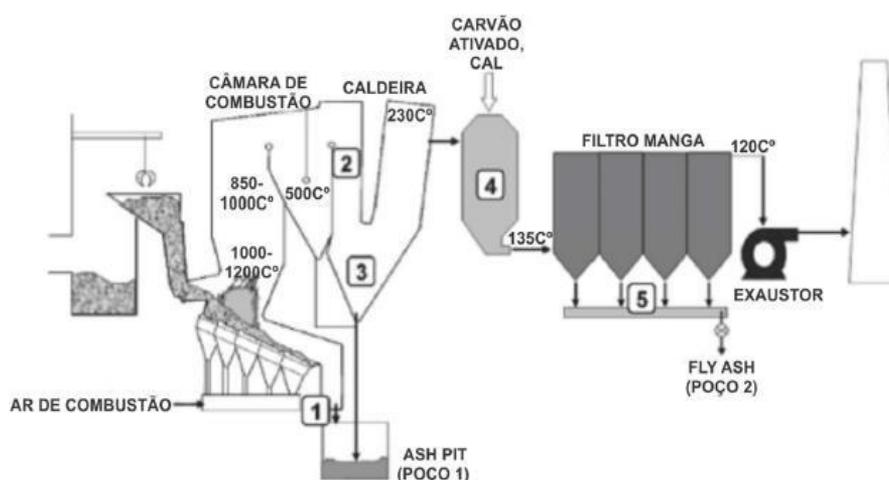


Figura 21. Fluxo das cinzas numa planta de URE (Cajú, 2015).

De acordo com o projeto de implementação da tecnologia adotada, em 1 tonelada de RSU depositada na central WTE, haverá um total de rejeitos de 0,322 toneladas sendo:

- i. Cinzas de fundo: 0,274 toneladas, o que representa cerca de 85 % do total de rejeitos.
 - a. Sucata metálica: 0,021 toneladas. Dentro das cinzas de fundo a sucata metálica representa 7,8 % (6,2 % do total dos rejeitos);
- ii. *Fly ash* do filtro manga (Cinzas finas): cerca de 0,05 toneladas. Correspondendo 15 % do total de rejeitos.

Considerando a incineradora dimensionada neste projeto, com capacidade para tratar 1 300 t/d, teremos os seguintes rejeitos e seus respectivos destinos:

- i. Cinzas de fundo (Classe II B - inerte):
Cinzas e sucata metálica: 356,2 t/d. Sendo:
 1. Cinzas: 328,9 t/d. Destino: Aterros sanitários (Classe II) ou agregados para concreto (Ramboll, 2006) (A. Phonghiphat, 2011) (Tecnologia, 2015).
 2. Sucata Metálica: 27,3 t/d.
Destino: Reciclagem siderúrgica (Tecnologia, 2015).
- ii. *Fly ash* do filtro de mangas (Cinzas finas) Classe I: 65 t/d (Tecnologia, 2015).

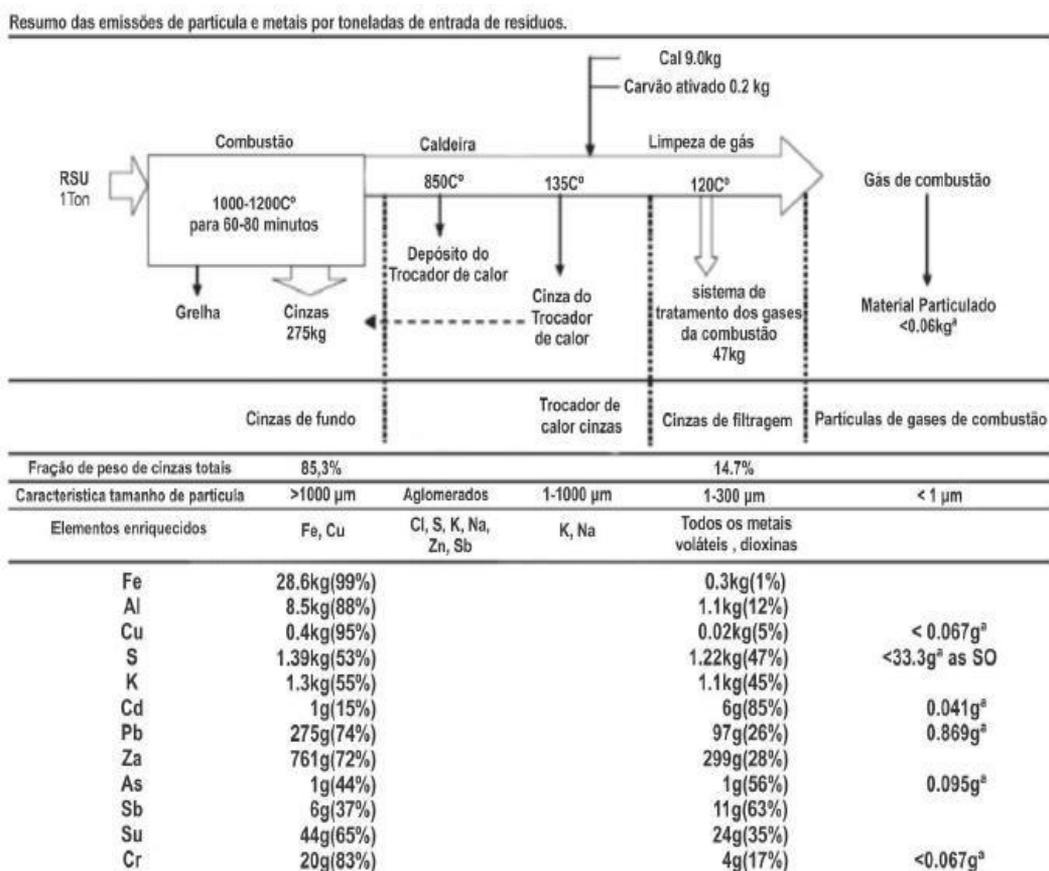


Figura 22. Emissões anuais da Central Termoeletrica. Resumo esquemático do processo dos gases de combustão (Tecnologia, 2015) (A. Phonghiphat, 2011).

4.2.10. Efluentes

No que respeita a águas residuais, todos os efluentes gerados no equipamento sanitário serão destinados a respetiva ETE local, e o chorume gerado será incinerado na própria instalação.

4. Volume previsto: 100 m³/d

Deste modo, o chorume produzido será completamente vaporizado na Central através de sua injeção na câmara de combustão, conforme demonstrado na Figura 23.

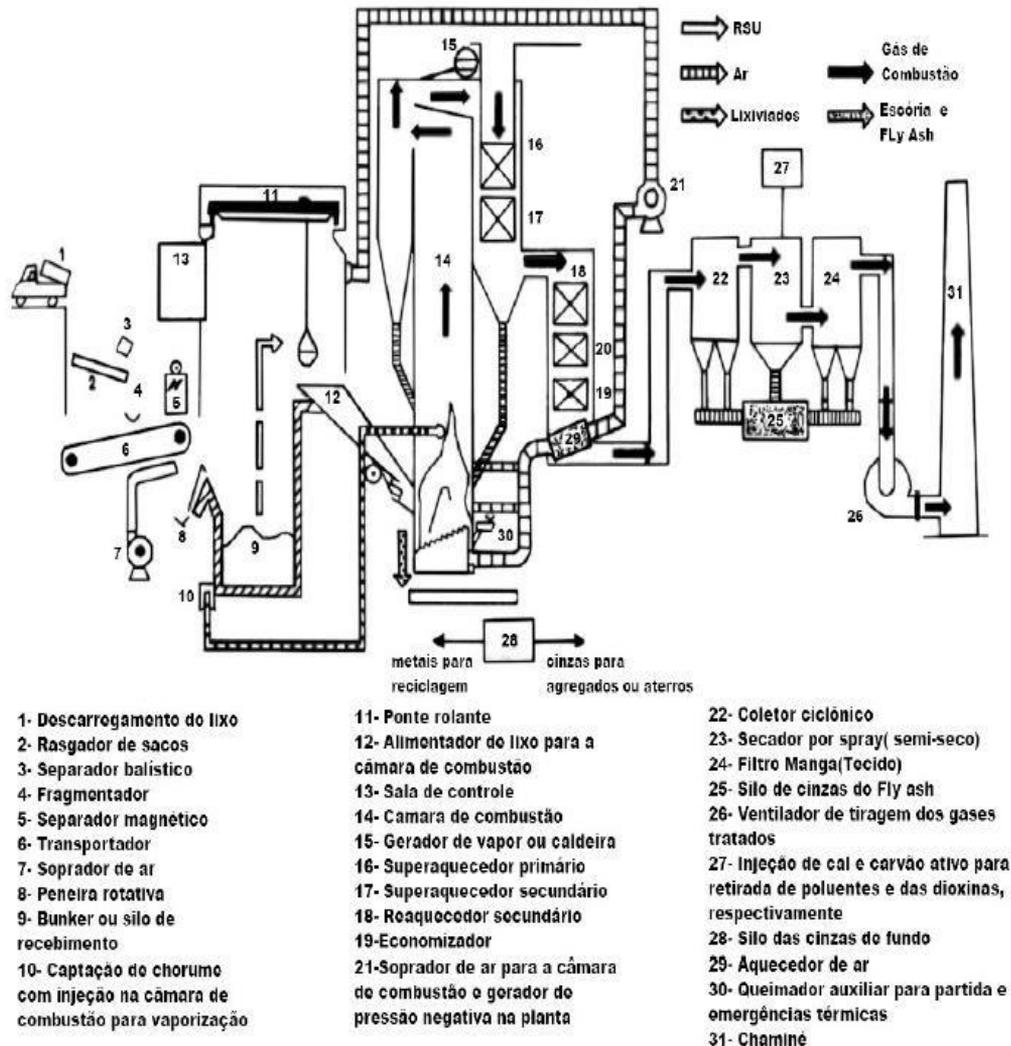


Figura 23. Esquema da Central WTE com destino do chorume (Cajú, 2015).

4.2.11. Efluentes Líquidos

Os efluentes líquidos previstos a se formarem, no anexo a área de construção, serão provenientes dos sanitários, refeitório e das atividades de manutenção e lavagem de máquinas e equipamentos. Com base na estimativa média 150 funcionários/dia e a geração de 70 L/d por pessoa, estima-se uma geração média total de efluentes domésticos de aproximadamente 10,5 m³/d, que serão encaminhados para fossas sépticas a serem instaladas nesta área. Para a remoção dos efluentes das fossas sépticas serão utilizados camiões limpa fossa que irão destiná-los à ETE local para o tratamento.

Os efluentes com origem na oficina de manutenção, lavagem de máquinas e equipamentos e limpeza de peças, serão coletados e tratados por separadores de água e óleo, localizados adequadamente a fim de evitar a contaminação do solo e corpos hídricos.

Os efluentes isentos de óleos serão conduzidos ao sistema local de fossa séptica e óleo coletado será armazenado em tambores, em local específico e adequado para o efeito no canteiro de obras e, posteriormente, destinados à empresas especializadas e licenciadas na recuperação destes produtos (Tecnologia, 2015).

4.2.12. Resíduos Sólidos

Na fase de implementação esperar-se-á resíduos domésticos provenientes do refeitório, sanitários e escritórios, resíduos de serviços de saúde, bem como resíduos relativos às atividades associadas as obras civis e instalação de equipamentos.

Os resíduos sólidos previstos na fase de construção do empreendimento são apresentados a seguir, conforme norma ABNT NBR 10.004/04 (Cajú, 2015):

- i. Resíduos Domésticos (Classe IIA): provenientes de estruturas de apoio como escritórios, refeitórios, almoxarifado etc. (restos de alimentos, papel de limpeza e similares) e dos sanitários (papéis higiênicos e similares) e de serviços de varrição, gerados de forma contínua ao longo da implantação nos refeitórios, sanitários, vivência e escritórios. Considerando um contingente mínimo de 20 pessoas e no pico um máximo de 270 pessoas, é estimada uma geração média de resíduo por pessoa de 0,45 kg/d, o que resultaria no mínimo 9 kg/d e no máximo 121,5 kg/d de resíduos domésticos.
- ii. Resíduos de serviços de saúde (ambulatório): coletados separadamente e embalados de acordo com as normas aplicáveis, em especial as resoluções CONAMA nº 358 de 29/04/05 e nº 06 de 19/09/91 e as normas NBR 12.809 e 12.810. Por se tratarem de resíduos perigosos serão transportados e incinerados por empresa licenciada para o efeito.
- iii. Resíduos Inertes de Obra (entulhos - Classe IIB): resíduos gerados pela atividade de limpeza do terreno e remoção das materiais existentes (solos, ferro, madeira, metais, entre outros, além de matéria orgânica). Esperam-se assim principalmente resíduos de concreto, tijolos e assemelhados, metais (ferro, aço, fiação), madeira, revestimentos, embalagens e solos.
- iv. Resíduos Inertes: Serão temporariamente estocados no anexo específico à área de construção dedicada para o efeito de reaproveitamento, seja para reciclagem por empresas locais ou encaminhados para um aterro de resíduos de inertes, devidamente licenciado.
- v. Resíduos Perigosos (Classe I): resíduos oleosos e produtos provenientes do abastecimento, manutenção e operação de veículos e equipamentos, bem como panos, papéis, etc, contaminados por esses produtos. Esperam-se resíduos perigosos associados às obras civis e manutenção de veículos e equipamentos, nomeadamente óleos e lubrificantes, materiais impregnados com óleo e graxa, embalagens de materiais perigosos e materiais impregnados com tintas e outros materiais.

- vi. Nos locais, como oficina, almoxarifado, transformadores a óleo etc., está previsto a impermeabilização do piso e a instalação de caixas separadoras de água e óleo para garantir a estanqueidade e a coleta e controle eficiente destes resíduos perigosos. Após a coleta, serão colocados em contentores identificados e serão armazenados temporariamente na área especialmente destinada a estes resíduos, também estanques e com barreiras de proteção, de acordo com as normas específicas sobre resíduos sólidos perigosos. O encaminhamento e o tratamento final serão realizados por empresas certificadas, sendo utilizados para reaproveitamento ou em caso de impossibilidade técnica encaminhados para aterros devidamente licenciados.
- vii. As embalagens dos equipamentos e dos materiais que serão utilizados nesta fase serão encaminhadas para reciclagem e/ou coleta seletiva.

A previsão dos tipos de resíduos sólidos e resíduos perigosos descritos acima e as estimativas preliminares de suas respectivas quantidades e dos locais de disposição final são apresentadas na **Figura 24**.

Tipo de Resíduo	Disposição Final	Unid.	Volume Estimado Total
Resíduos de sanitários	Aterro autorizado	m ³	4
Resíduos de varrição	Aterro autorizado	t	3,5
Resíduos de serviços de saúde	Incineração autorizada	t	1
Madeira usada	Os resíduos recicláveis serão vendidos e o restante disposto em aterro	m ³	70
Fragmentos de pré-moldado		-	N.A.
Restos de alvenaria		m ³	200
Sucata metálica	Licenciado, por empresa subcontratada	t	100
Solo / Corte	Após mineração parte será reutilizada no aterro do terreno e parte enviada para aterro sanitário	m ³	N.A.
Graxas / óleos / Fluidos usados /	Re-refinos ou co-processamento	m ³	0,7
Estopa contaminada com óleos / solventes / graxas	Aterro autorizado ou incineração	t	0,35
Resíduo de vernizes, solventes e tintas	Co-processamento	m ³	0,1
Restos de alimento	Aterro autorizado	t	38,5
Papel / Papelão	Reciclagem	t	1
Plásticos	Reciclagem/ aterro autorizado	t	0,5
Vidro	Reciclagem / aterro autorizado	t	0,2

Figura 24. Estimativa preliminar dos resíduos sólidos e perigosos a serem gerados na fase de implementação na CTR Caju (Cajú, 2015).

4.2.13. Consumo de Água

No período que corresponde à construção da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Caju, a água a ser consumida, em média, por 180 funcionários por dia, aproximadamente, será cerca de 83 L/d por pessoa, prevendo-se um consumo médio de água de 14,95 m³/d.

Além da água para consumo e uso dos funcionários haverá, no anexo a área de obras, o consumo no refeitório, lavagem de máquinas e equipamentos e para as demais necessidades da obra, como afusão para abatimento de poeiras. Este consumo médio geral de água no espaço anexo a obra, terá a quantidade de 40 m³/d de utilização para todos os fins (Tecnologia, 2015).

4.2.14. Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica que ocorrerá durante a instalação, está estimado em 750 kVA e o fornecimento será de um ramal provisório da rede pública de distribuição em 13,8 kV. A distribuição interna na área anexa a obra será efetuada pela empreiteira contratada (Tecnologia, 2015).

4.2.15. Desmantelamento da área anexa à obra

Na fase terminal de implementação, será efetuado o desmantelamento completo da área anexa a obra com a remoção das estruturas provisórias e dos equipamentos utilizados durante esta fase.

Esta ação será feita com o devido manuseamento dos materiais e rejeitos da construção, e haverá o cuidado de exame e recuperação das áreas que tenham sido alteradas ou expostas a algum impacto negativo em decorrência das ações de implantação das fases anteriores.

4.2.16. Estudo Preliminar de Viabilidade Económica e Financeira

No entanto, há uma vertente de análise que depende absolutamente das características de cada caso em concreto: a viabilidade económica e financeira da solução a adotar. Por esse motivo, e dada a relevância do mesmo no contexto da análise comparativa de alternativas, efetua-se de seguida um exercício de análise custo/benefício – necessariamente exploratório pelas limitações de dados e pelo contexto próprio de um processo ainda em fase de projeto conceitual –, com o objetivo de comparar sob este ponto de vista algumas das opções tecnológicas no caso em apreço. Reforça-se que este exercício não substitui uma avaliação rigorosa da viabilidade económica e financeira do empreendimento.

Importa assim começar por estimar os valores nominais de CAPEX e OPEX calculados a partir da soma dos fluxos financeiros anuais ao longo da implantação e operação das tecnologias para as quais foi possível obter este tipo de dados.

O CAPEX e o OPEX foram estimados com base em dados disponíveis em avaliações financeiras existentes no mercado, adotando-se, na maior parte dos casos, a média das informações disponíveis.

Por outro lado, é necessário estabilizar os dados de dimensionamento do caso em estudo (Quadro 23). Reforça-se que este exercício foi efetuado num quadro de significativas lacunas de informação sobre o projeto de engenharia, pelo que os dados ainda não disponíveis foram estimados a partir de fontes alternativas. Sempre que possível pesquisaram-se e usaram-se dados para o município do Rio de Janeiro.

Quadro 22. Projeção do CAPEX e OPEX por tecnologia (Simbiente, 2016)

Tecnologia	CAPEX (R\$ M) (Investimento Nominal)	OPEX (R\$/t) (Investimento médio, sem logística)
Aterro Sanitário (com aproveitamento de biogás)	33	2
Combustíveis Derivados de Resíduos	209	72,4
Incineração	1158	28,5
Gaseificação	1340	42,3
Digestão Anaeróbia	301	127,4

Quadro 23. Dados de dimensionamento preliminares do projeto

Dado de Base	Valor
RSU recebidos na ETR Caju	3 710 t/d
RSU a incinerar	1 300 t/d
	474 500 t/ano
Teor putrescíveis	53,63 %
Teor recicláveis	41,31 %
Potência bruta estimada	31 MW
Energia bruta gerada	0,57 MWh/t
	745 MWh/d
	272 GWh/ano
Energia consumida numa URE	10 %
Potência líquida estimada (para a rede)	28 MW
Energia líquida gerada (para a rede)	670 MWh/d
	245 GWh/ano
Habitantes servidos pela energia da URE	8 726 hab
Emissões GEE , considerando uma emissão específica de 2,3636 t-CO ₂ por GWh produzido.	643 t-CO ₂ /ano

Assim, os quadros **Quadro 24**, **Quadro 25**, **Quadro 26** e **Quadro 27** apresentam os resultados deste exercício para as tecnologias para as quais foi possível obter ou estimar os dados necessários.

Quadro 24. Receitas e despesas preliminares para a opção de manutenção da disposição em aterro (com recuperação de biogás)

CAPEX – Custos de Investimento			OPEX – Custos de Operação			
Geradores	29 700 000	90 %	Manutenção e Operação	1,2	603 626	60 %
Compressores	2 970 000	9 %	Filtro coalescente	0,3	150 906	15 %
Queimadores	330 000	1 %	Filtro H ₂ S	0,2	100 604	10 %
			Filtro CO ₂	0,3	150 906	15 %
TOTAL	33 000 000	100 %	TOTAL	2,0	1 006 043	100 %
1,3 Anos			Energia elétrica	35,14	25 522 287	
<p><i>Considerando tarifa de venda de energia elétrica à rede equivalente a 50% da tarifa de venda ao público pela Light S.A. (0,46858 R\$/kWh), válida entre Abril 2015 e Abril 2016. Fonte: ANEEL, Abril 2014.</i></p> <p><i>Não se contabilizam os custos com aterro e triagem prévia (já existente).</i></p> <p><i>O curto período de payback ocorre devido ao baixo investimento inicial considerado, e ausência de contabilização de outros custos ambientais e externalidades relacionadas com atividade de disposição em aterro e respectivos impactos ambientais.</i></p>						

Quadro 25. Receitas e despesas preliminares para uma URE (incineração) no Caju

CAPEX – Custos de Investimento			OPEX – Custos de Operação			
Incinerador	440 040 000	38 %	Manutenção	10,0	4 733 138	35 %
Infraestrutura	231 600 000	20 %	Mão de obra	6,3	2 975 115	22 %
Limpeza de gases	185 280 000	16 %	Insumos	5,7	2 704 650	20 %
Sistema de controle	162 120 000	14 %	Aterro	3,4	1 622 790	12 %
Obras civis	57 900 000	5 %	Seguro	2,0	946 628	7 %
Outros	81 060 000	7 %	Administração	1,1	540 930	4 %
TOTAL	1 158 000 000	100 %	TOTAL	28,5	13 523 250	100 %
PAYBACK			Receita	R\$/t	R\$/ano	
22,4 Anos			Energia elétrica	134,25	63 700 757	
<p><i>Considerando tarifa de venda de energia elétrica à rede equivalente a 50% da tarifa de venda ao público pela Light S.A. (0,46858 R\$/kWh), válida entre Abril 2015 e Abril 2016. Fonte: ANEEL, Abril 2014.</i></p> <p><i>Excluíram-se da estimativa de payback os custos estimados com aterro, assumindo-se a permissão de que serão utilizadas infraestruturas já existentes.</i></p>						

Quadro 26. Receitas e despesas preliminares para a opção de TMB com produção de CDR no Caju

CAPEX – Custos de Investimento			OPEX – Custos de Operação			
Despesa	R\$	%	Despesa	R\$/t	R\$/ano	%
Triagem mecânica	62 700 000	30 %	Aterro	32,6	4 732 119	45 %
Triagem biológica	62 700 000	30 %	Produção	29,0	4 206 328	40 %
Equipamentos diversos	52 250 000	25 %	CDR	7,2	1 051 582	10 %
Infraestrutura	20 900 000	10 %	Administração	3,6	525 791	5 %
Outros	10 450 000	5 %				
TOTAL	209 000 000	100 %	TOTAL	72,4	10 515 820	100 %
PAYBACK			Receita	R\$/t	R\$/ano	
			CDR	96,29	13 985 412	
25,5 Anos			<i>Considerando que CDR produzido corresponde a 20% da fração orgânica dos RSU.</i> <i>Excluíram-se da estimativa de payback os custos estimados com aterro, assumindo-se a permissão de que serão utilizadas infraestruturas já existentes.</i>			

Quadro 27. Receitas e despesas preliminares para a opção de digestão anaeróbia no Caju

CAPEX – Custos de Investimento			OPEX – Custos de Operação			
Despesa	R\$	%	Despesa	R\$/t	R\$/ano	%
Centro triagem	216 720 000	72 %	Triagem	63,7	46 260 892	50 %
Digestor anaeróbio	84 280 000	28 %	Operação e administração	44,6	32 382 624	35 %
			Aterro	19,1	13 878 268	15 %
TOTAL	301 000 000	100 %	TOTAL	127,4	92 521 784	100 %
PAYBACK			Receita	R\$/t	R\$/ano	
			Energia elétrica	46,86	34 029 716	
Inviável (Custos anuais superiores às receitas)			<i>Considerando tarifa de venda de energia elétrica à rede equivalente a 50% da tarifa de venda ao público pela Light S.A. (0,46858 R\$/kWh), válida entre Abril 2015 e Abril 2016. Fonte: ANEEL, Abril 2014.</i> <i>Excluíram-se da estimativa de payback os custos estimados com aterro, assumindo-se a permissão de que serão utilizadas infraestruturas já existentes.</i>			

4.2.17. Alternativas Locacionais

Em 2011 foi realizado um estudo preliminar de viabilidade ambiental para a instalação de uma unidade de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos gerados na região metropolitana do Rio de Janeiro (Ambiental, 2011), tendo-se analisado comparativamente quatro alternativas locais para um empreendimento desse tipo:

- Caju;
- Jacarepaguá (Vargem Pequena);
- Marechal Hermes;
- Santa Cruz.

As quatro áreas analisadas no referido estudo são apresentadas nos mapas seguintes.

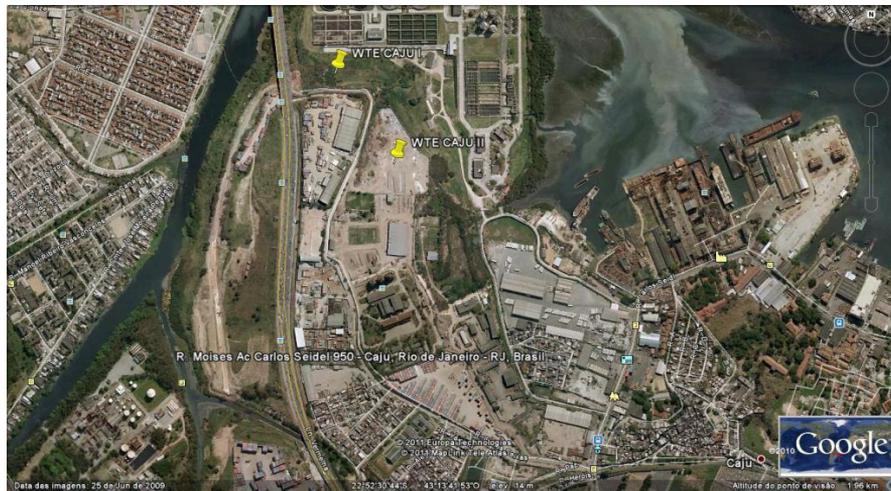


Figura 25. Caju.

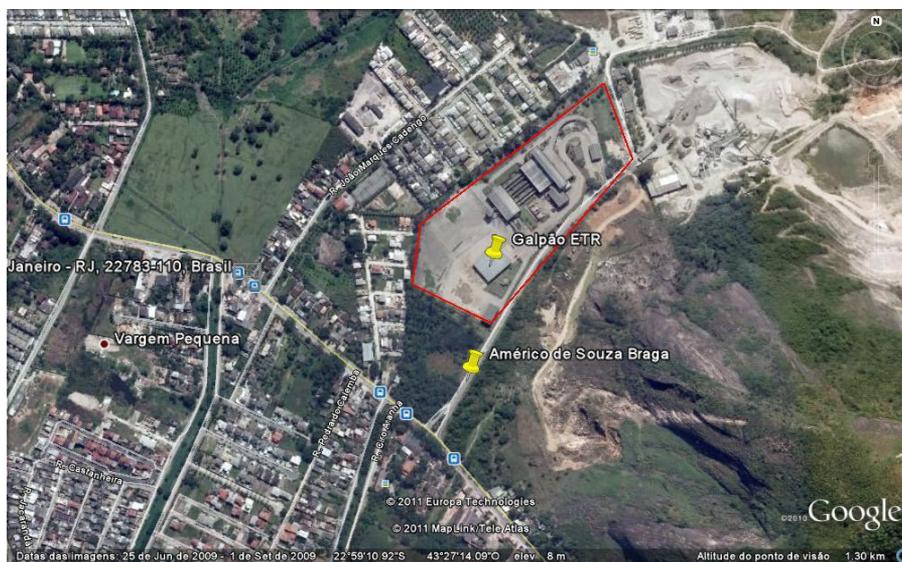


Figura 26. Jacarepaguá (Vargem Pequena).

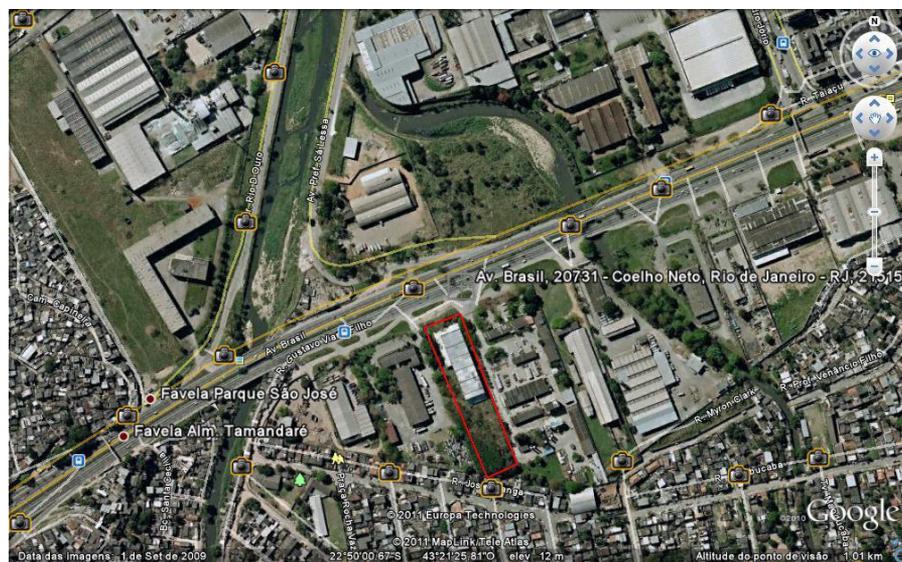


Figura 27. Santa Cruz.

O **Quadro 28** sintetiza as conclusões do referido estudo relativamente às alternativas locacionais consideradas.

Quadro 28. Quadro comparativo entre as alternativas locacionais estudadas

Alternativa locacional					
Parâmetro de análise		Caju	Marechal Hermes	Jacarepaguá	Santa Cruz
Contextualização socio-econômica	<i>Potencial conflito com a comunidade</i>	Densidade urbana baixa e comunidade distante .	Densidade urbana maior e comunidade muito próxima.	Densidade urbana mediana, comunidade próxima e proximidade de equipamentos esportivos	Densidade urbana baixa e comunidade distante
	<i>Localização</i>	III	III	II	I
Bacia Aérea	<i>Situação</i>	Saturada	Saturada	Não saturada	Saturada
	<i>Possível restrição</i>	Cone de aproximação do aeroporto Tom Jobim (a confirma)	Imóvel de dimensões reduzidas	O imóvel está na área de entorno do Parque Estadual da Pedra Branca	Cone de aproximação da Base Aérea de Santa Cruz
Corpo receptor do efluente	<i>Corpo receptor</i>	Baía de Guanabara	Bacia do Rio Acari.	Lagoa de Jacarepaguá	Rio Piraquê/Baía de Sepetiba.
Logística	Acesso a resíduos (recebidos na ETR)	90 000 t/mês	20 000 t/mês	45 000 t/mês	30 000 t/mês
	Área disponível	25 000 m ² disponíveis	Insuficiente na área atual ou vizinhança da ETR	20 000 m ² disponíveis	20 000 m ² disponíveis
	Acesso/trânsito	Próximo à Av Brasil e ao Porto do Rio	Próximo à Av. Brasil, com fácil acesso	Próximo à Estrada dos Bandeirantes	Próximo à Estrada da Pedra

Para além desta análise comparativa, há um conjunto de argumentos complementares que demonstra que, de entre as alternativas locacionais analisadas, a do Caju é a mais favorável para a instalação do empreendimento em causa.

De facto, a área do Caju conta com a proximidade da Estação de Transbordo de Resíduos (ETR) do Caju - a que recebe maior quantidade de resíduos de entre as localizações analisadas), da unidade da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), a qual abriga uma Cooperativa de Recicladores (Transformando - Cooperativa de Recicladores Ambientais), e ainda a proximidade com a Estação de Tratamento de Efluente (ETE) da Alegria. Assim, esta

localização, na qual já são recebidos os resíduos sólidos urbanos (RSU) da região da Cidade do Rio de Janeiro, possui uma logística de coleta implantada e funcional.

Note-se ainda que neste centro de recebimento funcionam um transbordo e uma usina de reciclagem e compostagem, mas a grande maioria do RSU é transportado diretamente ao Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) Rio em Seropédica, sem nenhuma mais valia associada. Como a nova instalação processará parte destes RSU, esta localização permitiria a otimização e significativa economia de equipamentos, combustíveis, pessoal e logística associados à não necessidade de transporte adicional dos RSU até ao aterro sanitário ou até uma localização alternativa do empreendimento.

Neste contexto, conclui-se que no Caju o empreendimento seria instalado numa área já integrada na infraestrutura do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos do município do Rio de Janeiro, atendendo a aspectos logísticos e econômicos e à compatibilidade com as diretrizes municipais de uso e ocupação do solo e demais condicionantes de ordenamento territorial aí incluídas, com reduzido potencial conflito com populações e comunidades, com área disponível (propriedade da COMLURB, e portanto facilitada do ponto de vista da cedência e utilização) e sendo a que permite uma implantação da solução sem alteração do sistema de coleta já implantado e em funcionamento (inclusive utilizando a estrutura de controle da estação de transferência - balanças, equipe de controle e segurança), sem alteração nas estruturas físicas pré-existentes, com diminuição do tráfego de carretas de transferência (gerando economia de materiais, manutenção e mão de obra, com diminuição do consumo de combustível e com diminuição do tráfego urbano e da poluição em geral).

Por estes motivos, a localização mais adequada e viável do ponto de vista social, econômico e ambiental para a construção e operação do empreendimento é a área do Caju.

4.2.18. Justificação da Alternativa Adotada

Após o referido nos capítulos anteriores, existem algumas considerações e evidências que importam ser destacadas:

- Entre as rotas tecnológicas analisadas, a URE mostra-se a solução mais favorável do ponto de vista ambiental e econômico-financeiro;
- Apesar da capacidade e taxa de transformação de resíduos ser similar nas rotas tecnológicas URE e TMB, a segunda gera menos benefício pela mesma quantidade de resíduos;
- Ao nível dos aspetos ambientais significativos, as tecnologias associadas a rotas URE mais comuns, como a incineração, apenas necessitam de controlar as emissões gasosas resultantes da queima, ao passo que a rota TMB tem necessidade de controlar outros aspetos ambientais, tais como odores e uma maior quantidade de efluentes ou lixiviados, bem como lidar com um volume superior de resíduos após tratamento comparativamente à rota URE. Por outro lado, a alternativa pela manutenção do aterro sanitário tem maiores impactes do ponto de vista de degradação paisagística, de tráfego gerado, do esgotamento da solução e de não cumprimento das prioridades legais em matéria de gestão de resíduos.
- Face ao exposto, a rota tecnológica mais adequada para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos da área metropolitana do Rio de Janeiro é a instalação de uma URE e, especificamente de entre as tecnologias disponíveis em termos de tratamento térmico, o

processo de “*mass burning*”, pela solidez, segurança e eficiência que apresenta em comparação com as restantes alternativas.

- A localização na área do Caju é mais adequada e viável do ponto de vista social, econômico e ambiental para a construção e operação do empreendimento, sendo uma área já integrada na infraestrutura do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos do município do Rio de Janeiro, com reduzido potencial conflito com populações e comunidades, com área disponível, sem alteração do sistema de coleta já implantado e em funcionamento, sem alteração nas estruturas físicas pré-existentes e com diminuição do tráfego de carretas de transferência entre a ETR Caju e o aterro sanitário de Seropédica.

Complementarmente, importa notar que as linhas de orientação estratégica e a legislação brasileira em matéria de gestão de resíduos definem que só deve ser destinado para aterro sanitário o que for rejeito sem possibilidade de tratamento por alguma outra via.

No entanto, e a este propósito, pode mencionar-se um estudo de 2013 (Santos, 2014) que concluiu que as metas definidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos parecem não representar essa realidade. Efetivamente, projetando o cenário futuro do impacto das metas de redução dos resíduos secos e húmidos destinados a aterros até 2031 no panorama de destinação final dos resíduos, o resultado mostra que em 2031 ainda serão destinados a aterros sanitários 57 % do total gerado de resíduos (**Figura 28**), cifra que no entanto poderia ser significativamente reduzida pela implantação de tecnologias de recuperação de energia (“*Waste-to-Energy*”), uma vez que parte significativa do total de resíduos ainda dispostos em aterros possui um potencial para geração de energia a partir desse tipo de tecnologias.

Assim, a implementação de uma URE no Caju para incineração de parte dos resíduos recebidos na ETR Caju contribuirá para o cumprimento destes objetivos.

Um outro aspeto a reter é que a recuperação energética é já uma realidade comprovada em muitos países. Por exemplo, na Europa são mais de 450 unidades ativas processando 70 milhões de toneladas de resíduos urbanos com potencial de geração de 35 milhões MWh de energia por ano. O panorama europeu, além de comprovar a viabilidade da tecnologia, desmistifica também algumas ideias pré-concebidas sobre esta opção de tratamento de resíduos. Por exemplo, na **Figura 29**, pode observar-se a sua complementaridade com o mercado da reciclagem – efetivamente os países que mais reciclam são também os que mais aproveitam a energia dos resíduos através de usinas de recuperação energética.

Um outro aspeto importante a realçar é que este tipo de tratamento de resíduos sólidos é totalmente compatível com outros projetos de valorização de resíduos que se venham a ponderar no futuro, não comprometendo outras opções e outras oportunidades. De fato, um estudo da Universidade Federal de Pernambuco (financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) em 2014 recomenda que a incineração faça parte da rota tecnológica para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos em municípios acima de 1 000 000 de habitantes (como é o caso do Rio de Janeiro), fazendo parte de uma abordagem global, moderna e eficiente (**Figura 30**).

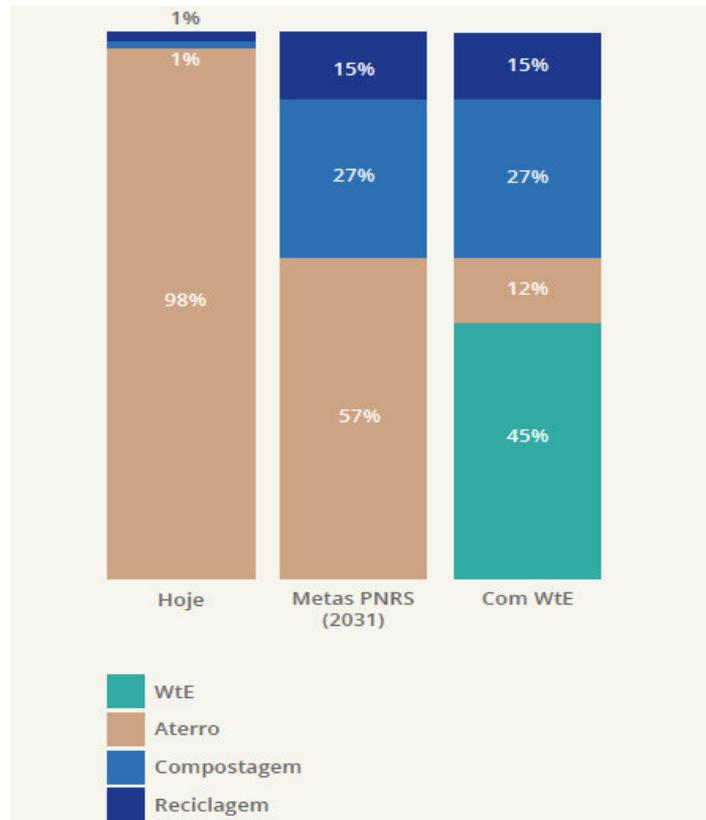


Figura 28. Projeção de panorama de destinação de resíduos sólidos (Santos, 2014).

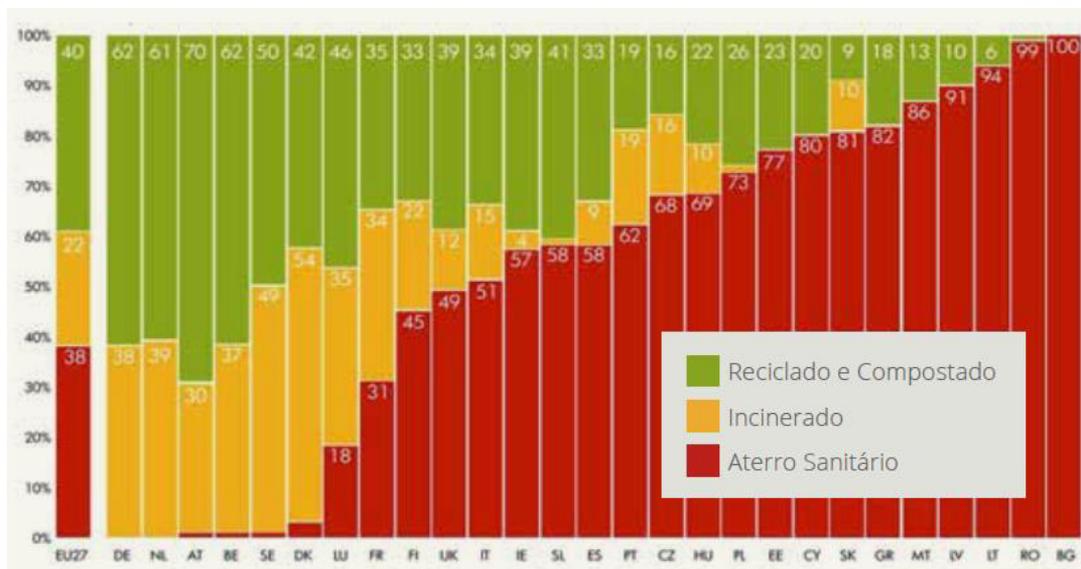


Figura 29. Tratamento de resíduos sólidos urbanos na Europa (Santos, 2014).

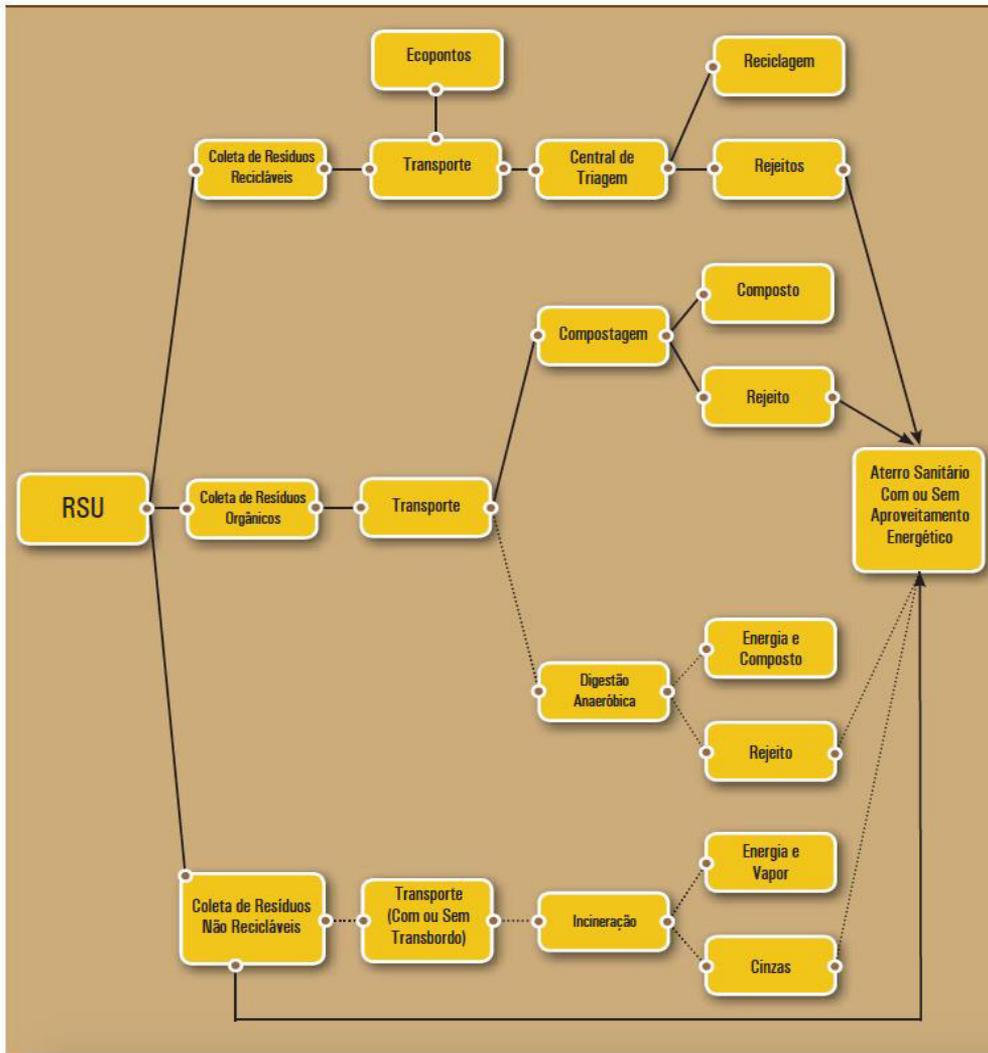


Figura 30. Rota Tecnológica para municípios com população superior a 1 000 000 de habitantes (Fonte: Pernambuco, 2014).

A visão do referido estudo para municípios acima desta dimensão é composta por coleta diferenciada de recicláveis (secos) e orgânicos (húmidos), coleta de resíduos não recicláveis, triagem, transbordo, tratamento mecânico e aterro sanitário com aproveitamento energético. Os catadores de materiais recicláveis, em número normalmente expressivo neste tipo de municípios, deverão ser acompanhados de forma sistemática pelos municípios e entidades de apoio à gestão. Estes municípios concentram as principais condições para que sejam incorporadas as tecnologias de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos usuais no mundo. Assim, além da incineração, cujo potencial de recuperação energética (geração de energia elétrica, calor e vapor) encontra demanda em condições bastante favoráveis, também é possível complementar o sistema com projetos de valorização orgânica (compostagem e/ou digestão anaeróbica).

Conclui-se assim que a aposta numa URE por incineração no Caju cumprirá cabalmente a recomendação do referido estudo de que as tecnologias de tratamento devem ser complementares, não sendo recomendada a proposição ou implantação de tecnologias que não se complementem, apesar de poderem ser recomendáveis individualmente.

A análise integrada destes argumentos justifica plenamente a alternativa tecnológica de tratamento térmico de resíduos sólidos. E dentro desta rota tecnológica, a escolha da tecnologia

de *Mass Burning* resulta da seguinte comparação dos aspetos técnicos e ambientais entre os sistemas existentes em usinas de recuperação de energia:

- i. O processo de tratamento térmico por leito fluidizado necessita basicamente de resíduos de tamanho uniforme para tornar a queima eficiente;
- ii. Os processos de pirólise ou gaseificação são desfavoráveis à queima de RSU pela falta de homogeneidade no mesmo, dificultando o controlo do processo de queima e consequentemente afetando o desempenho do motor a combustão interna ou na própria turbina;
- iii. · O processo de plasma apresenta um elevado consumo energético, o que não torna essa tecnologia competitiva em relação às demais tecnologias de tratamento térmico, além de ser utilizada principalmente para queima de resíduos perigosos e não de RSU;
- iv. · O processo de Mass Burning é indicado para tratamento de grande volume de RSU e reduz significativamente o volume gerado de cinzas após a queima;
- v. · O processo de Mass Burning possibilita um adequado controle das emissões atmosféricas, possibilitando o atendimento aos requisitos legais ambientais;
- vi. O processo de Mass Burning é claramente o mais utilizado em todo o mundo para tratamento térmico de resíduos (**Figura 31**), atestando a sua fiabilidade e adequação.

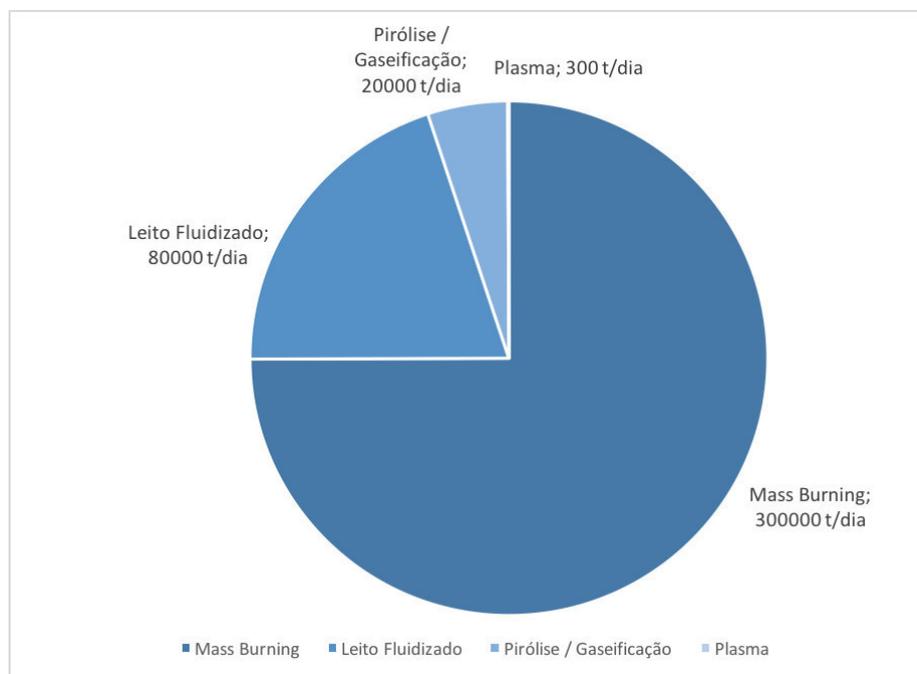


Figura 31. Resíduo tratado termicamente no Mundo por tecnologia (Santos, 2014).

Por fim, importa destacar o alinhamento desta opção com as diretrizes estratégicas nacionais definidas pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010) que estabelece que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade de acordo com as boas práticas internacionalmente aceites: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

No quadro da referida política, destaca-se a meta quantificável de redução de resíduos sólidos urbanos depositados em aterros. Nessa lógica, a implantação de uma URE contribuirá para os objetivos da política nacional e responderá à obrigatoriedade de tratamento dos resíduos antes

da disposição final. Essa obrigatoriedade está estabelecida desde Agosto de 2014, data a partir da qual os resíduos sólidos urbanos têm que ser tratados até à condição de rejeito antes do envio para aterro. Refira-se ainda que o artigo 9.º da referida política nacional afirma que “*poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental*”.

Este alinhamento é extensível aos objetivos da Política Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro (Lei Estadual nº 4.191/2003, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 41.084/2007) – que dá ênfase ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos nos municípios do Estado, e do Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS (publicado em 2014).

4.2.19. Análise do Cenário de Não Realização do Projeto

O cenário de não realização do projeto implica a necessidade de continuidade da solução atual, designadamente, o transporte diário de cerca de 906 toneladas por dia de resíduos urbanos para o aterro sanitário de Seropédica (CTR Rio). Este está localizado a 72,7 km da unidade de transbordo (Figura 32), e o transporte dos resíduos seria realizado através de uma via já bastante congestionada de veículos automóveis (Avenida Brasil). Seriam realizadas cerca de 34 viagens por dia entre Caju e Seropédica (68 viagens considerando o trajeto de ida e volta).



Figura 32. Trajeto entre unidade do Caju e CTR Seropédica (Proposal, 2015).

Do ponto de vista ambiental, esta solução acarreta um conjunto de impactos bastante negativos para a saúde humana e as condições biofísicas da região, sendo de destacar os impactos ocorridos durante o transporte e o acondicionamento ocorrido em Caju (temporário) e Seropédica (permanente).

Durante o transporte os principais impactos surgem ao nível do ruído e ao consumo de combustível (estima-se cerca de 860 m³ de óleo diesel por ano) e respetivas emissões de gases de efeito de estufa inerentes ao transporte dos resíduos, bem como outras emissões poluentes com impactos negativos na saúde humana, tais como partículas inaláveis ou compostos orgânicos voláteis (COV).

Já durante a fase de acondicionamento ou disposição final dos resíduos são de esperar outros impactos ambientais, que se relacionam com a produção de lixiviados devido à degradação dos resíduos orgânicos e contacto com águas pluviais, bem como o potencial surgimento de odores e produção de biogás rico em metano, sendo este um dos gases com maior potencial de aquecimento global. Adicionalmente, a utilização de solo para acondicionamento de resíduos acarreta também impactes negativos do ponto de vista do enquadramento paisagístico, degradação dos recursos hídricos, biodiversidade e outros recursos naturais (p.e. floresta), impedindo a utilização do solo para outros fins enquanto a atividade de disposição intensiva de resíduos ocorre. A não implementação de uma alternativa complementar e viável à solução atual implicará o prolongamento e agravamento destes impactos, bem como o esgotamento da vida útil do atual aterro sanitário num prazo mais curto. Por sua vez, a implantação alternativa ou complementar de uma URE prolongará esse tempo de vida útil, reduzindo o volume dos resíduos urbanos para 12 % do seu volume inicial, e eliminando de forma significativa o seu potencial contaminante dado que o material depositado (cinzas) é praticamente inerte ou de gestão mais facilmente controlada.

Do ponto de vista económico, os custos associados ao transporte e disposição são mais elevados do que a solução alternativa de construção de uma URE, podendo contabilizar-se, no cenário de não realização do projeto, outros custos relacionados com as externalidades ambientais, manutenção do aterro com maiores quantidades de resíduos processados ou recuperação funcional e paisagística do local após selagem do aterro. Estes custos são irre recuperável dado o baixo rendimento que se retira dos subprodutos originados neste tipo de solução de disposição de resíduos.

4.3. Projeto 3 – INCOVER

[O conteúdo que se segue, foi retirado do projeto “*Innovative Eco-Technologies for Resource Recovery from Wastewater – INCOVER Proposal*”, 2015]

Os recursos hídricos estão constantemente sob pressão das alterações climáticas, a urbanização, a poluição, sobre-exploração dos recursos de água doce e a crescente concorrência entre os vários grupos de usuários. O objetivo da Directiva-Quadro da Água (DQA-CE, 2000) - para alcançar um bom estado até 2015 - será cumprida apenas em cerca de metade das águas europeias, sendo necessárias grandes soluções de tratamento de águas residuais adicionais.

O mercado mundial de água para beber e de águas residuais atingiu os 300 mil milhões de € em 2010, com correspondentes investimentos de mais de 33 bilhões de € por ano (SRA, 2010). Apesar destas grandes figuras do mercado do sector da água, a 95 % do total de assentamentos da UE, que geram 47 % da carga de poluição, precisa fazer esforços consideráveis para melhorar a sua conformidade com DQA (2013a), 2013).

O principal alvo da INCOVER é transformar água residual a partir de um fluxo de resíduos em uma fonte de novos bio produtos de valor acrescentado, contribuindo para uma economia de fluxo circular, utilizando metodologias inovadoras de controlo e *DSS*. Os principais produtos finais de soluções INCOVER serão químicos, água de irrigação e biofertilizantes. Além disso, o metano, CO₂ e bio carvão serão extraídos para alcançar pelo menos uma redução de 50 % da energia e da procura de matérias-primas. As 3 propostas de solução INCOVER procurará reduzir, pelo menos, uma operação global de 50 % em manutenção e custos de tratamento de água residual convencional através da utilização desta como fonte de demanda de energia e produção de valor acrescentado para seguir a estratégia de economia circular da UE. O conceito INCOVER vai melhorar significativamente a economia e sustentabilidade ambiental do tratamento de *AR*. A Figura 33 mostra uma visão conceptual da proposta INCOVER.

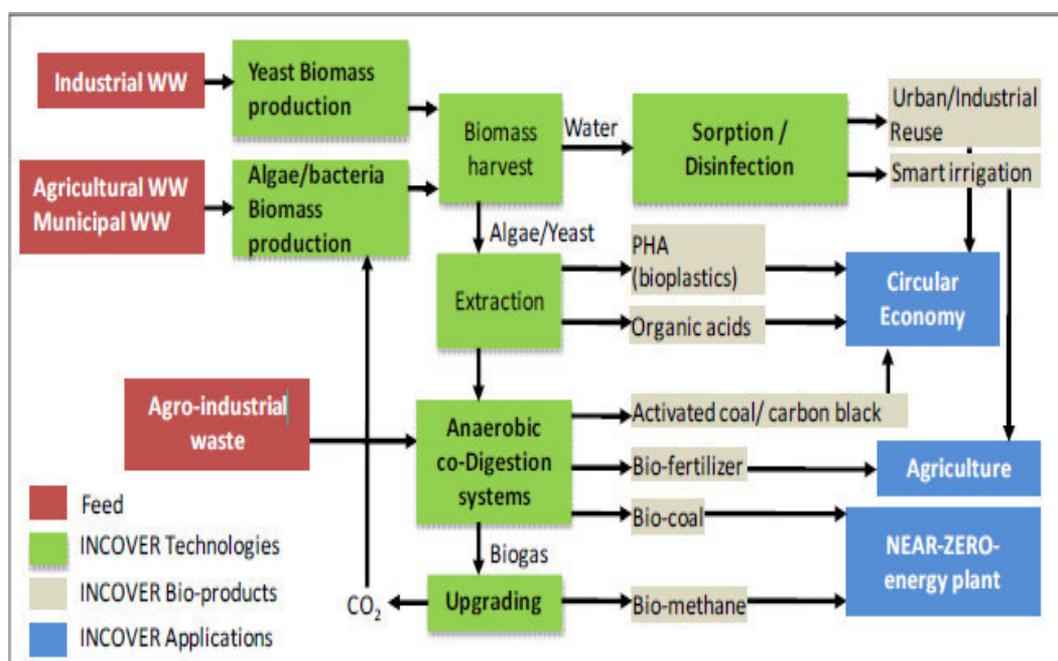


Figura 33. INCOVER CONCEITO: a partir de águas residuais para produtos de valor agregado. Indústria alvo para a economia circular: indústrias de embalagens, químicos, purificação/automotiva-/impressora-tinta.

Três soluções focadas em três casos de estudo diferentes em relação a águas residuais com ou sem pré-tratamento de *ETARs* municipais, quintas e indústrias de alimentos e bebidas serão implementadas, avaliadas e otimizado simultaneamente.

Inicialmente, as três soluções INCOVER serão implementadas em escala de demonstração até escala para 100 000 habitantes equivalentes (PE). A solução de valor agregado INCOVER irá gerar benefícios de águas residuais oferecendo três caminhos de recuperação:

- 1) Recuperação química (bioplástico e ácidos orgânicos) através de algas/bactérias e biotecnologia de levedura.
- 2) Estações de energia-quase-zero, que aprimoram a obtenção de bio-metano através de pré-tratamento, codigestão anaeróbia (*ACOD*) e sistemas de atualização.
- 3) Bio produção e recuperação de água através de adsorção, biotecnologia baseada em sistemas lagoas construídas e carbonização hidrotérmica (*HTC - hydrothermal carbonisation*).

Para melhorar a eficiência da produção de valor acrescentado, as soluções INCOVER incluirão o controlo através de sensor óptico e sensores suaves. Uma metodologia SSD específica de águas

residuais vai ser adaptado às tecnologias INCOVER e fornecer dados e critérios de seleção para uma abordagem de gestão completa de águas residuais.

4.3.1. Objetivo Técnico

Os impactos dos objetivos técnicos, do presente projeto, são:

- a) Desenvolver um Sistema de Apoio à Decisão (*SSD*) para suportar a seleção de tecnologias de tratamento sustentáveis e rentáveis através de avaliação do ciclo de vida (*ACV*) para uma abordagem de gestão de água holística.
- b) Técnicas de monitorizações inovadoras baseadas na deteção ótica e sensores suaves será aplicado em escala de demonstração para garantirem a eficiente e sustentável operação e manutenção de sistemas de produção de algas/bactérias (objetivo: 25 gSV (sólidos voláteis/m²d); processos de codigestão anaeróbia (objetivo: 0,5 m³/kg); Sistemas de extração de Poli-hidroxi-alcanoatos (*PHA* - material bioplástico) (objetivo de PHA/SV: 0,4 kg/kg) e sistemas de desinfecção (objetivo: água de irrigação cumprindo legislação UE. O objetivo é conseguir, pelo menos, uma redução de 50 % da demanda de energia primária.
- c) Validar tecnologias de recuperação inovadoras em escala de demonstração (Nível de Prontidão tecnológica, *TRL* 7-8) para obter biometano (objetivo: 10 m³/d); bioplásticos (objetivo: 3,5 kg/d); e ácidos orgânicos (citrato, itaconato, polióis) (objetivo: 40 kg/d) de águas residuais com ou sem tratamento de municípios, quintas ou empresas de comida e bebida.
- d) Demonstrar técnicas de recuperação de nutrientes rentáveis: recuperação de 70-80 % de P e de N em processos de adsorção com materiais poliméricos híbridos inovadores como adsorventes ou de recuperação direta de nutrientes para a vegetação plantada para filtros; e processos de desinfecção: oxidação anódica (*AO*) solar impulsionado e técnicas de ultrafiltração (*UF*) para diferentes usos da água (irrigação, reutilização urbana ou industrial).
- e) Avaliar a sustentabilidade dos sistemas inovadores de estabilização de lamas para biofertilizantes e produção de biocarvão em uma escala de demonstração e baseados em tecnologia de zonas húmidas e processo hidrotermal de carbonização (*HTC*).

Esses objetivos serão alcançados através da abordagem de avaliações de Análise de Ciclo de Vida e Análise de Sustentabilidade de Ciclo de Vida. Posterior a isso, haverá o desenvolvimento de requisitos adequados (normas) para garantir a qualidade e segurança do produtos e da tecnologia INCOVER.

4.3.2. Metodologia

A abordagem da proposta INCOVER é validar uma aplicação inovadora de uma cadeia de valor de águas residuais utilizando deteção ótica, sensores suaves inteligentes e sistemas de operação *on-line* para melhorar a eficiência dos processos biológicos em três casos de estudo diferentes. As especificações de soluções INCOVER para os três casos de estudo são os seguintes:

1. Caso de estudo 1 para águas residuais municipais (**Figura 34** a, b): Com base na produção de *PHA* fototrófico usando PBR para as bactérias do crescimento da

biomassa / microalgas. Após a extração *PHA*, biomassa de algas será usado para geração de biogás com outros co-substratos de carbono (resíduos agroindustrial de conservas de peixe, matadouro, adegas, lácteos). O efluente do processo de codigestão anaeróbia (digerido) vai ser ainda tratado em zonas húmidas de tratamento de lamas para a produção de biofertilizante. Este caso de estudo será implementado nas instalações UPC's, Espanha.

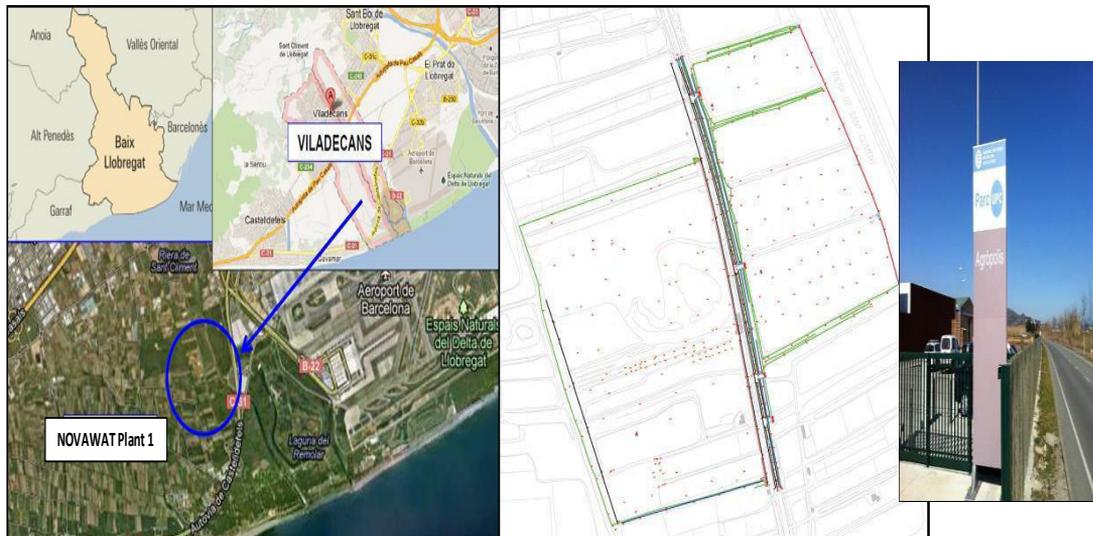


Figura 34 a. Localização de INCOVER instalação 1 e mapa do Agropolis campus, UPC (Cataluña, Espanha).

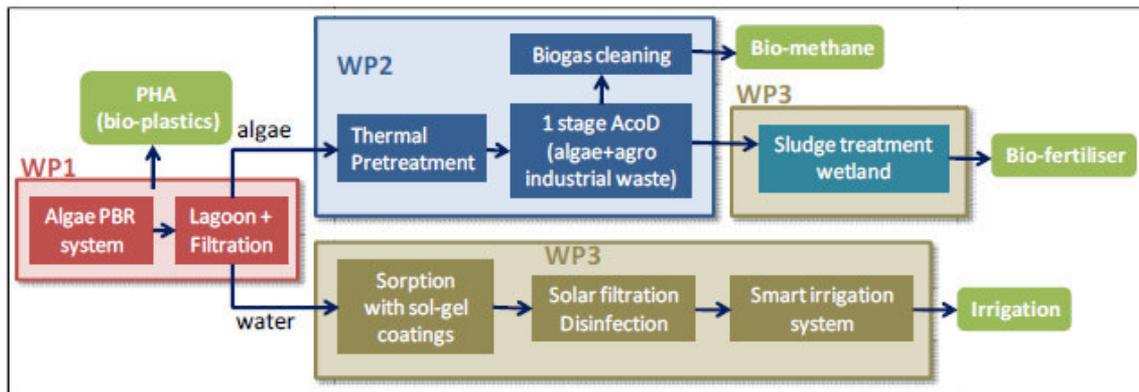


Figura 34 b. INCOVER caso de estudo 1 esquema a ser implementado nas instalações da UPC (Espanha).

2. O segundo caso para água residual agrícola (Figura 35 a, b): Com base na produção de *PHA* através de dois estágios do sistema HRAP anaeróbio-fotossintética. Após a recuperação *PHA*, a biomassa restante será transformada em em biogás utilizando um processo de codigestão anaeróbia de duas etapas usando sistemas de evaporação para a estabilização do digerido. O concentrado (*AR* pré-tratada) será tratado utilizando um filtro plantado com material natural para aumentar o fósforo (P) e recuperação do azoto (N). A água de irrigação será obtida e reutilizada com desinfecção solar via oxidação anódica e um sistema de irrigação inteligente. Este caso de estudo será implementado em Aqualia (Espanha).



Figura 35a. Local de HRAPs escala real em Chiclana WWTP para ser usado no caso de estudo 2 do INCOVER (superior esquerdo); Protótipos de HRAPs localizadas em Chiclana WWTP (Andalucia-Spain) (superior direito); Unidade de coagulação-floculação de microalgas colheita (baixo-esquerda) e digestores anaeróbios (baixo-direita) em Chiclana STP (Andalucia-Espanha).

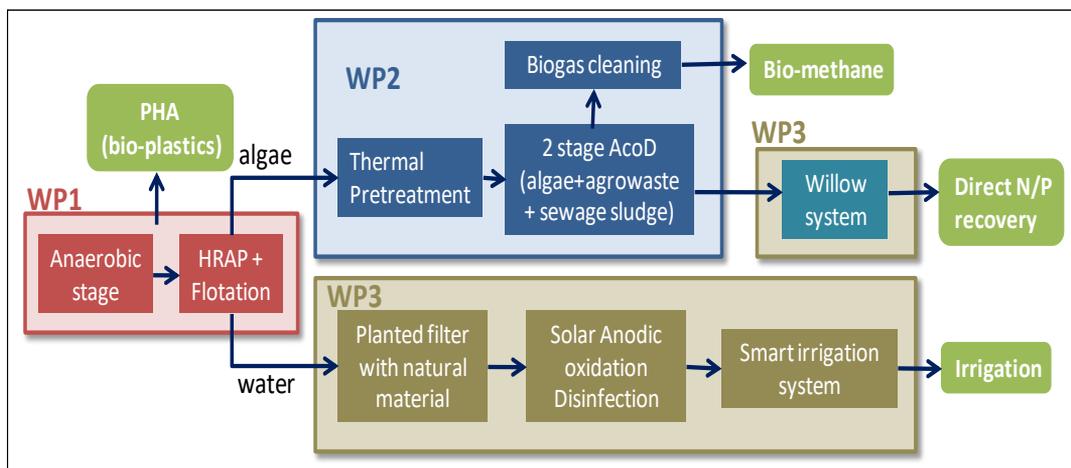


Figura 35 b. INCOVER, esquema do caso de estudo 2, a ser implementado nas instalações da Aqualia (Espanha).

- No caso de estudo 3 (Figura 36 e Figura 37) com base na produção de ácido orgânico por meio de biorreatores de levedura e filtração por membrana. Após a recuperação do ácido orgânico, a biomassa de levedura será utilizada para produção de biogás através de codigestão com substrato rico em C industrial. As lamas anaeróbias serão tratadas em processos *HTC* produzindo biocarvão para a autossuficiência energética e carvão ativado para simbiose industrial. Esta configuração será implementada no UFZ localização (Alemanha).



Figura 36. Biorreator de tanque agitado (0,4 m³) (superior esquerdo) e unidade de eletrodialíse (superior direito) situado no UFZ e o local de demonstração BDZ para o tratamento de águas residuais descentralizadas para ser utilizado no caso de estudo INCOVER 3.

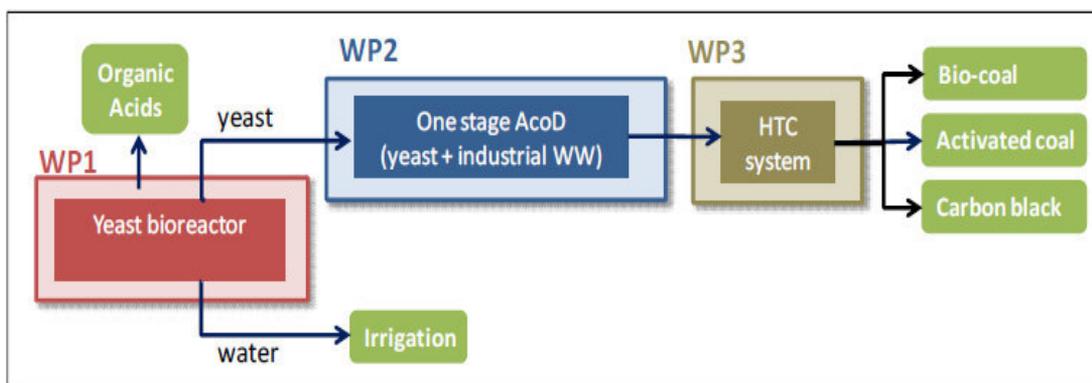


Figura 37. INCOVER, caso de estudo 3. Esquema a ser implementado nas instalações UFZ (Alemanha) para água residual industrial.

As ações de inovação do INCOVER irão ser beneficiadas pelos seguintes fatos:

- 1) Parcialmente utilizando as infraestruturas e instalações de parceiros INCOVER como AQUALIA, UPC, e UFZ existentes, a fim de reduzir o custo de investimento do projeto e facilitar a implementação da tecnologia rápida.
- 2) O uso e os mercados de aplicação dos bio produtos valiosos obtidos em cada caso de estudo (ver secção Impacto).

- 3) Acesso suficiente ao fornecimento de águas residuais municipais e industriais, bem como resíduos sólidos e líquidos ricos em carbono agroindustriais para alimentar as instalações. As seguintes empresas estão localizadas na vizinhança do local dos casos de estudo e que irá fornecer os *feeds* necessários e co-substratos:
- i. Caso de estudo 1 (UPC): Estação de tratamento de águas residuais municipal de Gavà, Viladecans - Área metropolitana de Barcelona; indústria de alimentos (DANONE), fábrica de biodiesel (Stocks del Vallés BDP S.A.) e matadouro (SUCARN).
 - ii. Caso de estudo 2 (AQUALIA): Lamas da ETAR municipal de Chiclana (Cádiz, Espanha), cooperativas agrícolas (representados por um membro COPA-COGECA -INCOVER AB) para culturas energéticas e de fornecimento de resíduos animais.
 - iii. Caso de estudo 3 (UFZ): indústria de bebidas (cervejaria: Brauerei Landsberg GmbH; destilaria: Spirituosenfabrik Wilhelm Behr, Köthen), a indústria de processamento de leite (Sachsenmilch, Leppersdorf); produção de óleos e gorduras vegetais (lagares de azeite: Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH); empresas de biocombustível (Verbio Etanol GmbH, bio-Ölwerk Magdeburg GmbH; Verbio Diesel GmbH).

4.3.3. Detecção Ótica para Monitoração e Controle de Bioprocessos

Instrumentação e controle de bioprocessos estão mal aplicados. Parâmetros convencionais de monitorização (temperatura, pH, potencial redox) não permitem um controlo eficaz de uma instalação, uma vez que não fornecem informação suficiente do processo e, por conseguinte, não pode ser aplicado na otimização do bioprocessos (Ward, 2008).

O uso de sensores in-situ, capazes de monitorar continuamente os parâmetros químicos e físicos aumentou recentemente e oferece uma solução potencial para a otimização do tratamento de águas residuais (I. Melendez-Pastor, 2013).

Medição *on-line* de parâmetros químicos chave (composição biometano, *PHA*, ácidos gordos voláteis e ácidos orgânicos) e sua integração num sistema de controlo iria melhorar significativamente a eficiência e otimização de tais bioprocessos. Durante os últimos anos, a deteção ótica demonstrou a sua viabilidade para a deteção, identificação e até mesmo quantificação de compostos químicos em águas residuais. Esta técnica evita a maior parte dos inconvenientes que os métodos tradicionais de análise mostram, nomeadamente, custo elevado e incapacidade de oferecer uma resposta em tempo real. A recente disponibilidade de detetores óticos de baixo custo e de iluminação adequadas permite o desenvolvimento de sensores adaptados para monitorar parâmetros de águas residuais diferentes (Proposal, 2015).

Nesse sentido, a deteção ótica baseado em fotodetetores multi-comprimento de onda e iluminação ativa, bem como sensores suaves inteligentes com base em parâmetros de operação comuns, tais como turbidez, pH, potencial redox e composição do biogás serão desenvolvidos e validados em tecnologias INCOVER para medir/prever *PHA* e os químicos/compostos orgânicos de interesse. Este *hardware* de monitoramento irá alimentar um sistema de operação on-line baseada em algoritmos de aprendizado de máquina que irá melhorar e manter a eficiência dos processos biológicos.

4.3.4. *Decision Support System* (SSD) e Avaliação da Sustentabilidade

Por muitas décadas, tecnologias modernas e de alta tecnologia eram vistas como a solução para melhorar a qualidade de vida e aumentar o desempenho do mercado. Hoje, sabe-se que essa tecnologia eficiente de implementação sustentável exige uma gestão integrada que inclui aspectos técnicos, ambientais, econômicos, institucionais e sociais.

O de Ciclo de Vida aborda, tanto a Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e de Avaliação de Sustentabilidade de Ciclo de Vida (ASCV) são projetados para avaliar os impactos (ambientais, financeiros, etc.).

Atualmente, os regulamentos para estações de tratamento de águas residuais estão principalmente concentradas em concentrações físico-químicas em efluentes e resíduos sólidos e líquidos. Os efeitos mais amplos associados ao ciclo de vida do sistema AR (por exemplo, geração de energia e materiais a partir água residuais) geralmente não são ou apenas parcialmente são considerados. Ao aplicar ACCV, ACV e ASCV para produção de valor acrescentado, espera-se o surgimento de tecnologias de SSD adaptadas para o reaproveitamento de águas residuais que irão tornar-se num futuro próximo comercializáveis devido ao seu potencial para contribuir significativamente para uma economia de fluxo circular por meio de uma gestão de recursos mais eficazes (solução INCOVER).

4.3.5. Potencial de Inovação

Uma ampla variedade de processos de tratamento convencionais são hoje em dia utilizados para tratar águas residuais (**Figura 38**). Melhores técnicas disponíveis para este sector considerarem uma combinação adequada de diferentes etapas de pré-tratamento e tratamentos biológicos convencionais baseados em técnicas aeróbicas ou anaeróbicas.

Uma das principais inovações da proposta INCOVER será a criação de uma SSD adaptada a tecnologia e uma ferramenta de sustentabilidade desenvolvida para assegurar a viabilidade socioeconómica, ambiental e técnico de soluções INCOVER.

Para isso, uma análise do ciclo de vida completa de configurações INCOVER será realizado em termos de custo, impacto ambiental, eficiência e viabilidade. Os resultados do ACCV e ACV será a base para uma fácil aplicação do sistema de suporte à decisão (SSD) para tecnologias INCOVER que permitam aos tomadores de decisão opções diferentes para a produção de valor acrescentado por meio de diferentes parâmetros locais. Isto irá fornecer dados valiosos para os gestores de águas residuais como as vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias para projetos e produtos específicos será feita transparente.

Posteriormente, a Avaliação de Sustentabilidade de Ciclo de Vida (ASCV) será conduzida por tecnologias INCOVER para fornecer uma informação integrada para os decisores (políticos) com respeito a valores e impactos de recursos e fluxos de resíduos inerentes (Proposal, 2015).

Um balanço simplificado de massa e energia estimada em produção de produtos de valor acrescentado, para uma solução potencial INCOVER (**Figura 39**), leva em conta a conversão do carbono e nutrientes de 1m³ de água residual em ambos reforço do crescimento da biomassa e formação de produto gasoso. Os fatores de conversão utilizados no cálculo foram obtidos da literatura científica e técnica do consórcio INCOVER.

Treatment system	Description	Efficiency* (%)	Invest. & O&M cost (€/year)
Waste stabilisation ponds	Artificial man-made lagoons in which WW is treated by natural processes and the influence of solar light, wind, microorganisms and microalgae.	N: 30; P: 60; COD: 70; SS: 60	26,342
Trickling Filter	A fixed bed over which WW flows downward developing a layer of microbial slime (biofilm), covering the bed of media.	N: 45; P: 40; COD: 80; SS: 60	52,346
Moving Bed Biofilm Reactor	Based on the aerobic biofilm principle. Carriers made from polyethylene provide large surface and optimal conditions for the bacteria culture to develop.	N: 15; P: 35; COD: 40; SS: 60	51,857
Membrane Bioreactor	Combination of the conventional activated sludge process with a membrane filtration step.	N: 60; P: 35; COD: 80; SS: 90	90,977
Extended Aeration	Modification of the activated sludge process preferred for small loads, where lower operating efficiency is offset by mechanical simplicity.	N: 60; P: 35; COD: 80; SS: 85	79,383
INCOVER	Microalgae/bacteria production followed by anaerobic co-digestion with digestate conversion to bio-coal, nutrient and water recovery.	N: 80; P: 80; COD: 95; SS: 95	40,000**

Figura 38. Característica das tecnologias convencionais e solução INCOVER para 800 plantas PE WW com 20 anos de tempo de vida útil (Proposal, 2015) (modificado de Metcalf e Eddy, 2004; Molinos et al, 2012; De Gisi et al, 2015.).

* N: nitrogênio; P: fósforo; COD: demanda química de oxigênio; SS: sólidos em suspensão. ** Alvo estimado: redução de 50% em relação ao sistema mais comum implementado em municípios e fazendas: arejamento prolongado.

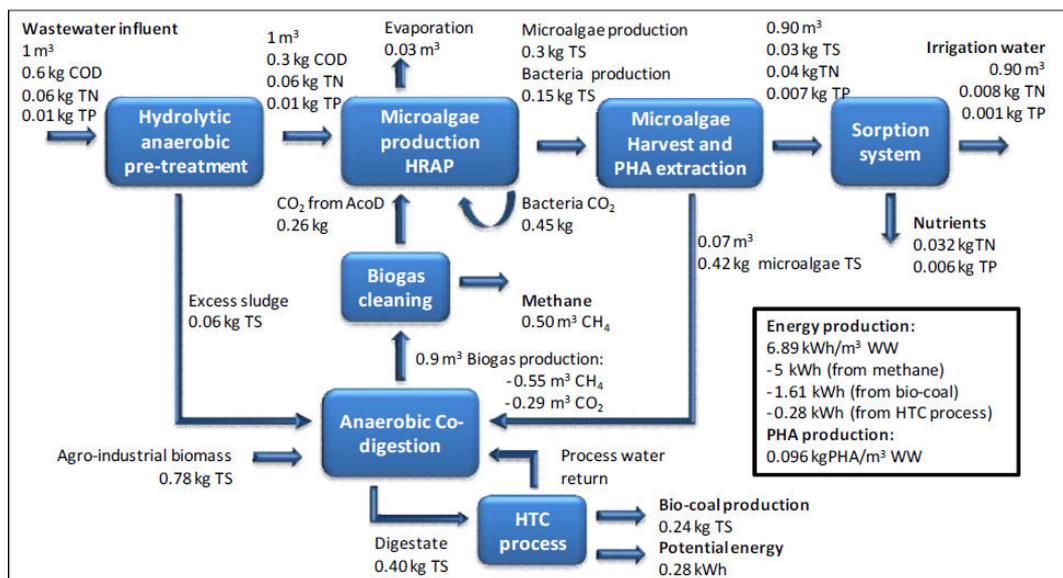


Figura 39. Balanço de massa e energia simplificado para 1 m³ de água residual através de uma solução INCOVER. Matéria inorgânica não foi tida em conta (Proposal, 2015).

4.3.6. Avaliação de Ciclo de Vida

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para avaliar o potencial impactos ambientais de um produto, um processo ou um serviço. ACV é também o sinônimo de "Análise do Ciclo de Vida". Como o nome sugere, ACV envolve a avaliação de todo o ciclo de vida do produto, a partir da preparação de matérias-primas, por meio da realização do produto para a eliminação de resíduos. ACV fornece uma imagem holística dos impactos ambientais de um produto e comparações entre as fases da vida do mesmo (Dong, 2012).

Aplicação da ACV para ETAR's

Como uma abordagem técnica, ACV foi aplicado a ETAR desde o final dos anos 1990. As ligações entre os impactos ambientais e processo de tratamento são as entradas e saídas do sistema de produto relevantes. As entradas normalmente incluem matérias-primas e energia. No entanto, as saídas podem variar amplamente, incluindo produtos, emissões para a atmosfera, emissões para a água, resíduos sólidos e outros subprodutos. Como no caso das estações de tratamento de águas residuais, os principais insumos são águas residuais provenientes de sistemas de coleta de esgotos, eletricidade utilizados para o bombeamento e mistura, e de outros produtos químicos adicionados. Em contraste, as saídas incluem efluente tratado para o recebimento de água, lamas e várias emissões de gases (Dong, 2012).

A avaliação do ciclo de vida é um processo complexo, e a sua aplicação envolve várias etapas diferentes. Neste projeto, terá a abordagem de acordo com a ISO mais atualizada 14044: 2006, que inclui os indicadores ambientais de gases de efeito de estufa, CO₂, CH₄ e N₂O. Esta norma ACV contém quatro fases (**Figura 40**):

- Definição de objetivo e escopo;
- Análise de inventário;
- Avaliação impactante;
- Interpretação;

Definição do Objetivo e Escopo

Definição do objetivo e escopo estão na primeira fase da ACV. O objetivo demonstrado numa ACV define o propósito do estudo. Este inclui alguns ou todos dos seguintes elementos: razões para o estudo, o tipo de abordagem, público-alvo e a utilização dos resultados finais. A definição do escopo normalmente explica que fase do ciclo de vida do produto e que limites são considerados. A ISO 14044: 2006 lista de doze itens para definição do escopo, incluindo:

- a) O sistema do produto a ser estudado;
- b) As funções do produto/sistema;
- c) Unidade funcional;
- d) Categoria de impacto selecionada e metodologia da avaliação de impacto e interpretação para ser utilizada;
- e) A necessidade de dados iniciais e qualidade;
- f) Premissas;
- g) Limitações;
- h) Tipos de análise crítica, se houver.

A definição do escopo é um passo importante que define a dimensão e os detalhes do estudo.

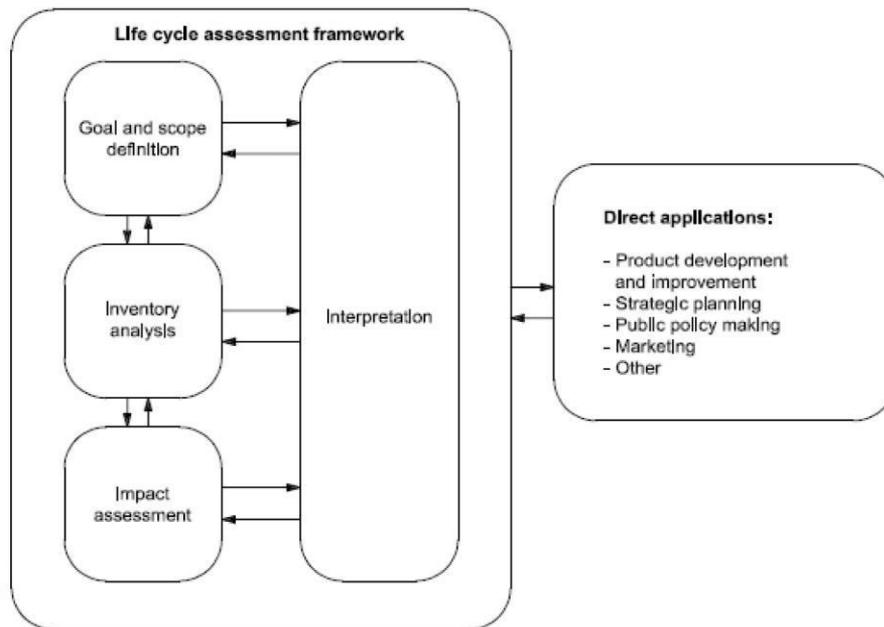


Figura 40. Fases de uma ACV relativa a ISO 14044: 2006 (Wayne Trusty, 2010).

Unidade funcional

A definição de unidade funcional é o primeiro passo chave na definição do objetivo. Um sistema de produto normalmente tem várias funções que representam os diferentes destinos de matérias-primas. A unidade funcional define o tipo e quantificação da função do produto selecionado. Ele é utilizado como uma unidade de referência e permite que as análises quantitativas entre as entradas e saídas. O conceito da unidade funcional torna-se particularmente importante quando os desempenhos dos diferentes sistemas de produtos são estudados. As mesmas unidades funcionais permitir comparações significativas em uma base comum. Por exemplo, uma unidade funcional pode ser uma tonelada de concreto ou de um veículo de cinco passageiros (Dong, 2012).

Fronteiras do sistema

De um modo geral, um sistema de produto consiste em várias unidades de processamento, e cada processo de unidade poderia ter uma ou mais entradas e saídas. Portanto, a fronteira do sistema define qual a unidade de processos de inclusão e, portanto, que as entradas e saídas de incluir. A fronteira do sistema também podem ser afetados pelo acesso aos dados, pressupostos relativos, orçamento do projeto e outras restrições. De acordo com a ISO14040: 2006, alguns processos, entradas e saídas têm apenas efeitos menores sobre os resultados finais, e podem ser excluídas do limite do sistema.

A ACV pode ser considerada em limites distintos de uma *ETAR* (fase de construção, fase operacional e fase de demolição) (Dong, 2012).

Análise de inventário

Análise de Inventário de Ciclo de Vida (LCI), é a segunda fase do LCA, envolve a coleta de dados, processamento e alocação de recursos que podem resumir-se em quatro passos:

- i. Coleta de dados
- ii. Normalização
- iii. Alocação
- iv. Avaliação dos dados

Coleção de dados

Se o limite do sistema é bem definido, os dados podem ser recolhidos de acordo com as entradas e saídas de cada processo de unidade. A figura a seguir descreve uma visão genérica de recolha de dados sobre a fronteira do sistema.

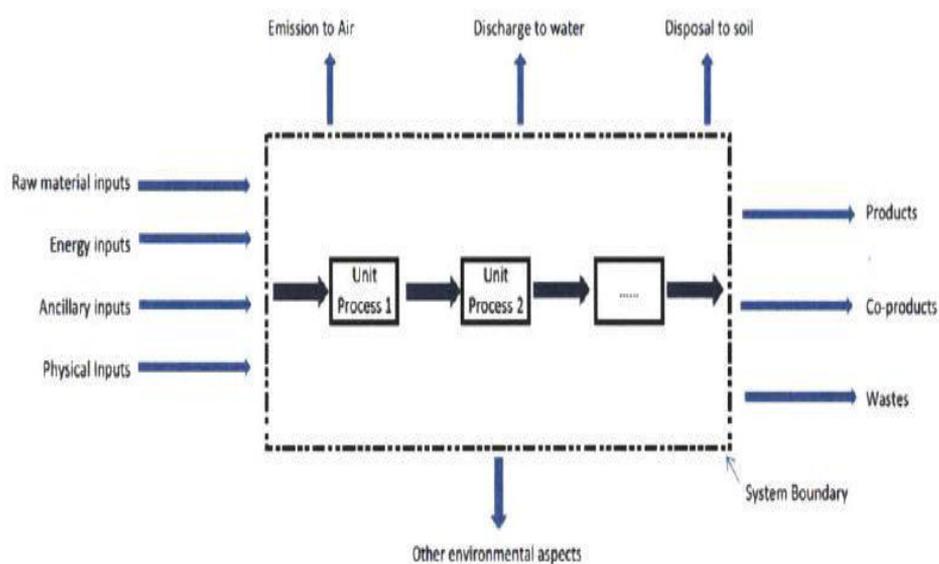


Figura 41. Coleção genérica de dados (Dong, 2012).

Os dados em bruto precisam ser processados antes do inventário final do ciclo de vida. Estes requisitos garantem os resultados finais ACV sejam válidos ao longo de muito tempo.

No caso da ACV de uma *ETAR*, os dados de operação são recolhidos diariamente, uma vez que o caudal varia entre as estações do ano e ao longo dos anos.

Normalização

Os dados brutos precisam ser processados antes de alocação. Este passo é chamado, em algumas literaturas, de normalização. Os dados em bruto têm de ser normalizados de acordo com a unidade funcional definida na fase objetivo e escopo. Por exemplo, numa *ETAR*, se o caudal é utilizado como unidade funcional, todos os outros dados brutos recolhidos devem ser recalculados com base neste caudal.

Alocação

Alocação significa a distribuição de recursos, resíduos e emissão para cada unidade do processo relativo aos impactos ambientais. A unidade funcional é a chave que liga os *inputs* e *outputs* e conecta processos unitários.

Avaliação do Impacto

O principal objetivo da avaliação de impacto é traduzir os resultados da análise de inventário para uma interpretação mais compreensível e precisa dos impactos ambientais de um sistema.

Estas operações podem ser conduzidas através do emprego de um *software* de LCA como o SimaPro, Gabi entre outros.

Neste caso concreto, e a título de ensaio, uma vez que o projeto ainda não tem dados de operação e as respetivas licenças, efetuou-se uma pequena demonstração naquele que seria o *software* mais adequado, o Gabi.

O GaBi 5 é a versão mais atualizada do *software* GaBi, desenvolvido pelo PE Internacional. O sistema GaBi 5 oferece acesso a funcionalidade abrangente e de fácil utilização para analisar os ciclos de vida dos produtos ou tecnologias de processamento. O *software* é capaz de lidar com a avaliação do ciclo de vida (LCA), a pegada de carbono do produto, custos de ciclo de vida e outras aplicações sociais e ambientais. O *software* também permite o acesso à base de dados Gabi que contém milhares de processos e centenas de processos (America, 2011).

Dentro do *software* GaBi 5, a estação de tratamento pode ser vista como um «plano» enorme, que inclui vários processos. Além disso, os *inputs* e *outputs* (

Quadro 29) para cada processo são modelados como correntes/fluxo. A **Figura 42** é um exemplo de uma representação de uma estação de tratamento de águas residuais no GaBi 5. Esta mostra o interface do modelo de uma *ETAR*. Cada caixa retangular representa um processo. Além dos processos de tratamento de águas residuais mencionadas há o processo de geração de eletricidade, transporte de lamas e o processo de descarga de efluentes. Na figura, cada linha seta representa um fluxo. As linhas azuis representam linha de água. As linhas castanhas representam a linha de lamas. E as linhas cinzentas representam eletricidade ou combustível para alimentar o processo (Dong, 2012).

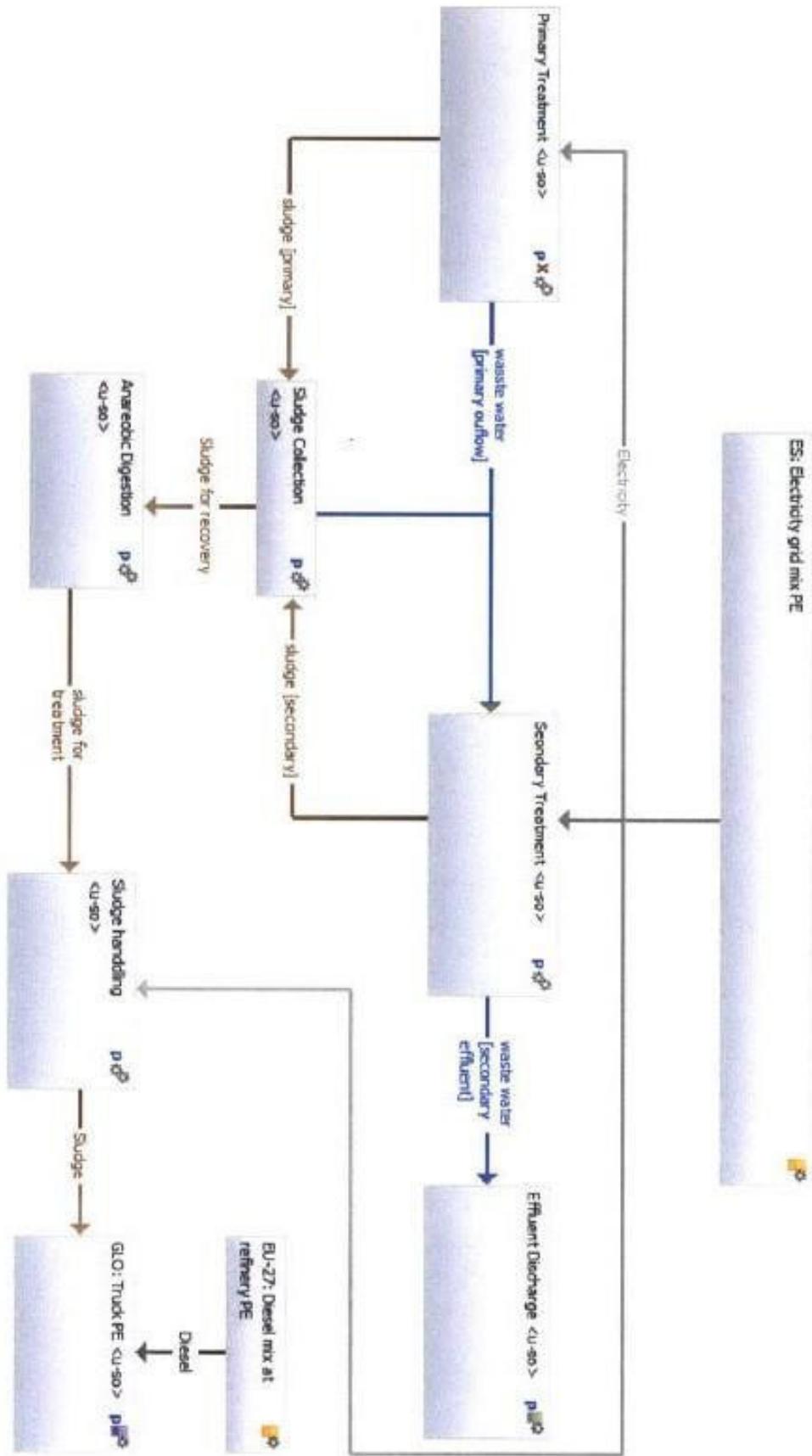


Figura 42. ETAR de La Gavia no Gabi 5 (Dong, 2012).

Quadro 29. Lista geral de inputs e outputs de uma ETAR

TRATAMENTO PRIMARIO	
<i>Inputs</i>	Unidades
Água residual (entrada primaria)	m ³
Eletricidade	kWh
<i>Outputs</i>	
Lamas (primaria)	m ³
Água Residual (saída primaria)	m ³
TRATAMENTO SECUNDARIO	
<i>Inputs</i>	
Água Residual (saída primaria)	m ³
Eletricidade	kWh
<i>Outputs</i>	
Lamas (secundaria)	m ³
Água Residual (efluente secundário)	m ³
Oxido Nitroso (emissões inorgânicas para o ar)	kg
DESCARGA DO EFLUENTE	
<i>Inputs</i>	
Águas Residuais (efluente secundário)	m ³
<i>Outputs</i>	
Água Residual (Resíduos destinados a eliminação)	m ³
COLETA LAMA	
<i>Inputs</i>	
Lamas (secundária)	m ³
Lamas (primarias)	m ³
<i>Outputs</i>	
Lamas para recuperação	m ³
Água Residual (saída primaria)	m ³

5. Discussão Geral e Conclusões

5.1.1. SARASWATI

No que se refere ao projeto SARASWATI, o principal objetivo deste estudo foi realizar uma análise de viabilidade técnica e financeira para a execução de um digestor de biogás portátil a nível do agregado familiar rural.

O digestor anaeróbio foi investigado como uma opção para o tratamento de águas sanitárias e resíduos alimentares, nos conceitos de Saneamento Sustentável. Tanto a literatura sobre experiências e observações do trabalho de campo têm mostrado que, as chamadas *blackwater* e desperdício de alimentos, podem ser usados corretamente para a produção de biogás, apesar de outras fontes como esterco de vaca, por exemplo, tem menor rendimento de produção de biogás.

Baseado na análise, foi possível alcançar essa digestão anaeróbica de *blackwater* combinada com outros sólidos resíduos como os resíduos de cozinha, resíduos de jardim e agricultura que têm grandes vantagens em termos de eficiência de tratamento de água e produção de energia. Os digeridos, ou rejeitos, produzidos a partir do processo são ricos em nutrientes e por causa disso, podem ser aplicados como adubo orgânico na agricultura ou jardins domésticos.

Sobre isso, foram analisadas duas abordagens principais. A principal diferença entre as duas opções é no campo da utilização do biogás. Na primeira opção, um refrigerador de absorção adaptado de 60 L foi sugerido para substituir as necessidades de refrigeração de um alojamento doméstico. A segunda opção proposta é com a utilização de biogás em um fogão de cozimento. No entanto, esta última opção deve ser considerada somente se a primeira opção não fosse viável.

O projeto continua em andamento sem resultados finais, mas desde já os problemas encontrados são a falta de operação e manutenção eficaz como problema mais comum em projetos de abastecimento de água e saneamento rural. Uma vez que o projeto está dependente do auxílio de intervenientes no local, fica difícil controlar as atividades envolvidas na operação e manutenção das diferentes opções de sistema proposto. Um resumo dos intervenientes e ações de operação e manutenção (O & M) de um sistema de PBD é apresentado no **Quadro 30**.

O processo de digestão anaeróbica requer uma complexa interação de vários tipos de bactérias que devem estar em equilíbrio para manter a produção de biogás constante. As alterações nas condições ambientais dentro do biodigestor podem afetar este equilíbrio e portanto a constante produção de gás. É necessário a monitorização regular dos parâmetros, tais como: pH, temperatura, alcalinidade, a relação C/N, tempo de residência, carga orgânica, teor de nutrientes e teor de sólidos. O quadro a seguir mostra os requisitos de O & M técnicas gerais para operar o sistema de PBD.

Quadro 30. Intervenientes e ações na O&M do sistema PBD

Intervenientes	Ações	Habilidades necessárias
Membros do agregado familiar	Recolha de resíduos alimentares e adição a entrada; verificação de mangueiras, tubos e acessórios; acompanhamento do fluxo de gás; remover o digerido do tanque.	Acessível
Membros do agregado familiar	Reparação de mangueiras e de tubos de conexões	Habilidades técnicas
Trabalhador qualificado ou trabalhador contratado	Reparação de mangueiras e de tubos de conexões	Habilidades técnicas
especialista AD e biogás	Vazamentos de Reparação no digestor	Altamente qualificado

Quadro 31. Requerimentos técnicos de O&M

Atividade	Frequencia	Materiais e peças de reposição
Recolha de resíduos alimentares	diariamente	Balde
Adicionar o desperdício de alimentos à entrada	diariamente	Balde e vara
Inspeccionar mangueiras, tubos e acessórios	A cada 2 a 3 meses	n/a
Eliminar condensação da linha de gás	A cada 2 a 3 meses	n/a
Ligar e desligar fluxo de gás	Sempre que necessário	
Acender o fogão	Sempre que necessário	
Reparação do fogão	Sempre que necessário	
Reparação/substituição de tubos, mangueiras e conexões	Sempre que necessário	Chave de fenda, alicates e outras ferramentas básicas, tubos, mangueiras de borracha
Reparar rachaduras no tanque de entrada / saída	Sempre que necessário	
Remova o bloqueio de entradas	Sempre que necessário	Água, luvas de borracha, vara flexível

Dependendo do tipo de matéria-prima utilizada, o biodigestor pode necessitar de vários dias a várias semanas para conseguir um processo de digestão estável. No entanto, o processo de digestão irá estabilizar mais rapidamente se a suspensão é agitada frequentemente.

Para assegurar que a operação piloto é ininterrupta, é aconselhável assegurar que o biodigestor seja alimentado regularmente pela matéria-prima adequada. Não há uma abordagem padrão para a alimentação do biodigestor no entanto, existem padrões mínimos que devem ser cumpridos para garantir a produção de gás ótima e sustentável.

Os resíduos alimentares devem ser recolhidos diariamente e adicionado à entrada. As águas residuais devem ser misturadas com o resíduo alimentar. À medida que a matéria-prima for introduzida em separado no biodigestor, haverá necessidade de mistura da matéria, depois de cada alimentação, a fim de assegurar a mistura homogéneo.

Mangueiras, tubos e conexões devem ser verificados de dois a três meses em caso de rachaduras ou sinais de desgaste e substituídos, se necessário. A válvula na parte superior da câmara é aberta e fechada manualmente, conforme necessário, para iniciar e parar o fluxo de gás. Os tubos que conduzem a partir do biodigestor para o refrigerador podem encher-se com a condensação e deve ser esvaziada quando uma diminuição do fluxo de gás é observada. Uma vez por mês é geralmente suficiente.

A lama deverá ser removida do tanque diariamente. Esta pode ser aplicada como um fertilizante para horta doméstica ou terras agrícolas ou adicionado a uma cova de composto. Se a lama não for removida, a saída do tanque irá transbordar.

Uma vez que o biodigestor é feito para ser colocado acima do solo, é mais fácil de esvaziar e limpar (o que precisa ser feito de vez em quando para se livrar de material inerte), mas também significa que este precisa ser devidamente isolado, uma vez que a temperatura é susceptível de variar mais acima do solo do que debaixo dela.

Sobre esta tarefa, foi relatado que o digestor nos meses de Abril e Maio (2016) apresentou alguns vazamentos que comprometiam a avaliação global da produção de biogás. Estas fugas foram corrigidas e analisadas tendo a sua origem na construção do material do biorreator (PVC). Nas conclusões finais será o uso de polipropileno como sugestão de melhoria para a durabilidade.

Durante Junho e Julho (2016), após estes reparos, o biodigestor apresentou uma produção de cerca de 300-420 L de gás produzidos por dia, com 450 L/kg de biogás por VS removidos numa faixa de temperatura entre 15 e 35 °C (min e máx).

De acordo com esses dados, a viabilidade de produção de biogás mantém-se, o que parece bastante promissor mas ainda não o suficiente para a instalação do sistema de refrigeração.

A sugestão passaria em neutralizar o aspeto transparente do biodigestor e torná-lo escuro, para não manifestar-se condição aeróbia devido a luz, e garantir a maior exposição solar possível ao longo do dia para maior tempo de temperaturas altas e assim maximizar a produção de biogás.

Em Setembro (2016), os dados foram (**Quadro 32**):

Dados	Valores
Resíduos de cozinha	5 L/d
CQO	60 g/L
TS	60 g/L
pH (entrada)	6,5
pH (interior reator)	6,9
Lamas (entrada)	65 L/d
Produção Biogás	350 L/d

Como catalisador desta reação, poder-se-ia utilizar dejetos de animais e arroz, como soluções fáceis para aumentar a produção.

No entanto, informações de disponibilidades locais mais detalhadas e características devem ser analisadas para alcançar melhores conclusões do estudo.



Figura 43. O piloto está instalado em Kharagpur Campus (IIT-Kgp) – West Bengal.

Outra sugestão de melhoria, a título de garantir o funcionamento do sistema de refrigeração, passará pela instalação de uma tecnologia recente, *Powerwall*. Esta tecnologia consiste numa bateria carregada com eletricidade gerada a partir de painéis solares quando o nível de utilização forem baixo. A bateria então irá compensar fornecendo energia ao sistema durante períodos de baixa produção de biogás. A *Powerwall* também poderá fornecer energia elétrica para outras aplicações domésticas proporcionando um fornecimento de eletricidade em caso de emergência.

Este sistema automatizado, compacto e simples de instalar, oferece independência da rede pública e à segurança de um *backup* em caso de emergência. Esta opção não está acoplada ao projeto devido as suas condições limitadas impostas.

5.2. URE - Caju

Os resultados obtidos para as várias alternativas tecnológicas estudadas, tendo em consideração a quantidade e composição dos resíduos a tratar, as condições e meios logísticos já instalados e as vantagens e desvantagens ambientais, económicas e sociais identificadas para cada tecnologia, apontam para que a solução mais favorável seja o tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos recebidos na ETR do Caju e, dentro desta tipologia de solução, destaca-se como

a mais interessante a implantação de uma unidade de recuperação de energia (URE) por incineração.

Efetivamente, no caso concreto, a URE é a alternativa que apresenta o valor mais elevado ao nível das receitas anuais e o menor período de *payback*, entre as tecnologias a construir de raiz. A solução de aterro com recuperação de biogás é a que apresenta o período de *payback* mais reduzido, devido ao fato de se considerar apenas o investimento da instalação de um sistema de recuperação de biogás no aterro de Seropédica, o que se traduz num menor custo de investimento comparativamente ao necessário para a implementação de uma URE. No entanto, será de realçar que esta solução apresenta um tempo de vida útil inferior ao da URE a construir, o que obrigaria a um novo investimento a médio prazo.

A solução de TMB com produção de CDR também poderia ser uma alternativa a ponderar, uma vez que tem um período de retorno apenas um pouco superior à alternativa da URE, mas a menor geração de receita anual, a maior sensibilidade do processo para obter um produto de qualidade e a dependência de um mercado capaz de realizar o escoamento e a queima do CDR produzido, retira atratividade a essa alternativa.

Já a solução de implementação de um digestor anaeróbio mostrou-se económico-financeiramente inviável, tendo em consideração os dados previsionais de projeto apresentados.

Do ponto de vista ambiental, a solução mais favorável é também a implementação de uma URE, tanto pela segurança que a tecnologia e o seu sistema de controlo asseguram – embora não se possam ignorar as emissões gasosas do processo de combustão –, como pela significativa redução que vai permitir do tráfego de caminhões entre a ETR Caju e o aterro sanitário de Seropédica.

No caso da solução de aterro com recuperação de biogás, seriam de esperar impactos ambientais mais significativos, representando custos e externalidades ambientais relevantes relacionados com a destruição e degradação paisagística devido à presença e utilização permanente de uma infraestrutura de grande dimensão, ao esgotamento da sua vida útil num período mais curto e ao potencial contaminante dos resíduos depositados durante todo período de vida do aterro e após o seu encerramento.

Por outro lado, além do aterro representar um montante maior de emissão gases de efeito de estufa (GEE) relativamente à URE, apresenta também menor eficiência de geração de energia elétrica, visto que em aterro a mesma quantidade de RSU apenas permitirá cerca de 20 % da produção de energia gerada por uma URE.

Há alguns aspetos que podem afetar os custos, os riscos de engenharia ou as condições de execução do projeto.

Relativamente ao potencial de impacto sobre os lençóis freáticos próximos à superfície, a área selecionada situa-se numa região de cota reduzida.

Quanto a vulnerabilidades do terreno, será necessário proceder a uma escavação para permitir as fundações e a instalação da unidade, devendo atingir pelo menos cerca de 5 metros abaixo do nível atual do solo. Devido à movimentação de solo e à eventual necessidade de rebaixamento do lençol freático, será obrigatório o adequado planeamento do destino final do

solo e da água descartadas, tendo em conta o seu eventual estado de contaminação associado ao seu uso pretérito.

Ao nível de riscos biofísicos, é necessário avaliar o risco de inundação face a eventos climáticos extremos.

Mas, de qualquer forma, a prova da efetividade da tecnologia WTE é a quantidade de incineradoras instaladas nos EUA e principalmente na Europa, com mais de 430 unidades operando e quantidades de 54 milhões de toneladas de RSU tratado no ano de 2013. Também ressaltando sua integração em relação aos centros urbanos como é o caso da estação de Spittelau em Viena, Áustria (Proposal, 2015).

A juntar a este fato o Bairro de Caju, onde será implementada a URE, é retratado como uma zona de diversos impactes ambientais. O acesso a Avenida Brasil, existem cinco cemitérios que funcionam à entrada do bairro, geradores de poluição atmosférica; A zona portuária com circulação de caminhões de transporte de mercadorias que promovem poluição sonora e atmosférica devido à emissão de gases poluentes; A Estação de Tratamento de Esgoto Alegria, com emissão de odores nauseabundos; Existência de um vazadouro ao céu aberto, com resíduos não tratados que ficam na margem da Baía de Guanabara.

As ocorrências frequentes, de moradores locais sofrerem acidentes devido ao grande movimento de veículos e também por problemas de saúde devido à poluição do ar. Devido a esses aspetos perversos que modificaram o urbanismo local a partir do século XIX, justificou-se a criação de uma incineradora de resíduos sólidos com tecnologias limpas para melhoria das condições ambientais do local.

O projeto ainda encontra-se em fase levantamento de dados para o estudo completo de impactes ambientais, que dada a realidade local será necessário uma abordagem minuciosa, para que esta tecnologia surja como uma mais-valia e não como um acréscimo a um urbanismo crítico.

Mas, seja qual for a realidade local, a estratégia ideal de gestão de recursos para resíduos sólidos urbanos é evitar a sua geração em primeiro lugar. Em 1993, uma Comissão Real sobre a poluição ambiental na Inglaterra emitiu um procedimento de decisão de quatro estágios, dos quais as duas primeiras etapas afirmam:

- a) Sempre que possível, evitar a criação de resíduos,
- b) Onde os desperdícios são inevitáveis, recicle-os se possível.

Isso implica a mudança dos padrões de produção e consumo para eliminar o uso de produtos descartáveis, não reutilizáveis, não-retornáveis e embalagens.

Uma gestão integrada de resíduos sólidos é essencial para estabelecer uma hierarquia geral de resíduos para identificar os elementos-chave. Esta deverá ser composta pela seguinte ordem:

1. Reduzir;
2. Reutilização;
3. Reciclar;
4. Minimização de resíduos e recuperação de energia a partir de resíduos por compostagem, digestão anaeróbia, incineração, etc;
5. Aterro.

O custo de construção e operação de incineradores ou fornecimento de aterros especiais é enorme. Se partes substanciais destes fundos fossem desviados para minimização de resíduos e incentivo a reciclagem, a necessidade de eliminação de resíduos poderia ser enormemente reduzida, além de reduzir os perigos resultantes tanto da incineração como do aterro sanitário. É essencial explorar o potencial de tecnologias ecológicas, como a digestão anaeróbia (AD), para o tratamento de resíduos urbanos, porque tem a promessa de abordar duas preocupações ambientais de grande importância - gestão de resíduos e energias renováveis (Zafar, 2008).

5.3. INCOVER

Quanto a soluções INCOVER, estas arrancarão em novembro, e para já não há dados suficientes para uma abordagem conclusiva. Mas os impactos ambientais importantes que este projeto espera alcançar são:

- a) Reduzir a procura de energia (pelo menos de 50 %) de gestão de AR, usando o biogás e o bio-carvão produzidos para fornecer calor para os processos de INCOVER como digestor anaeróbio ou pré-tratamento térmico.
- b) Redução das emissões de GEE até 80 % no tratamento AR, evitando aeração e através do crescimento de microalgas e produção de bio-carvão. Ambas as metodologias são processos de sequestro de CO₂: 1,88 kg/kg algas e 2,2 kg/kg bio-carvão.
- c) Nutrientes, bioplástico e recuperação de irrigação com água de AR, sem aumento no consumo de energia em comparação com o tratamento convencional de AR (aeração mais comumente estendida). Ver **Figura 39** para as taxas de produção De AR por m³ tratados.
- d) Prestação de uma metodologia de custo eficaz de reuso de água para lidar com o abastecimento de água na indústria, agricultura e áreas rurais/urbanas em países com escassez de água.
- e) Por fim, o projeto INCOVER, no domínio da avaliação do desenvolvimento sustentável, irá facilitar a adoção de uma abordagem de ciclo de vida para auxiliar o processo de tomada de decisão, em uma abordagem integrativa e abrangente, para avaliar a sustentabilidade e inovação de sistemas de tratamento de águas residuais.

Outros impactos socialmente importantes proposto pelo projeto INCOVER são:

- i. Redução de custos da gestão municipal e industrial de AR em pelo menos 50 % por meio de fornecimento de energia (biometano e bio-carvão) e matéria-prima (CO₂) produzido e recirculado durante o processo.
- ii. Reforçar e promover a conscientização entre as empresas industriais e clientes, cidadãos de Municípios e trabalhadores rurais sobre os benefícios da utilização de água de reuso e bio-produtos.

A obtenção de um saldo ambiental positivo da abordagem INCOVER facilitará a superar as barreiras/obstáculos impostos pela atual gestão de águas residuais, a fim de melhorar a exploração e a aceitação pelo mercado das inovações propostas. A **Figura 44** mostra análise SWOT (pontos fortes e fracos / Oportunidades e Ameaças).

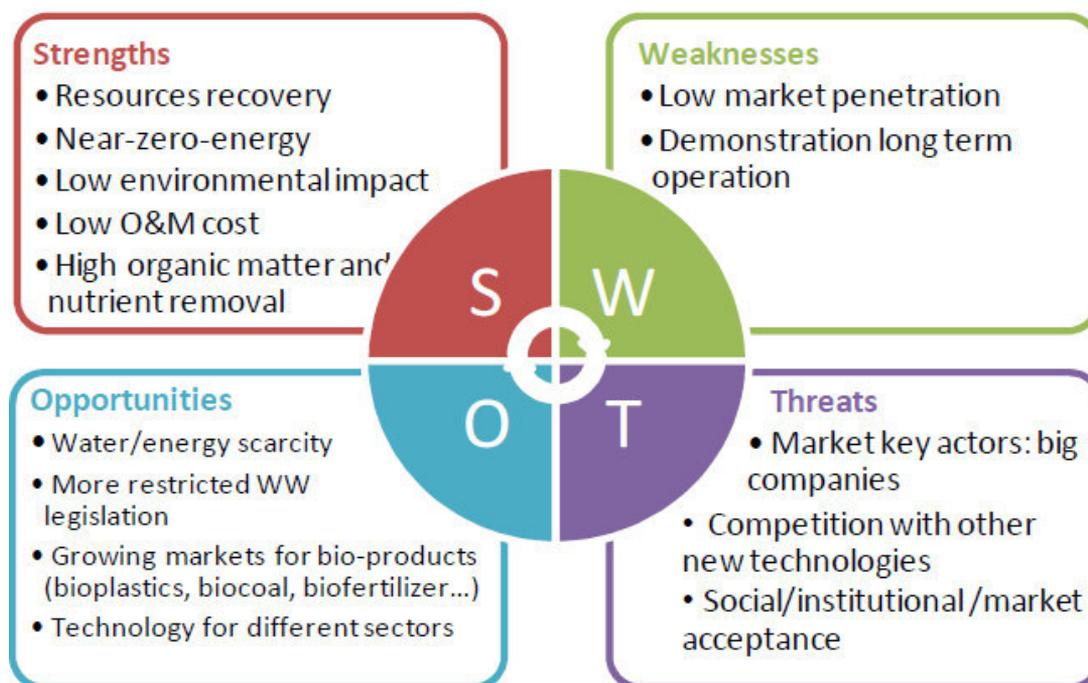


Figura 44. Análise SWOT para o projeto INCOVER (Proposal, 2015).

Em relação à tarefa de projeto, o estudo ACV, a metodologia que usar-se-á será padrão de acordo com o *software* Gabi. Mas desde já as vantagens dessa abordagem, além do estudo das emissões diretas que são esperadas no processo, serão o estudo e identificação das emissões indiretas, como por exemplo a emissão de CO₂ baseado no consumo de eletricidade.

Esta ferramenta permitirá o estudo da formação de CO₂ durante o processo desde a chegada do efluente até ao transporte de produtos finais aos devidos destinos. Essa avaliação permitirá quantificar melhor esse impacto. Assim como o CO₂, a quantificação de emissões de NO₂ e CH₄ são apoiados em fórmulas empíricas, o que compromete o valor das taxas de emissões de Gases de Efeito de Estufa. Também o estudo do potencial de eutrofização poderá ser melhor analisado através deste mecanismo de análise.

Outra questão será a interpretação dos resultados finais e em como normalizar dois diferentes aspetos de impactos ambientais. Os GEE são de escala global, enquanto o Potencial de Eutrofização está localizado dentro de um fluxo. Por um lado, os GEE levantariam a questão de aquecimento global, nível do mar e alterações climáticas. Esse aspetos alterariam lentamente o ambiente local em questão.

Por outro lado, o potencial de Eutrofização poderá ter um impacto rápido no ambiente local como a eutrofização, qualidade da água e no odor. Deste modo então, o *software* permitirá uma análise balanceada destes impactos através da demonstração de uma planilha de resultados finais.

Referências Bibliográficas

- (2013a), E. (2013). *7th Commission Summary on the Implementation of the Urban Waste Treatment Directive*.
- A. Phongphiphat, C. R. (2011). Ash deposit characterisation in a large-scale municipal waste-to-energy. *Journal of Hazardous Materials - 186* , 218-226.
- Ahmed N. Shmroukh, A. H.-R. (2013). Adsorption Refrigeration Working Pairs: The State-of-art in the application. *Internatonal Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* , 7, 448-458.
- Al Seadi, T. R. (2008). *Biogas Handbook*. University of Southerm Denmark Esbjerg.
- Ambiental, H. -T. (2011). *Unidade de Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos* . Tecnologia e Planejamento Ambiental. Rio de Janeiro: HAZTEC.
- America, P. (2011). Basic Training Brochure.
- Asano, T. (2002). *Waste from (waste) water - The dependable water resource* (Water Science and Technology ed.).
- Cajú, P. B. (2015). *Programa WTE - Caju, R.J.* Rio de Janeiro.
- Central Pollution Control Board (2010)*. (2010).
- Conselho de Controle de Poluição Central (CPCB), 2. (2002). *Conselho de Controle de Poluição Central (CPCB), 2002*.
- D. Batchelor, D. E. (2002). *Greenhouse Gas Abatement: Assessing WTE and Landfill Disposal*. Waste Management World.
- d'Azevedo, R. T. (2009). *Gestão e valorização de resíduos*. Obtido em 30 de Novembro de 2016, de Naturlink: <http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=6&cid=91895&bl=1&viewall=true>
- Das, E. B. (2010). Estimating the value of improved wastewater treatment: The case of River Ganga, India,. *Journal of Environmental Management 91* , 2163-2171.
- Defrain M. (2010), Decentralized Wastewater Treatment for SMEs, Backgroundpaper, Umweltbundesamt, Project Act Clean / SPIN, Leipzig 2010.
- Dong, B. (2012). *Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Plants*. Massachusetts, EUA: Massachusetts Institute of Technology.
- Durham B., A. A. (2005). Water Recycling and Reuse: a Water Scarcity Best Practice Solution. *Paper prepared for conference, Cyprus 2005* .
- Estoppey, N. (2010). *Evaluation of small-scale biogas system for the treatment of faeces and kitchen waste*. Dubendorf, Suiça: Swiss Federal Institute of aquatic science and Technology.

- ESWET. (2008). *The waste hierarchy, from the WASTE FRAME WORK DIRECTIVE*. Bruxelas.
- F. Zanelli, A. B. (2000). *Fuel savings and reduction of greenhouse gases in a large WTE cogeneration facility*. ASM Brescia SpA.
- Government of West Bengal, I. (2011). *State Action Plan on Climate Change*. Kolkata, West Bengal, India.
- Harrison, R. M. (1999). *Understanding our Environment-An Introduction to Environmental Chemistry and Pollution*. UK: The Royal Society of Chemistry, Redwood Books Ltd.
- Henze, M. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. London, UK: IWA Publishing.
- I. Melendez-Pastor, M. B.-C.-P. (2013). *Monitoring urban wastewaters characteristics by visible and short wave near-infrared spectroscopy*. Switzerland, Switzerland.
- ISWA, A. (s.d.). "Resíduos Sólidos: Manual de Boas Práticas no Planejamento".
- Jucá, J. (2014). Gestão das tecnologias para tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, Grupo de Resíduos Sólidos. *Gestão das tecnologias para tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, Grupo de Resíduos Sólidos*. Universidade Federal de Pernambuco.
- K. N. Kumar, S. G. (2008). *Characterization of Municipal Solid Waste (MSW) and management plan for Kharagpur*. West Bengal, India: Resources, Conservation and Recycling.
- Lohri, C. (2009). *Research on anaerobic digestion of organic solid waste at household level in Dar Es Salaam, Tanzania*. Suíça: Zurich University of Applied Sciences.
- Maria, A. (30th-31st de October de 2003). The Costs of Water Pollution in India. *Paper Presented at the conference on Market Development of Water & Waste Technologies through Environmental Economics*, Delhi.
- Mata-Alvarez, J. M. (2000). *Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives*, *Bioresource Technology*, 74, pp. 3-16
- Ministry of Rural Development, G. o. (2013). *Regular monitoring of rural development programmes*. West Bengal, India.
- Ministry of Statistic and Programme Implementation, G. o. (2009). *Development of environment Statistics (FDES)*.
- OECD. (2009). *Alternative Ways of Providing Water Emerging Options and Their Policy Implications. Advance copy for 5th World Water Forum*.
- Organization, W. M. (s.d.). *Weather Information for Kolkata*. Obtido em 13 de July de 2015, de <http://worldweather.wmo.int/066/c00225.htm>
- Pernambuco, G. d.-U. (2014). *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa*. Brasil.

Project, C. (2014). *Supporting consolidation, replication and up-scaling of sustainable wastewater treatment and reuse technologies for India*. Annex 1 - Descriptio Work, Seventh Framework Programme , Seventh Framework Programme - SARASWATI, EU.

Proposal, I. (2015). *Innovative Eco-Technologies for Resource Recovery from Wastewater (INCOVER)*. E.U.

Psomopoulos, C. B. (2009). *Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA*. USA: Waste Management 29.

Ramboll. (2006). Waste-to-energy in Denmark. RenoSam. Compenhagen V. *Dinamarca: PE Offset* .

Rowse, L. E. (2011). *Design of small scale anaerobic digesters for application in rural developing countries*. Graduate School Theses and Dissertations. Graduate School Theses and Dissertations.

S., B. E. (2010). Estimating the value of improved wastewater treatment: The case of River Ganga, India,. *Journal of Environmental Management* 91 , 2163-2171.

Silveira, G. d. (2009). *ESTUDO DE CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE LAMAS DOMÉSTICAS COM O EFLUENTE DA INDÚSTRIA DA FERMENTAÇÃO DA LEVEDURA DO PÃO DA EMPRESA MAURI FERMENTOS*, pp. 41 .

Simbiente. (2016). *alternativas_tecnologicas_locacionais*. Portugal.

Simbiente, L. (2014). *Saraswati Feasibility Study - Portable Biogas Digester (Pilot 6)*.

Sólidos, G. d. (2014). *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco: Europa.

SRA, W. (2010). *Strategic Research Agenda (SRA, 2010) of Water Supply and Sanitation Technology Platform (WssTP)*.

Sustainable Sanitation and water management, SSWM. (2014). Obtido em 30 de Novembro de 2016, de Gestão Integrada de Recursos Hídricos: <http://www.sswm.info/category/step-gisa/conteúdos/conteúdos/módulo-1-conceitos-de-gestão-integrada-e-sustentável-de-águ-2>

Themelis, N. (July-August de 2003-2004). An Overview of the Global WTE INDUSTRY. *Waste Management World* , pp. 40-47.

Tommy Karlsson, et al (2014). *Manual Básico de Biogás*. UNIVATES.

UFP, G. . (2014). *Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de RSU no Brasil, Europa*. (G. d. Sólidos, Ed.) Pernambuco, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco.

V. Rajaram, J. R. (2012). *Integrated water management for rural/urban India*. Obtido em 1 de Junho de 2016, de Indian Water Portal : <http://www.indiawaterportal.org/articles>

Voß F., F. M. (2009). *Future changes in water stress in India driven by socio-economic and climatic changes*. University of Kassel, Center for Environmental Systems Research (CESR). Germany: University of Kassel.

Ward, A. H. (2008). *Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources*.

Wayne Trusty, P. (2010). *An Overview of Life Cycle Assessments: Part One of Three*. Retrieved Outubro 20, 2016, from Building Safety Journal online.

Y. Santos, S. O. (2014). *Waste to Energy: Uma Alternativa Viável para o Brasil?* São Paulo, Brasil: Promon Intelligens.

Zafar, S. (Setembro de 2008). *AENews*. Obtido em Junho de 2016, de Alternative energy news, and information about renewable energy technologies.: <http://www.alternative-energy-news.info/negative-impacts-waste-to-energy/>

Anexos

A. Estudo de viabilidade – SARASWATI

Dimensionamento

Parametros	Valor	Unidades
HRT (tempo de retenção)	25	d
Volume total, V_t	1.5	m^3
k, constant	0.75	#

*k, é uma constante usada para criar volume livre suficiente dentro do digestor

Volume efetivo, V_e

$$V_e = V_t * k$$

$$V_e = 1,5 * 0,75$$

$$V_e = 1,125 m^3$$

Alimentação diária, F

$$F = \frac{V_e}{HRT}$$

$$F = \frac{1.125}{25}$$

$$F = 0.045 m^3$$

$$F = 45 L$$

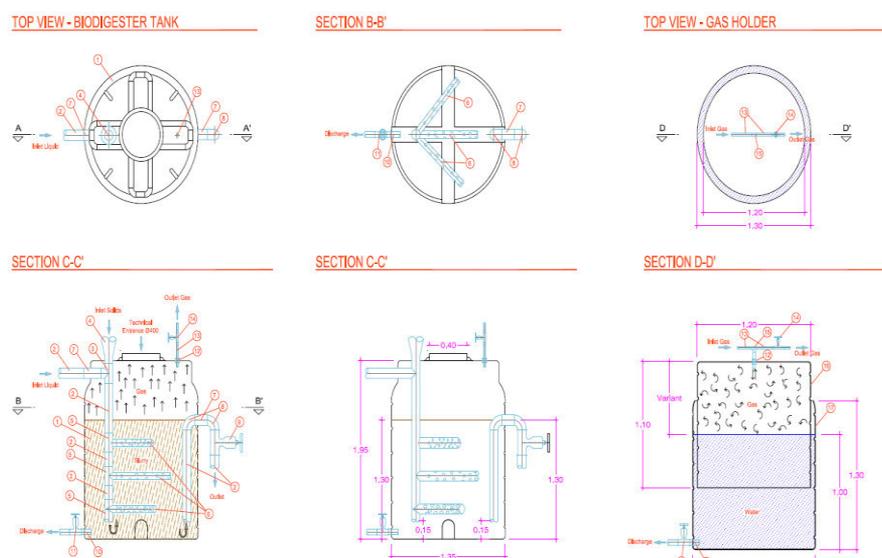


Figura 45. Projeto de engenharia detalhado do digestor de lamas móvel anaeróbio.

Disponibilidade de matéria-prima na produção de biogás

Águas residuais diária disponível:

a) Quantidade de TS e VS por dia

$$TS_{HH.day} = (W_{BW} * \%TS_{BW})$$

BW - blackwater

$$TS_{HH.day} = (W_u * \%TS_u) * (W_f * \%TS_f)$$

$$TS_{HH.day} = (2,4 * 0,02) * (1,6 * 0,12)$$

$$TS_{HH.day} = 0,0092 \text{ kg/d}$$

$$VS_{HH.day} = TS_{HH.day} * \%VS$$

$$VS_{HH.day} = 0,0092 * 0,85$$

$$VS_{HH.day} = 0,008 \text{ kg/d}$$

Paramêtros	Valor	Unidades
Pessoas por agregado (HH)	4	cap
Fezes (f)		
Caudal mássico de fezes por pessoa por dia (massa húmida) (Wf)	0.4	kg/cap/d
Caudal mássico de fezes por agregado por dia (massa húmida)	1.6	kg/HH/d
Massa seca	12	% TS
Urina (u)		
Caudal mássico de urina por pessoa por dia (massa húmida)	1.2	kg/d
Caudal mássico de urina por agregado por dia (massa húmida) (Wu)	2.4	kg/d
Massa seca	2	% TS
Urina + Fezes		
Caudal mássico total por agregado por dia	4	kg/d
Sólidos voláteis	85	% TS
CQOtot (gCQO/gTS)	0.735	%
CQOtotal por agregado doméstico por dia	0.285	kg/d

Alimentação Diária Disponível

Parametros	Valor	Referência
Caudal mássico de resíduos de alimentos (FW) <i>per capita</i> por dia ($W_{FW/cap}$)	0.25	kg/d
Caudal mássico de resíduos de alimentos por agregado por dia ($W_{FW/HH}$)	1	kg/d
%TS	40	%
% VS	90	% TS
TN (Azoto Total)	1.12	g/kg
C/N (relação carbono azoto)	14:1	#
Produção de Biogás	0.72	m ³ /kg VS

b) Quantidade de TS e VS por dia

$$TS_{cap.day} = W_{FW/cap} * \%TS_{FW}$$

$$TS_{cap.day} = 0,25 * 0,4$$

$$TS_{cap.day} = 0,1 \text{ kg/d}$$

$$TS_{HH.day} = 0,4 \text{ kg/d}$$

$$VS_{cap.day} = TS_{cap.day} * \% VS$$

$$VS_{cap.day} = 0,100 * 96 \%$$

$$VS_{cap.day} = 0,096 \text{ kg/d}$$

$$VS_{HH.day} = 0,384 \text{ kg/d}$$

c) Produção de Biogás (BG) por dia (calculado pela quantidade de sólidos voláteis)

$$BG = BGy * VS_{cap.day}$$

$$BG = 0,72 * 0,384$$

$$BG = 0,276 \text{ m}^3 \text{ per HH}$$

Matérias-primas domésticas diárias disponíveis

Parâmetros	Valor	Referência
Pessoas por agregado	4	Cap
Caudal mássico total de <i>blackwater</i> por <i>HH</i> por dia	4	kg/d
Sólidos totais de <i>blackwater</i> por dia	0.24	kg/d
Caudal mássico total de resíduos alimentar por agregado doméstico por dia ($W_{FW/HH}$)	1	kg/d
Total de sólidos de RA por dia por agregado doméstico	0.40	kg/d
Sólidos totais de matéria-prima do agregado doméstico por dia	0.64	kg/d
Razão mássica de <i>CQO</i> nos sólidos totais (TS) - (COD_{TS})	1.1	mO_2/mTS

- d) Quantidade de *CQO* total alimentado no digestor por agregado familiar (*blackwater* + resíduos alimentares)

$$COD_{total} = COD_{TS} * TS$$

$$COD_{total} = 1,1 * 0,64$$

$$COD_{total} = 0,704 \text{ kg/d}$$

A produção diária de biogás doméstico

Parametro	Valor	Unidades
Pessoas por agregado	4	cap
Razão mássica de <i>CQO</i> no <i>TS</i>	1.1	mO_2/mTS
$CQO_{removido}$ ($COD_{removed}$)	87	%
Caudal mássico total por agregado familiar (CQO_{fed})	0.704	Kg/d
Produção de metano por kg $CQO_{removido}$	350	$L CH_4/ kg CQO_{remov}$
Conteúdo de metano do biogás	65	%

e) Quantidade de CQO convertido em biogás

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{remov}} &= \text{COD}_{\text{total}} * \% \text{COD}_{\text{remov}} \\ \text{COD}_{\text{remov}} &= 0,704 * 0,87 \\ \text{COD}_{\text{remov}} &= 0,612 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

f) Quantidade de metano produzido

$$\begin{aligned} \text{CH4}_{\text{prod}} &= \frac{(\text{CH4}_{\text{CODremov}} * \text{COD}_{\text{remov}})}{1 \text{ kg COD}_{\text{removido}}} \\ \text{CH4}_{\text{prod}} &= \frac{(350 \text{ L} * 0.612 \text{ kg})}{1 \text{ kg}} \\ \text{CH4}_{\text{prod}} &= \frac{(350 \text{ L} * 0.612 \text{ kg})}{1 \text{ kg}} \\ \text{CH4}_{\text{prod}} &= 214.2 \text{ L/d} \end{aligned}$$

g) Quantidade de biogás produzido

Assumindo que o biogás tem 65 % de teor de metano, a quantidade de biogás necessários por dia foi calculada como se segue.

$$\begin{aligned} \text{Biogas}_{\text{prod}} &= \frac{\text{CH4}_{\text{prod}}}{\% \text{CH4}_{\text{biogas}}} \\ \text{Biogas}_{\text{prod}} &= \frac{214.2 \text{ L}}{0.65} \\ \text{Biogas}_{\text{prod}} &= 329.53 \text{ L} \end{aligned}$$

Utilização de Biogás - refrigeração por absorção - Alternativa 1

Biogás diário necessário para refrigeração

Parametros	Valor	Unidades
Consumo de gás (LPG)	250	g/d
Poder calorífico (LPG)	46,607	MJ/kg
% de metano no biogás	65	%
Valor de aquecimento	35,8	MJ/m ³

h) Quantidade de consumo de energia (GPL) por dia

Energy consumption per day = Calorific value (LPG) * LPG consumption

$$\text{Energy consumption per day} = 46,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * \left(\frac{250}{1000} \right) \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Energy consumption per day} = 11,65 \frac{\text{MJ}}{\text{d}}$$

i) Energia disponível (biogás)

Energy available = Quantity of methane * Heating value of methane

$$\text{Energy available} = 0,65 * 35,8$$

$$\text{Energy available} = 23,27 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

j) Caudal de biogás necessário por dia

$$BG_{\text{req}} = \frac{\text{Energy consumption/d}}{\text{Energy available}}$$

$$BG_{\text{req}} = \frac{11,65}{23,27}$$

$$BG_{\text{req}} = 0,50 \text{m}^3$$

Com um fator de 1,5 a segurança assumiu-se que um refrigerador de absorção precisa de 0,75 m³ por dia de biogás.

Caudal máximo de matéria-prima por dia no digestor

Parametro	Valor	Unidades
Volume digestor, V	1.5	m ³
Volume efetivo, Ve	1.125	m ³
HRT	25	d
% TS matéria-prima misturada	11.5	%

k) Alimentação diária máxima

$$\text{Max. daily fed} = \frac{Ve}{\text{HRT}}$$
$$\text{Max. daily fed} = \frac{1,125}{25}$$
$$\text{Max. daily fed} = 45 \text{ L/d}$$

l) Alimentação máxima TS diária

$$\text{Max. daily TS} = \text{Max. daily fed} * \% \text{ TS}$$
$$\text{Max. daily TS} = 45 * 0,115$$
$$\text{Max. daily TS} = 5,175 \text{ L/d}$$
$$\text{Max. daily TS} = 5,175 \text{ kg/d}$$

Utilização de Biogás - Cookstove - Alternativa 2

Cálculo da exigência de biogás (BG) para cozinhar

Os cálculos foram feitos por três opções de culinária:

- a. 1 Litro de água;
- b. ½ kg de arroz;
- c. ½ kg leguminosas.

Cálculo feito para 1 litro de água é dado a seguir:

Parametros	Valor	Unidades
$c_p \text{ H}_2\text{O}$	4.187	kJ/kgK
Temperatura (início do processo) (T)	25	°C
H ₂ O necessário por pessoa por dia (m)	1	Kg (1 liter)
Pessoas por agregado	4	#
Energia disponível (biogás)	23.27	MJ/m ³
Eficiência BG fogão (η_{BG})	15	%

m) Quantidade de calor necessária por pessoa (1 litro de água)

$$Q_{cap} = m * c_p * dT$$

$$Q_{cap} = 1 * 4,187 * 75$$

$$Q_{cap} = 314,025 \frac{kJ}{kg}$$

n) Quantidade de energia necessária por agregado doméstico (HH), 4 litros de água

$$Q_{HH} = Q_{cap} * Persons \ per \ HH$$

$$Q_{HH} = 314,025 * 4$$

$$Q_{HH} = 1256,1 \frac{kJ}{d}$$

$$Q_{HH} = 1,256 \frac{MJ}{d}$$

o) Quantidade de energia utilizável /m³ BG (4 litros de água)

$$Usable \ energy = Energy \ available \ (biogas) * \eta_{BG}$$

$$Usable \ energy = 23,27 * 0,15$$

$$Usable \ energy = 3,49 \frac{MJ}{m^3}$$

p) Exigência de biogás por agregado familiar (4 litros de água)

$$BG_{req} = \frac{Q_{HH}}{Usable \ energy}$$

$$BG_{req} = \frac{1,256 \ m^3}{3,49 \ d}$$

$$BG_{req} = 0,36 \frac{m^3}{d}$$

Para um requisito mínimo de biogás para cozinhar assumiu-se um fator de 1 segurança.

B. Resumo Técnico – URE Caju

Resumo dos dados técnicos básicos	
Capacidade de tratamento de RSU	1 300 t/d (RSU+Resíduo Comercial e Industrial Classe II + Resíduo de Serviço de Saúde)
Número de trens de tratamento	2
Capacidade por trem	650 t/d
Poder calorífico inferior de projeto (PCI)	6 à 12 MJ/kg
Capacidade térmica estimada	2 x 60 MWth

Sistema de Combustão	
Tipo de Grelha	SG (Shearing Gate) RSG (Reciprocating Shearing Gate) Roliing
Refrigeração da Grelha	Refrigerada a Ar
Combustível Auxiliar	Biometano

Sistema Gerador de Vapor (Caldeira)	
Geração de vapor estimada	2 x 70,5 t/h (PCI 8MJ/kg)
Pressão do vapor	65 bar
Temperatura do vapor	420 °C

Sistema de Tratamento dos Gases da Combustão	
Concepção	Sistema DeNOx - SNCR (Selected Noncatalytic Control Reduction) + Sistema semi-seco
Vazão dos gases tratados para atmosfera	2 x 122,00 Nm ³ /h
Temperatura dos emitidos pela chaminé	150 °C

Material Consumível para o processo		OBS
Amoníaco aquoso 25 % (ONU 2672)	3,6 t/d	Número ONU 2672, Classe 8 (Corrosivo)
Hidróxido de cálcio (cal hidratada - ONU 1759)	10,7 t/d	Número ONU 1759, Classe 8 (Corrosivo)
Carvão ativado (ONU -1362)	0,27 t/d	Número ONU 1362, Classe 4.2 (Sólido Inflamável)
Água	200 t/d	
Energia Elétrica - consumo da planta	2.000 MWh/mês	

Geração de Energia Elétrica	
Tipo de Turbina	Turbina de condensação com extração controlada
Energia elétrica para a rede de distribuição	$28,0 < MW_{el} \text{ (para a rede)} \leq 30,0$

Consumo de água	
Processo	160 m ³ /d (pode ser água de reuso)
Sanitário e manutenção	40 m ³ /d
Total	200 m ³ /d

Geração de Resíduos		Tratamento
Chorume	O chorume gerado na instalação através de sua vaporização na câmara de combustão	
Água Residual para ETE Alegria CEDAE	40 m³/d	ETE Alegria
Resíduos Sólidos tipo RSU classe IIA	O RSU da instalação incinerado no próprio local	CTR WTE Caju
Resíduos Sólidos classe I – manutenção	1 t/d	Co-processamento
Cinzas classe IIB (de fundo)	328,9 t/d	Aterro sanitário ou agregado de concreto
Cinzas classe I (tratamento dos gases)	65 t/d	Aterro classe I
Sucata metálica	27,3 t/d	Reciclagem siderúrgica