



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro

---

Escola Politécnica

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DOS  
RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO CENTRAL  
DA UFRJ**

Raquel Piedade Moura

Projeto de Graduação apresentado ao  
Curso de Engenharia Ambiental da  
Escola Politécnica, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro, como parte dos  
requisitos necessários à obtenção do  
título de Engenheiro.

Orientador: Diego Luiz Fonseca

Coorientadora: Ana Carolina Maia Angelo

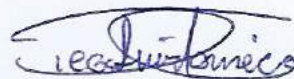
Rio de Janeiro  
Agosto de 2017

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DOS  
RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO CENTRAL DA  
UFRJ

Raquel Piedade Moura

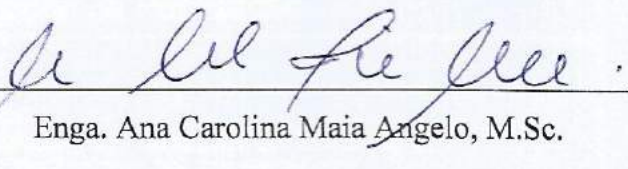
PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO  
DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:



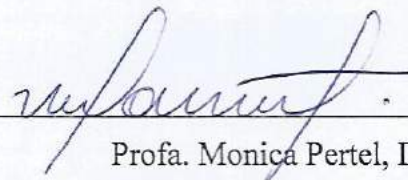
---

Prof. Diego Luiz Fonseca, M.Sc.



---

Enga. Ana Carolina Maia Angelo, M.Sc.



---

Prof. Monica Pertel, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 2017

## CIP - Catalogação na Publicação

M929a Moura, Raquel Piedade  
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A  
PARTIR DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE  
UNIVERSITÁRIO CENTRAL DA UFRJ / Raquel Piedade  
Moura. -- Rio de Janeiro, 2017.  
73 f.

Orientador: Diego Luiz Fonseca.  
Coorientadora: Ana Carolina Maia Angelo.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola  
Politécnica, Bacharel em Engenharia Ambiental,  
2017.

1. Potencial de geração de energia. 2.  
Restaurante Universitário. 3. Resíduos orgânicos. 4.  
Biodigestão. 5. Biogás. I. Fonseca, Diego Luiz,  
orient. II. Angelo, Ana Carolina Maia, coorient.  
III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

*“Não se desespere nem se apavore, não  
Um dia o prêmio vem, mesmo que demore  
E é verdade que eu quase cansei  
Mas eu desisti de desistir”.*

*(Gutti Mendonça, Federico Devitto e João Cortês)*

*Dedico este trabalho a minha mãe – minha maior inspiração.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por tudo na minha vida. Todo o caminho trilhado, todas as decepções e conquistas foram importantes para me fazer uma pessoa mais forte e humana.

Gostaria de ofertar minha imensa gratidão ao meu avô João Baptista Piedade, um homem sábio e muito responsável, que se foi quando eu ainda era uma criança, mas no pouco tempo de convivência me presenteou com muito amor, carinho e sabedoria, sendo um grande incentivador dos meus estudos.

À minha avó Maria do Carmo de Souza Piedade, mais conhecida como Carminha, uma perda recente ainda muito dolorosa que só o tempo conseguirá curar.

Aos meus pais pelo dom da vida, Leonilo (in memoriam) e Maria de Fatima, mas principalmente à minha mãe que está presente em todos os momentos da minha vida, me dedicando seu amor incondicional. Minha inspiração, meu exemplo de ser humano bondoso, justo, altruísta e batalhador. Não existem palavras que possam expressar a profunda gratidão e amor que eu tenho por você. Nunca conseguirei te recompensar por tudo isso.

À minha tia Rose, por todo o amor e carinho e ao Douglas, pelo companheirismo.

A toda a equipe do Sistema de Gestão Integrada da Decania do CT (SGI), agora QSMS, e dos Programas Ambientais do CT, local onde eu pensei que seria apenas um estágio, mas acabei encontrando uma família e fui carinhosamente acolhida, em uma sala repleta de pessoas queridas e dedicadas ao seu trabalho.

A todos da Biblioteca Central do CT pelo apoio nessa reta final, principalmente ao Francisco com sua imensa compreensão, e às amigas: Andrea, Carla, Christianne, Fabiana e Janaína.

Aos amigos de curso, pela parceria durante todo esse tempo. Espero, sinceramente, que a nossa amizade se fortaleça com o passar dos anos.

Por fim, um agradecimento especial aos meus orientadores que foram incansáveis em me ajudar na realização deste trabalho, e à Profa. Monica Pertel por aceitar participar da banca avaliadora.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DOS  
RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO CENTRAL  
DA UFRJ**

Raquel Piedade Moura

Agosto/2017

Orientador: Diego Luiz Fonseca

Coorientadora: Ana Carolina Maia Angelo

Curso: Engenharia Ambiental

A disposição direta da fração orgânica dos resíduos urbanos em aterros sanitários provoca diversos impactos ambientais, dentre eles a geração de gases de efeito estufa e a redução da vida útil dos aterros, além de cessar toda a perspectiva econômica atrelada ao aproveitamento desses resíduos. Tendo em vista também as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10) e a priorização da destinação ambientalmente adequada dos resíduos frente à sua disposição, nota-se a importância do aproveitamento dos resíduos orgânicos via digestão anaeróbia. O objetivo deste trabalho é a avaliação do potencial de geração de energia através da biodigestão dos resíduos orgânicos gerados no Restaurante Universitário Central da UFRJ, a fim de identificar a viabilidade técnica e econômica para implantação de uma planta de biogás no campus. Os resultados apresentaram uma geração de resíduos orgânicos em torno de 780 kg/dia, o que equivale a produção de 71,76 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/dia. A análise do tempo de retorno de investimento mostrou que, caso 20% do investimento inicial seja custeado pelo Fundo Verde, o tempo de retorno será de 3 anos, corroborando a viabilidade do projeto.

*Palavras-chave: Potencial energético; Resíduos Orgânicos; Biodigestão; Biogás; Restaurante Universitário.*

Abstract of Undergraduate Project presented to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Environment Engineer.

**ASSESSMENT OF THE ENERGY GENERATION POTENTIAL FROM THE  
ORGANIC WASTE OF THE CENTRAL UNIVERSITY RESTAURANT OF  
UFRJ**

Raquel Piedade Moura

August/2017

Advisor: Diego Luiz Fonseca

Co-Advisor: Ana Carolina Maia Angelo

Course: Environment Engineering

The direct disposal of the organic fraction of urban waste in landfills causes several environmental impacts, among them the generation of greenhouse gases and the reduction of the useful life of landfills, besides ceasing all economic perspective linked to the use of this waste. Considering also the guidelines established by the Brazilian National Solid Waste Policy and the prioritization of other environmentally appropriate destinations rather than its disposal, it is important to note the importance of the anaerobic digestion of organic waste. The objective of this research is the assessment of the potential of energy generation through the biodigestion of the food waste generated in the Central University Restaurant of UFRJ, in order to identify the technical and economic viability for the implantation of a biomethanation plant on campus. The results presented a generation of organic residues around 780 kg/day, equivalent to the production of 71,76 m<sup>3</sup> of CH<sub>4</sub>/day. The analysis of the investment return time showed that if 20% of the initial investment is funded by the Green Fund, the return time will be 3 years, corroborating the viability of the project.

*Keywords: Energy potencial; Food waste; Biomethanation; Biogas; University Restaurant.*



## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	4
1.2 OBJETIVO .....	5
1.2.1. GERAL .....	5
1.2.2. ESPECÍFICOS .....	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	7
2.2 RESÍDUO X REJEITO .....	9
2.3 INSTRUMENTOS E TECNOLOGIAS PARA A GESTÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS .....	11
2.3.1. A POLÍTICA DOS 5 R'S .....	11
2.3.2. COMPOSTAGEM .....	13
2.3.3. BIODIGESTÃO OU DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	16
2.3.4. BIODIGESTOR .....	17
2.3.5. PARÂMETROS PARA A ESCOLHA DE UM BIODIGESTOR .....	21
2.3.6. BIOGÁS .....	23
2.3.7. INICIATIVAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA EM UNIVERSIDADES .....	24
2.3.8. A GESTÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS NA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFRJ .....	29
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
3.1 ESCOLHA DOS RESÍDUOS .....	31
3.2 ÁREA DE ESTUDO .....	32
3.3 ROTINA NO RU CENTRAL DA UFRJ .....	35
3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	37
3.4.1. DIFICULDADES ENFRENTADAS DURANTE O PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS .....	43
3.5 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ALIMENTAR .....	44
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
4.1 INVENTÁRIO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS .....	46
4.2 RELAÇÕES ESTABELECIDAS PARA O RU CENTRAL ATRAVÉS DA ANÁLISE DOS DADOS .....	49
4.3 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE METANO GERADO NA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RU .....	51

4.3.1. ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE GÁS METANO PRODUZIDA A PARTIR DO TEOR DE DEGRADABILIDADE DO SUBSTRATO AFLUENTE .....	51
4.3.2. ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO GÁS METANO PRODUZIDO .....	51
4.4 ESCOLHA DO BIODIGESTOR .....	52
4.5 APROVEITAMENTO DO BIOGÁS GERADO COMO GÁS DE COZINHA NO RU CENTRAL .....	54
4.5.1 CONSUMO DE GÁS NO RU CENTRAL .....	54
4.5.2 ECONOMIA DE GÁS PROPORCIONADA PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS .....	56
4.6 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS .....	57
4.6.1 ANÁLISE AMBIENTAL .....	57
4.6.2 ANÁLISE ECONÔMICA .....	59
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hierarquia de Prioridade na Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Brasil .....	10
Figura 2: Esquema demonstrativo do ciclo da matéria orgânica.....	14
Figura 3: Hierarquia de Gerenciamento dos Resíduos .....	15
Figura 4: Esquema simplificado do processo de digestão anaeróbia .....	16
Figura 5: Etapas do processo de biodigestão.....	17
Figura 6: Exigências e benefícios da biodigestão.....	19
Figura 7: Planta de Biodigestão da Universidade de Cranfield.....	25
Figura 8: Plataforma pMethar da UFMG .....	29
Figura 9: Iniciativas de compostagem da Cidade Universitária .....	30
Figura 10: Localização dos RUs da Cidade Universitária.....	32
Figura 11: RU Central da UFRJ .....	33
Figura 12: Planejamento das refeições .....	35
Figura 13: Processo de trabalho no RU .....	36
Figura 14: Caracterização gravimétrica dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da UFRJ.....	44
Figura 15: Desperdício na produção de refeições para cada RU.....	49
Figura 16: Reator de metanização com tecnologia baseada em processo seco descontínuo - Tipo "garagem" .....	53
Figura 17: Número de refeições servidas (almoço e jantar) ao longo do tempo.....	54
Figura 18: Consumo de gás do período de março de 2015 a maio de 2017 .....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.....	9
Quadro 2: Comparação entre as duas tecnologias .....	20
Quadro 3: Informações sobre os RUs.....	34
Quadro 4: Cardápio da Cidade Universitária de 29 de maio a 04 de junho .....	39
Quadro 5: Cardápio IFCS e Praia Vermelha de 29 de maio a 04 de junho .....	40
Quadro 6: Cardápio da Cidade Universitária de 05 de junho a 09 de junho .....	41
Quadro 7: Cardápio IFCS e Praia Vermelha de 05 de junho a 09 de junho .....	42
Quadro 8: Composição de SV característica dos resíduos alimentares.....	51
Quadro 9: Dados comuns a todos os cenários propostos .....	61
Quadro 10: Resumo dos resultados para cada cenário .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição média da produção de biogás.....	24
Tabela 2: Caracterização química dos resíduos orgânicos do restaurante universitário	45
Tabela 3: Geração de resíduo alimentar no preparo do jantar no RU Central/UFRJ (29/05/2017 a 09/06/2017) .....	48
Tabela 4: Estimativa da geração de resíduos (kg/dia) .....	49
Tabela 5: Relações extraídas através da análise dos dados .....	50
Tabela 6: Comparativo da geração total de resíduos orgânicos em restaurantes universitários .....	50

## GLOSSÁRIO

A3P – Agenda Ambiental na Administração Pública

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FORSU – Fração Orgânica

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RU – Restaurante Universitário

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica

UE - União Europeia

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

## **1. INTRODUÇÃO**

Devido ao crescimento populacional e às atividades antropogênicas, o tratamento e a disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) têm sido um grande desafio para maioria dos municípios brasileiros. O gerenciamento incorreto dos resíduos sólidos urbanos faz com que os aterros sanitários trabalhem no limite da capacidade para absorver a elevada taxa de geração de resíduos, provocando diversos impactos ambientais como a poluição e a emissão de gases do efeito estufa, e a drástica diminuição do tempo de vida útil dessas estruturas (FERREIRA, 2015).

A preocupação ambiental vem sendo discutida no cenário internacional desde a realização da Conferência de Estocolmo em 1972, ganhando maior destaque na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO 92), onde a proposta da sustentabilidade foi estabelecida como principal diretriz para o desenvolvimento adequado dos países, através da aprovação da Agenda 21. Diante disto, surgiram iniciativas com o intuito de incentivar e promover a responsabilidade socioambiental na Administração Pública como uma forma de exemplo para os demais setores. O programa Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), criado pelo Ministério do Meio Ambiente em 1999, incentiva o engajamento voluntário dos gestores públicos com o objetivo de estimular a responsabilidade socioambiental por meio de boas práticas, como o uso eficiente da água e da energia, a coleta seletiva, o consumo responsável de produtos e serviços, a promoção da sensibilização, capacitação e qualidade de vida no ambiente de trabalho, visando minimizar os impactos sociais e ambientais.

As diretrizes da A3P são baseadas nas recomendações do Capítulo IV da Agenda 21, que propõe o “estabelecimento de programas voltados ao exame dos padrões insustentáveis de produção e consumo e o desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais de estímulo a mudanças nos padrões insustentáveis de consumo”; no Princípio 8 da Declaração da Rio/92,

que afirma que “os Estados devem reduzir e eliminar padrões insustentáveis de produção e consumo e promover políticas demográficas adequadas”; e, ainda, na Declaração de Joanesburgo, que institui a “adoção do consumo sustentável como princípio basilar do desenvolvimento sustentável” (MMA, 2009).

Em 2010, foi promulgada a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, instituída pela Lei 12.305 (BRASIL, 2010). Esta lei estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos, abordando os conceitos de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, deixando claro que a destinação correta dos resíduos é de responsabilidade de todos. Dentro deste aspecto, nota-se a relevância da disseminação da educação ambiental na sociedade, permitindo que o indivíduo apure sua percepção sobre o meio ambiente e adote práticas como a reutilização, coleta seletiva, reciclagem, compostagem, entre outras ações.

Com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, surgiu a obrigatoriedade de se buscar alternativas sustentáveis para a disposição e o tratamento dos RSU gerados no Brasil. Como os resíduos sólidos brasileiros apresentam elevada fração de orgânicos (51,4%), recomenda-se a adoção de tecnologias biológicas para o tratamento dessa tipologia de resíduos (ABRELPE, 2013). Dentre elas, coloca-se a degradação anaeróbia por meio de biodigestores, conforme é feito em muitos países da União Europeia (UE), que têm empregado com sucesso as tecnologias modernas de tratamento de biomassa (FERREIRA, 2015). Esse tipo de tecnologia é de suma importância, pois além de proporcionar o aumento da vida útil dos aterros, à medida que se evita o encaminhamento dos resíduos orgânicos para esses locais, também previne a ocorrência da decomposição anaeróbia da matéria orgânica de forma descontrolada como consequência da disposição de resíduos orgânicos em vazadouros a céu aberto e em aterros desprovidos de sistema de drenagem e coleta de biogás. Sendo assim inúmeros impactos ambientais podem ser evitados, dentre eles, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de odores, provocados por gases liberados pelo metabolismo dos

microrganismos anaeróbios; a contaminação de águas superficiais e subterrâneas causada pelo lixiviado, líquido resultante da decomposição anaeróbia (chorume), com alta carga poluidora; a elevada demanda por área para disposição dos resíduos; os problemas sociais e de saúde pública (FERREIRA, 2015). Por isso, a gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos é imprescindível para a minimização da degradação ambiental e melhoria das condições sanitárias e da qualidade de vida nas cidades.

Além disso, a biodigestão propicia a geração de energia através do biogás (gás com elevado potencial calorífico) e a produção de biofertilizantes. Caso medidas como esta fossem adotadas em larga escala, isto ajudaria a ampliar a matriz energética brasileira, reduzir a importação de combustíveis fósseis e até mesmo comercializar créditos de carbono. Em virtude de tudo o que foi abordado, considera-se indispensável o tratamento dos resíduos orgânicos através da biodigestão, em função da simplicidade operacional, investimento e custos reduzidos e possibilidade de obtenção de receita a partir do biogás gerado. Dessa forma, os biodigestores podem ser considerados uma solução viável para pequenas cidades e grandes fontes geradoras de resíduos orgânicos, tais como restaurantes populares, feiras livres, supermercados e centrais de abastecimento de alimentos.

Neste sentido, o presente trabalho, baseado nas diretrizes da PNRS, pretende avaliar o potencial de geração de energia proveniente da degradação anaeróbia dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário (RU) Central da Cidade Universitária da UFRJ. Tal tratamento pode resultar não só em aproveitamento energético, como na produção de biofertilizantes que poderão ser utilizados na manutenção das áreas verdes do campus.

## **1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA**

Diante da PNRS, o gerenciamento dos resíduos sólidos torna-se um tema cada vez mais relevante. São instrumentos da PNRS a pesquisa científica e tecnológica e a educação ambiental, portanto nota-se a importância de realizar estudos que viabilizem uma visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, garantindo a redução dos impactos ambientais, o bem-estar social e o desenvolvimento sustentável.

No caminho rumo à sustentabilidade, as universidades desempenham um papel importante, seja no campo econômico, tecnológico ou social, já que são responsáveis pela formação de profissionais de diversas áreas do conhecimento, devendo cumprir de modo consciente as políticas públicas e servir de exemplo ao exercer boas práticas em suas atividades. Como tais unidades são grandes consumidoras de bens e serviços e grandes fontes geradoras de resíduos sólidos, devem mover esforços para se adequarem às exigências da legislação vigente. Tendo em vista, a dimensão significativa das universidades e levando em consideração que os resíduos orgânicos, no país, representam 51,4% dos resíduos sólidos gerados (IPEA,2012; ABRELPE, 2013), percebe-se que esta tipologia de resíduo merece um olhar mais sensível.

A UFRJ, especificamente, em seu Plano de Desenvolvimento da Cidade Universitária - PDCIDUNI 2020 (UFRJ, 2009), tem como princípios a Responsabilidade Ambiental e Energética, assegurando a economia e eficiências energéticas, assim como a recuperação, reciclagem, gestão e destinação adequada de resíduos sólidos. Já que o Restaurante Universitário Central da UFRJ é responsável pela produção de cerca de 10 mil refeições diariamente, o estabelecimento é, conseqüentemente, o maior responsável pela geração de resíduos orgânicos da Cidade Universitária.

Essas informações justificam a escolha da gestão dos resíduos orgânicos do RU Central da UFRJ, através da estimativa do potencial energético a partir da biodigestão, como cerne deste trabalho.



## **1.2 OBJETIVO**

### *1.2.1. GERAL*

Quantificar o potencial de geração de energia dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário Central da UFRJ, a partir do biogás que pode ser produzido com a biodigestão desses resíduos, em vez da disposição em aterro sanitário.

### *1.2.2. ESPECÍFICOS*

1. Levantamento da geração de resíduos orgânicos do RU Central do campus Cidade Universitária;
2. Estimativa do potencial de geração de biogás desses resíduos;
3. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica proveniente do biogás;
4. Estimativa do potencial de geração de gás de cozinha;
5. Estimativa dos custos envolvidos na instalação de uma planta de digestão anaeróbica no campus;
6. Comparação dos custos envolvidos no cenário atual e no cenário com a biodigestão, verificando a viabilidade econômico-ambiental desse novo cenário para o gerenciamento dos resíduos orgânicos do RU.

## **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho é composto por 5 capítulos que apresentam as seguintes abordagens:

- Capítulo 1: Encontra-se a introdução, onde a discussão se inicia com a problemática sobre o desafio da gestão dos resíduos sólidos urbanos. Posteriormente, tem-se a apresentação do tema, ou seja, a biodigestão dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário (RU) Central da UFRJ, seguida pela justificativa e objetivos propostos.

- Capítulo 2: Referente à revisão da literatura. Apresenta o embasamento teórico dos principais conceitos abordados no trabalho.
- Capítulo 3: Apresenta a metodologia empregada para a realização das análises, além de descrever a escolha dos resíduos e detalhar a área de estudo e a rotina do empreendimento.
- Capítulo 4: Referente aos resultados e sua interpretação. Portanto, apresenta o inventário dos resíduos orgânicos gerados no RU Central, incluindo a estimativa da produção de metano a partir da digestão anaeróbia, seu potencial energético e a economia na conta de gás natural do RU, caso esse gás fosse utilizado como gás de cozinha para o preparo das refeições, tratando também sobre qual tipo de biodigestor seria o mais indicado. O capítulo termina com as análises ambiental e econômica. Na análise ambiental, fala-se a respeito dos benefícios advindos com a digestão anaeróbia e dos impactos ambientais evitados. Na análise econômica, calcula-se o tempo de retorno do investimento, explicando as premissas utilizadas para os três cenários propostos.
- Capítulo 5: Considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.
- Referências Bibliográficas.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

A PNRS define resíduo sólido como (BRASIL, 2010):

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

O Art. 13 da PNRS classifica os resíduos sólidos quanto à origem e quanto à periculosidade.

Na classificação quanto à origem, os resíduos sólidos urbanos (RSU) englobam os resíduos domiciliares, aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas, e os resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana. Além disso, de acordo com o Art. 6º da Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), resíduo sólido urbano (RSU) consiste também no “lixo originário de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano”.

A composição do RSU varia de acordo com o tamanho da população, situação socioeconômica e dos hábitos de vida de cada um. Dessa forma, o gerenciamento dos RSU é um desafio tanto na questão da quantidade como na diversidade dos materiais, podendo inclusive abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas ao cotidiano.

Quanto à periculosidade, os resíduos são divididos em perigosos e não perigosos, e esta classificação é complementada pela Norma ABNT 10.004:2004.

A Norma NBR 10.004:2004 define resíduos sólidos como (ABNT, 2004):

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Esta mesma norma classifica os resíduos sólidos de acordo com a sua periculosidade, dividindo-os em:

resíduos classe I - Perigosos;

resíduos classe II – Não perigosos;

– resíduos classe II A – Não inertes.

– resíduos classe II B – Inertes.

No Brasil, a composição dos RSU é predominantemente de origem orgânica, porém boa parte desta parcela de resíduo não recebe nenhum tipo de tratamento específico, sendo encaminhada diretamente para os aterros sanitários, reduzindo a vida útil destes locais. O resíduo orgânico é aquele que tem origem animal ou vegetal, ou seja, é composto por matéria orgânica. Tal resíduo, quanto às características físicas é classificado como úmido, sendo, na maioria dos casos, facilmente degradável. Enquadram-se nos resíduos orgânicos restos de comida, cascas e bagaços de frutas e verduras e resíduos de poda e jardinagem (USP, 2009).

Os resíduos orgânicos, objeto deste estudo, são classificados, de acordo com o anexo H da NBR 10.004:2004, como não perigosos, desde que não misturados a resíduos perigosos (vide nota do Quadro 1), podendo ser enquadrados na classe dos não inertes devido à sua biodegradabilidade.

**Quadro 1: Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos**

Código de identificação	Descrição do resíduo	Código de identificação	Descrição do resíduo
A001	Resíduo de restaurante (restos de alimentos)	A009	Resíduo de madeira
A004	Sucata de metais ferrosos	A010	Resíduo de materiais têxteis
A005	Sucata de metais não ferrosos (latão etc.)	A011	Resíduos de minerais não-metálicos
A006	Resíduo de papel e papelão	A016	Areia de fundição
A007	Resíduos de plástico polimerizado	A024	Bagaço de cana
A008	Resíduos de borracha	A099	Outros resíduos não perigosos
NOTA Excluídos aqueles contaminados por substâncias constantes nos anexos C, D ou E e que apresentem características de periculosidade.			

Fonte: ABNT (2004)

O resíduo orgânico quando acumulado de forma inadequada fica exposto à intempérie e suscetível à ação de microrganismos. Sua degradação resulta em chorume e mau odor, atraindo animais vetores de doença e libera gases de efeito estufa como CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Sendo assim, pode-se dizer que a disposição incorreta dos resíduos orgânicos pode contribuir de forma significativa com o processo de mudanças climáticas, já que o gás metano (CH<sub>4</sub>) é produto da decomposição anaeróbia da matéria orgânica e seu potencial de aquecimento global é 28 vezes maior que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (IPCC, 2013).

## **2.2 RESÍDUO X REJEITO**

A PNRS define rejeito como: “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

Portanto, entende-se que o resíduo é um material passível de algum tipo de aproveitamento, enquanto o rejeito é o material que já foi utilizado até a sua capacidade máxima ou apresenta

soluções de tratamento técnica e economicamente inviáveis, não havendo mais nenhum tipo de serventia, devendo ser encaminhado à disposição final.

Dessa forma, deve ser respeitada a ordem de prioridade apresentada no Art. 9º da PNRS: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, como exemplificado na Figura 1.

Nessa ótica, apenas os rejeitos deveriam ser encaminhados para disposição final. Sendo assim os resíduos orgânicos, como o nome já diz, são passíveis de aproveitamento, devendo passar por um tratamento adequado, o que ajudaria a reduzir consideravelmente o volume total de resíduos encaminhado aos aterros sanitários, otimizando a vida útil destes.



**Figura 1: Hierarquia de Prioridade na Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Brasil**

Fonte: ABRELPE (2013)

## 2.3 INSTRUMENTOS E TECNOLOGIAS PARA A GESTÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

### 2.3.1. A POLÍTICA DOS 5 R'S

Quando o objetivo é alcançar a sustentabilidade e, conseqüentemente, a economia dos recursos naturais, não se pode deixar de mencionar a importância da redução do consumo e do desperdício. Boa parte das organizações públicas e privadas não realiza um planejamento adequado de suas atividades, o que acarreta na geração excessiva de resíduos. Esses resíduos, se dispostos incorretamente, tornam-se passivos ambientais, resultando em poluição. Portanto, posteriormente é preciso buscar métodos de remediação para os impactos gerados o que implica na necessidade de tecnologias específicas para o tratamento de cada tipo de resíduo, elevando os custos do processo.

Assim, entende-se que é muito mais interessante analisar e planejar o sistema produtivo, a fim de evitar ao máximo a geração de resíduos do que investir em tecnologias de remediação. Por isso, diretrizes internacionais, como a Agenda 21, apontam a abordagem preventiva como a mais adequada, pautando-se no princípio de que é mais sustentável evitar a geração de resíduos do que tratá-los posteriormente.

Segundo o material sobre Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Administração Pública elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013), a Política dos 5R's leva em consideração todos esses aspectos e, dessa forma, os cinco R's seriam, em ordem de importância:

**Reduzir:** Buscar reduzir o consumo, repensando o uso de materiais e evitando a geração de lixo;

**Repensar:** Rever sobre seus hábitos e consumo e refletir como isso afeta o meio ambiente;

**Reaproveitar:** Prolongar a vida útil do material em sua função original ou adaptada;

**Reciclar:** Recuperar os resíduos, modificando-se suas características físico-químicas, visando produzir novos materiais. Como esta atividade gera custos, sua efetividade depende não só da composição do material, como também do interesse do mercado para o produto reciclado, que irá definir a viabilidade técnica e econômica do processo;

**Recusar:** Consumir produtos que gerem impactos socioambientais significativos.

Portanto, a Política dos 5R's tem como objetivo levar os cidadãos a uma mudança de hábitos por meio da educação ambiental, fazendo com que os indivíduos se conscientizem e adotem práticas mais sustentáveis. Percebe-se que a Política dos 5 R's está alinhada ao Art. 9º da PNRS: “Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

As vantagens dessas práticas estão na redução de:

- Extração de recursos naturais;
- Resíduos nos aterros e o aumento da sua vida útil;
- Gastos do poder público com o tratamento do lixo; e
- Uso de energia nas indústrias e intensificação da economia local (sucateiros, catadores, etc.).

Por fim, pode-se dizer que se deve sempre tentar reintegrar o produto à natureza, ou seja, transformá-lo novamente em um recurso natural, a exemplo disto tem-se a compostagem de resíduos orgânicos que produz húmus e adubo.



### 2.3.2. COMPOSTAGEM

De acordo com MONTEIRO *et al* (2001):

[...] Compostagem é o conjunto de técnicas aplicadas para controlar a decomposição de materiais orgânicos, com a finalidade de obter, no menor tempo possível, um material estável, rico em húmus e nutrientes minerais; com atributos físicos, químicos e biológicos superiores (sob o aspecto agronômico) àqueles encontrados na(s) matéria(s)-prima(s) [...].

A decomposição é um processo que ocorre naturalmente no ambiente sendo referido como a degradação de matéria orgânica. O termo compostagem diz respeito a esta decomposição, porém de forma controlada e associada com a intervenção humana. O homem, através da observação do que acontecia na natureza, aprendeu a desenvolver técnicas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos que atendessem rapidamente às suas necessidades. O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico e serve como insumo para a produção vegetal (ZUCCONI & BERTOLDI, 1987).

A compostagem, portanto, é uma atividade que proporciona o fechamento do ciclo da matéria de forma controlada. Assim, é possível reduzir os impactos causados pela disposição inadequada dos resíduos orgânicos, transformando-os em adubo e biofertilizantes para serem utilizados na produção de novos alimentos, conforme elucidada a Figura 2.



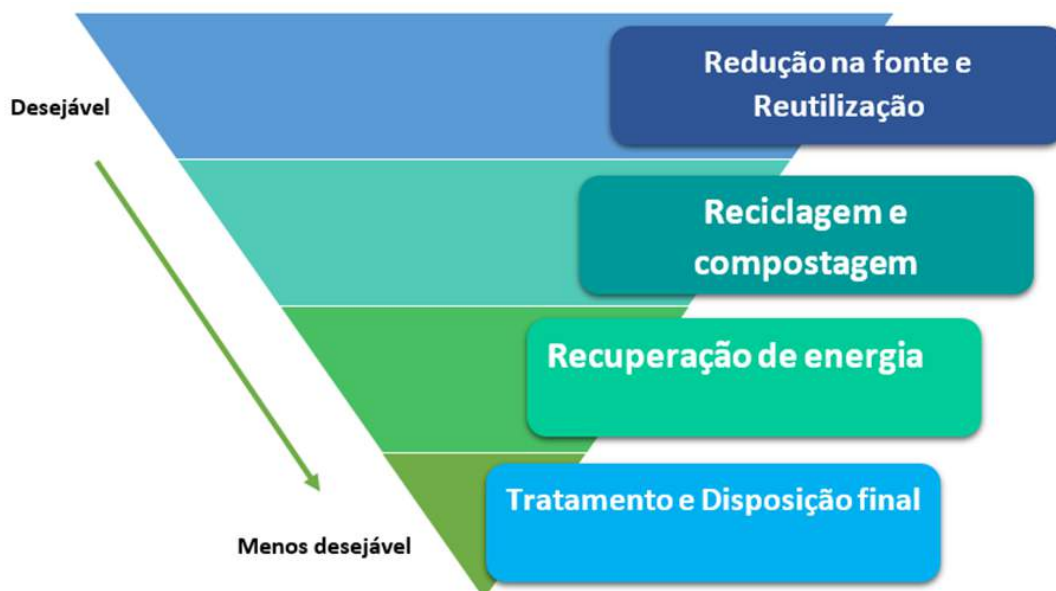
**Figura 2: Esquema demonstrativo do ciclo da matéria orgânica**

Fonte: CEI Espírito Santo (2014)

Em suma, a compostagem pode ser considerada uma prática sustentável, pois utiliza materiais considerados problemáticos para o meio ambiente e para a saúde humana como insumos para produzir um composto orgânico rico em nutrientes benéficos para o aumento do rendimento das culturas agrícolas e para a recuperação do solo. Com isso, ocorre a minimização dos rejeitos, maximização da reciclagem e conseqüentemente a minimização dos impactos e dos custos com transporte e disposição final dos resíduos orgânicos, os quais apresentam volume significativo (COOPER *et al*, 2010; SOTTI, 2014).

O Artigo 4º da Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (UNIÃO EUROPEIA, 2008) determina uma hierarquia composta por cinco opções de gerenciamento de resíduos na qual a mais desejável é a prevenção da geração do resíduo, a segunda alternativa mais aceitável é a da reutilização do resíduo, posteriormente tem-se a reciclagem, onde os resíduos passam por algum tipo de processo que os transformam em novos produtos de finalidade semelhante. Nesse aspecto, enquadram-se tanto a Digestão Anaeróbia quanto a Compostagem. Em seguida, tem-se a recuperação do resíduo visando o reaproveitamento energético e finalmente, quando não existe nenhum tipo de possibilidade ou viabilidade de

tratamento, tem-se a disposição final do resíduo em aterro sanitário. Tal hierarquia é apresentada na Figura 3, a seguir.



**Figura 3: Hierarquia de Gerenciamento dos Resíduos**

Fonte: Adaptado de União Europeia (2008)

A compostagem de resíduos orgânicos é um excelente caminho para a recuperação da matéria orgânica, porém para grandes fontes geradoras de resíduos, alguns complicadores podem tornar essa escolha não tão proficiente. O tamanho da composteira depende da quantidade de resíduos orgânicos gerados no empreendimento, logo quanto maior o aporte de resíduos, maior será a necessidade de espaço. O tempo do processo de compostagem demora em torno de três meses, o que demanda a operação de várias pilhas de compostagem para absorver a geração de resíduos. Também, existe a necessidade de profissionais capacitados para operar o sistema e evitar o surgimento de animais e insetos vetores de doenças. Fora tudo isso, seria fundamental a existência de um mercado para o subproduto da compostagem, de modo a tornar o processo mais viável economicamente.

Portanto, existem outras formas, que dependendo das circunstâncias, podem ser mais vantajosas e interessantes devido aos resultados proporcionados, tais como a biodigestão que

é um método de reciclagem que consiste na produção de gás combustível e também de adubos, a partir de compostos orgânicos.

### 2.3.3. BIODIGESTÃO OU DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia ou biodigestão é um processo biológico que envolve a transformação da matéria orgânica biodegradável por meio de microrganismos, na ausência de agente oxidante externo (CAMPOS *et al*, 1999). As bactérias anaeróbias estabilizam a matéria orgânica, convertendo compostos orgânicos complexos em produtos simples: principalmente metano e outros compostos inorgânicos como amônia e dióxido de carbono, tal qual apresentado na

**Figura 4.**

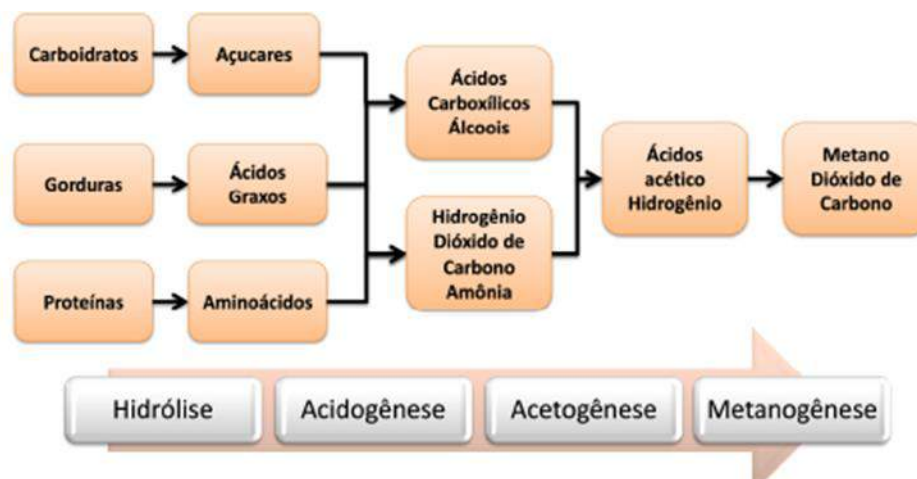


**Figura 4: Esquema simplificado do processo de digestão anaeróbia**

Fonte: Adaptado de CAMMAROTA (2013).

A biodigestão ocorre em quatro etapas distintas, são elas: hidrólise; acidogênese; acetogênese e metanogênese (KUNZ *et al*, 2004). De acordo com OLIVEIRA (2004) e SOUZA (2005), na hidrólise, sob a ação de enzimas hidrolíticas extracelulares, as moléculas complexas dos substratos solúveis são degradadas (hidrolisadas) em pequenas moléculas que são transportadas para dentro das células dos microrganismos e metabolizadas. Na fase de fermentação ácida ou acidogênese, os produtos gerados na hidrólise vão ser transformados em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico, hidrogênio (H<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)). A acetogênese é a fase na qual as bactérias produtoras de hidrogênio

convertem os produtos gerados da acidogênese em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), acetato e ácidos orgânicos de cadeia curta. Na metanogênese, as bactérias metanogênicas convertem os ácidos orgânicos de cadeia curta, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Cerca de 70% do metano formado provêm do acetato e o restante do dióxido de carbono e hidrogênio (NOGUEIRA, 1992). A Figura 5 ilustra as etapas do processo de biodigestão.



**Figura 5: Etapas do processo de biodigestão**

Fonte: EPE (2014)

Diversos fatores influenciam no desempenho do processo da biodigestão, pois afetam o balanceamento das bactérias que produzem o gás metano a partir dos ácidos orgânicos, como a carga diária de sólidos voláteis, alcalinidade, pH, temperatura e a qualidade do material orgânico. A entrada de materiais que podem vir a contaminar o processo também diminui consideravelmente a capacidade de produção de biogás (SOUZA, 1984).

#### 2.3.4. BIODIGESTOR

Um biodigestor é um reator que propicia a decomposição biológica anaeróbia da matéria orgânica, levando a geração de biogás, produzindo ainda, uma carga de nutrientes sob a forma de resíduos sólidos chamados biofertilizantes (PNUD, 2010).

O uso de biodigestores permite a redução da emissão de gases de efeito estufa para atmosfera, sendo apontado como um dos mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), estabelecido pelo Protocolo de Kyoto, assinado em dezembro de 1997, no Japão, por diversos países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) (SILVA, 2009).

Como vantagens advindas com o uso de biodigestores, podem ser citadas:

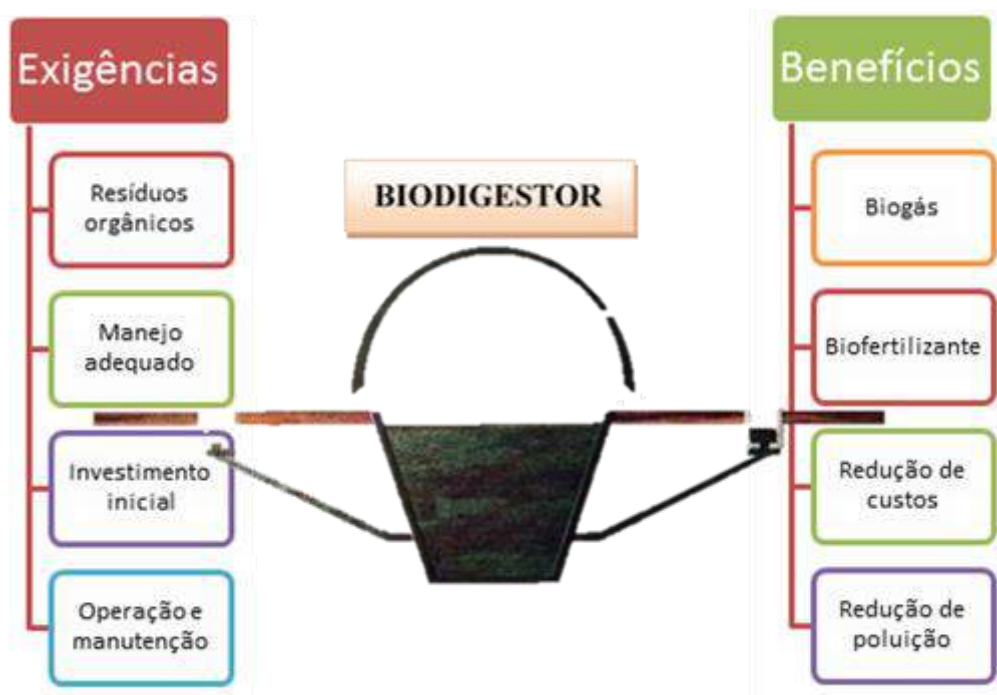
- Solução para os resíduos orgânicos que até então são encaminhados para o aterro, gerando custos ambientais e financeiros;
- Fonte de energia renovável que pode substituir o gás liquefeito do petróleo (GLP), lenha ou gasolina, sendo um excelente combustível para geração de energia elétrica, na alimentação de motores e na geração de energia térmica;
- Incremento para a diversidade da matriz energética brasileira;
- Produção de biofertilizante;
- Aumento da qualidade de vida;
- Redução dos impactos ambientais.

No entanto, o processo de biodigestão exige certa atenção quanto a (COMASTRI FILHO, 1981; OLIVEIRA, 2004):

- Custos de instalação e implantação do sistema;
- Retorno financeiro em médio ou longo prazo;
- Equipe capacitada para operação do sistema;
- Local de instalação cercado com entrada limitada a pessoas autorizadas;
- Vistoria regular das instalações a procura de vazamentos pelo menos uma vez por mês;

- Controle da população de roedores próximos ao biodigestor, a fim de evitar eventuais furos no equipamento que podem provocar vazamento;
- Não acender nenhum tipo de faísca próximo à instalação;
- Proporcionar ventilação adequada;
- Medidas preventivas, a fim de evitar acidentes.

De acordo com OLIVER (2008), as exigências são mínimas em relação às vantagens de instalação do biodigestor, conforme segue o esquema da Figura 6.



**Figura 6: Exigências e benefícios da biodigestão**

Fonte: Adaptado de Oliver (2008)

Segundo o Relatório Final de Gerenciamento de alimentos no Campus São Carlos (USP, 2014), do ponto de vista ambiental, a biodigestão é considerada a melhor alternativa quando comparada à compostagem. A biodigestão é uma tecnologia limpa, já com uso significativo no tratamento do esgoto urbano no Brasil e uso crescente no tratamento de resíduos sólidos de

criadouros intensivos, principalmente de suínos e bovinos. Pode ser utilizada como alternativa de destinação de resíduos sólidos e redução de suas emissões prejudiciais. Sendo assim é possível corroborar que a biodigestão, para o caso apresentado no presente trabalho, se mostra mais vantajosa quando comparada à compostagem. O Quadro 2 apresenta um comparativo entre os dois tipos de metodologia.

**Quadro 2: Comparação entre as duas tecnologias**

<b>ITEM</b>	<b>COMPOSTAGEM</b>	<b>BIODIGESTOR</b>
<b>Tipo de Resíduo</b>	Resíduos em geral, porém com composição específica.	Qualquer tipo.
<b>Geração de receita</b>	Adubo orgânico, taxa para o tratamento de resíduos.	Biofertilizantes, energia térmica, elétrica, créditos de carbono, taxa para o tratamento de resíduos.
<b>Geração de emprego para catadores</b>	Sim.	Sim.
<b>Ambientalmente adequada</b>	Sim.	Sim.
<b>Investimento necessário para uma cidade de 500mil habitantes</b>	Entre R\$ 1 e 30 milhões, variando com a automação do processo.	Cerca de R\$ 20 milhões.
<b>Investimento necessário para uma cidade de 50 mil habitantes</b>	Até R\$ 1 milhão.	Cerca de R\$ 3 milhões.

Fonte: USP (2014)



### 2.3.5. PARÂMETROS PARA A ESCOLHA DE UM BIODIGESTOR

#### **Alimentação Descontínua Vs. Alimentação Contínua**

Cada tipo de biodigestor tem uma característica específica, existindo os de produção descontínua (batelada) ou de produção contínua (TIAGO FILHO e FERREIRA, 2000).

Os sistemas de batelada são aqueles nos quais a biomassa é inserida no biodigestor e este permanece completamente fechado e só será aberto após a produção de biogás, o que leva cerca de 90 (noventa) dias. Finalizado o processo de fermentação, o biodigestor é aberto, higienizado e alimentado para dar início a um novo ciclo. O esvaziamento do biodigestor a cada processo elimina o acúmulo de inertes no interior do digestor, ou seja, esse modelo evita um dos principais problemas operacionais enfrentados em plantas de biometanização. Esse tipo de sistema além de tecnologicamente mais simples, se caracteriza por ser robusto e barato, porém apresenta duas desvantagens: necessidade de uma área maior para instalação e menor produtividade de gás (VANDEVIVERE *et al*, 2002). Devido à simplicidade operacional e robustez dos sistemas de batelada, eles possuem grande potencial de aplicabilidade nos países em desenvolvimento (DE BAERE e MATTHEEUWS, 2008).

Nos digestores de fluxo contínuo, a introdução dos resíduos e, conseqüentemente, a extração do subproduto, ocorre de forma ininterruptamente, o que proporciona uma produção mais constante de biogás e um sistema de geração de energia mais estável e otimizado (AUSTERMANN *et al*, 2007). Nessa técnica, o substrato é bombeado várias vezes por dia para o biodigestor e essa mesma quantidade é retirada do e segue para o tanque de biofertilizantes. Dessa forma, o tanque sempre estará cheio e seu esvaziamento apenas será necessário para reparos e limpezas. Esse modelo traz como vantagem a utilização eficiente do espaço do biodigestor, porém é possível que uma pequena parte do substrato recém depositado saia de imediato do biodigestor sem sofrer o processo de fermentação (WEILAND, 2000).

Uma maneira de solucionar a dificuldade de implementação de uma produção contínua é o uso de vários biodigestores de alimentação por batelada trabalhando em conjunto, sendo a alimentação de cada biodigestor planejada de modo a prover a geração de gás regularmente (RIBEIRO e SILVEIRA, 2016).

### **Via Úmida vs. Via Seca**

Os processos via úmida são aqueles que operam com baixo teor de sólidos totais (ST). A maioria desses sistemas opera com teores de ST entre 3 a 7%, porém considera-se aceitável uma faixa até 15%. Já os processos via seca operam com teores de ST superiores a 15%. (AUSTERMANN et al., 2007).

Os sistemas úmidos demandam muita água para operar e, conseqüentemente, necessitam de um grande reator (KOSSMANN et al., 1999; VERMA, 2002). Entretanto, os processos via seca geralmente produzem menor volume de efluentes líquidos, requerendo, assim, instalações de menor porte e menos complexas, acarretando em economias de investimento e operação quanto aos sistemas de pré-acondicionamento e tratamento de efluentes. O meio biológico dos sistemas via seca é mais robusto, suportando melhor as alterações no substrato e a aplicação de cargas orgânicas elevadas.

### **Sistemas de Único Estágio vs. Múltiplos Estágios**

Nos sistemas de único estágio todas as etapas do processo de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) ocorrem em um único reator ou tanque de mistura completa, enquanto que nos sistemas de múltiplos estágios as duas últimas etapas do processo de digestão anaeróbia (acetogênese e metanogênese) acontecem em reatores diferentes (LOPES, 2015; GOMES, 2010).

As bactérias acetogênicas e metanogênicas são mais sensíveis a mudanças no meio pois se desenvolvem em ambientes com pH e temperaturas distintas, dessa maneira a tecnologia em múltiplos estágios pode otimizar o processo de biometanização, promovendo um melhor rendimento na geração de biogás. Embora apresente maior eficiência, os sistemas de Múltiplos Estágios são mais caros e podem apresentar, com mais frequência, problemas na operação (VERMA, 2002; AUSTERMANN *et al*, 2007).

### **Faixa Mesofílica vs. Faixa Termofílica**

Dependendo da temperatura no interior do reator, os sistemas podem ser classificados na faixa mesofílica ou termofílica. Tal classificação é feita de acordo com os dois grupos principais de bactérias utilizadas no processo de digestão anaeróbia.

Sistemas Mesofílicos são aqueles onde as bactérias atuam em ambientes de 35 e 40°C, enquanto, nos sistemas Termofílicos, as bactérias atuam em ambientes com temperaturas mais elevadas, entre 50 e 60°C. As bactérias termofílicas possuem uma taxa de reprodução maior, resultando em um maior rendimento do sistema e maior produção de biogás. Porém, reatores Termofílicos demandam mais energia para elevar a temperatura do sistema, o que justifica muitas vezes a escolha por operar na faixa de temperatura mesofílica (AUSTERMANN *et al*, 2007).

#### *2.3.6. BIOGÁS*

O biogás é um subproduto gasoso oriundo do processo de digestão anaeróbia. Tal mistura gasosa é composta por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), com pequenas quantidades de ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e amônia (NH<sub>3</sub>). Ocasionalmente, pequenas concentrações de hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), carboidratos saturados ou

halogenados e oxigênio (O<sub>2</sub>) (VERMA, 2002). Pode substituir diretamente outros tipos de combustíveis ou gerar eletricidade e calor. Sua composição e poder calorífico variam de acordo com o material orgânico utilizado e processo pelo qual foi submetido.

Os possíveis usos em ordem crescente de exigência de qualidade são: combustão direta, aproveitamento térmico, aproveitamento elétrico, injeção na rede de gás e como combustível (FNR, 2010). Segundo a ANEEL (2008), a aplicação do biogás promove a redução dos gases causadores da intensificação do efeito estufa que ocorreriam pela degradação espontânea da matéria orgânica e pela queima de algum combustível fóssil para ofertar a energia e minimiza a poluição do solo e dos lençóis freáticos (LOPES, 2015).

As concentrações dos principais componentes do biogás estão apresentadas Tabela 1, a seguir.

**Tabela 1: Composição média da produção de biogás**

<b>Composição de Gases</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	55-70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	27-45
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	3-5
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1-10
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1
Monóxido de Carbono (CO)	0,1
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	Traços

Fonte: OLIVEIRA (2004)

### *2.3.7. INICIATIVAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA EM UNIVERSIDADES*

O uso de biodigestores está crescendo gradativamente principalmente na agricultura, para destinação correta de dejetos animais, e para o tratamento de esgoto em pequenas comunidades. Porém já existem várias iniciativas para o tratamento de resíduos orgânicos

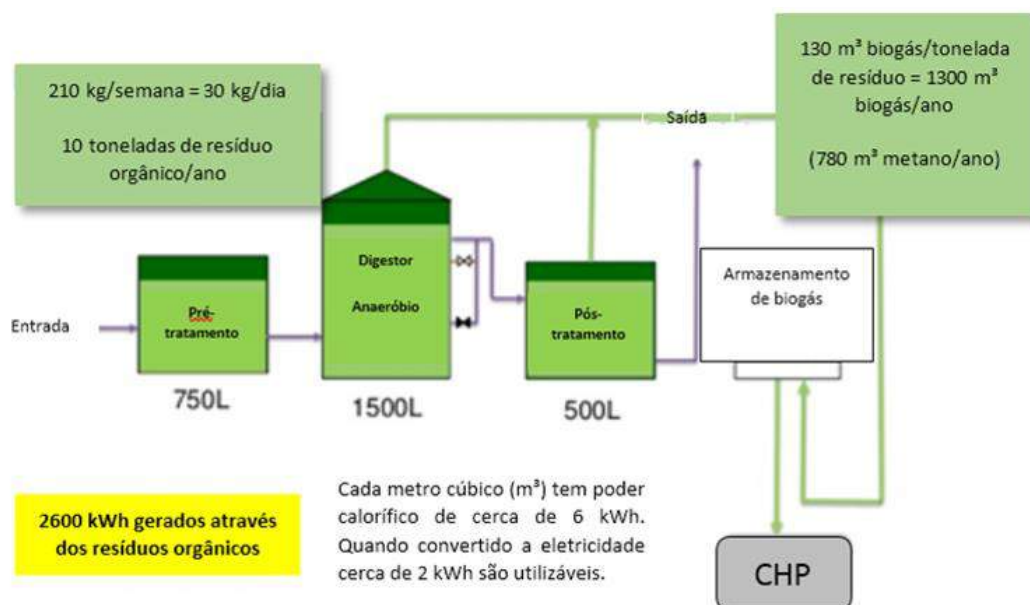
(alimentares) em universidades no exterior e a tendência é que surjam vários modelos similares também no Brasil (HAACK, 2009).

## INICIATIVAS NO EXTERIOR

Existem diversos estudos com este enfoque distribuídos ao redor do mundo. Portanto, este trabalho escolheu alguns exemplos bem-sucedidos no Reino Unido e nos Estados Unidos.

### ➤ Reino Unido

A Universidade de Cranfield começou a operar uma planta piloto de grande escala em 2014. A planta funciona com sistema *plug-and-play* e o biogás produzido é então coletado em um suporte com membrana de 40 m<sup>3</sup>, que também está ligado a dois motores a gás. O sistema consegue converter, anualmente, cerca de 10 toneladas de resíduo orgânico em aproximadamente 1300 m<sup>3</sup> de biogás, o que equivale a 780 m<sup>3</sup> de metano, resultando em 2600 kWh de energia (VILLA, 2015). A **Figura 7** exemplifica o processo.



**Figura 7: Planta de Biodigestão da Universidade de Cranfield**  
Fonte: Adaptado de VILLA (2015)

A Universidade de Exeter, também em 2014, renovou o contrato com a empresa responsável com a gestão de resíduos, o que apresentou uma oportunidade para melhorar a forma de descarte dos resíduos de alimentares. Foi feito um diagnóstico para estimar a quantidade de resíduos gerada. A partir de 2015, todos os resíduos alimentares da Universidade de Exeter passaram a ser recolhidos para uma planta de digestão anaeróbia que tem projetos de expansão (UNIVERSITY OF EXETER, 2015).

A Universidade de Reading, a partir de 2010, identificou que o desperdício de alimentos constitui uma grande proporção do total de resíduos produzidos na Universidade. Desde então, os resíduos de alimentos recolhidos semanalmente pelos contratantes de gestão de resíduos do campus são levados a uma unidade de digestão anaeróbia local utilizada para gerar eletricidade. Como subprodutos da biodigestão, são obtidos o fertilizante, usado pelas fazendas locais, e o biogás que produz energia suficiente para alimentar cerca de 4200 residências. A Universidade de Reading envia por ano cerca de 104.500 kg de resíduos alimentares para a digestão anaeróbia, o que representa 8,23% de todos os resíduos produzidos na Universidade. Tal iniciativa ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa através da captura de metano que de outra forma teria sido emitido a partir do aterro sanitário (UNIVERSITY OF READING, 2012).

### ➤ **Estados Unidos**

Na Universidade de Wisconsin Oshkosh, a usina de energia renovável produz aproximadamente 8% da demanda energética da Universidade e converte anualmente 10.000 toneladas de resíduos de alimentares e de jardinagem em até 3300 MW de energia elétrica. A planta é de aproximadamente 1800 m<sup>2</sup>, dos quais 640 m<sup>2</sup> são utilizados para a produção de biogás. O gás é recolhido em um *bag* no local e usado para executar uma unidade combinada

de calor e energia (CHP) para gerar eletricidade e calor (UNIVERSITY OF WINCONSIN OSHKOSH, 2014).

Na Universidade da Califórnia, a professora Ruihong Zhang elaborou um digestor anaeróbio que converte até 50 toneladas de resíduos orgânicos - incluindo de refeitórios da UC Davis, instalações de animais e terrenos - em 12.000 kWh de energia renovável por dia, através de geradores de última geração, evitando que cerca de 20.000 toneladas de resíduos seja encaminhado a aterros sanitários, anualmente. Desse modo, espera-se reduzir as emissões de gases de efeito estufa em até 13.500 toneladas por ano (UC DAVIS, 2014).

## **INICIATIVAS NO BRASIL**

No Brasil, ainda são poucas as iniciativas de tratamento de resíduos orgânicos através da digestão anaeróbia. São realizados vários estudos sobre o assunto, porém apenas a Universidade Federal de Minas Gerais possui uma planta em operação.

### **➤ Pernambuco**

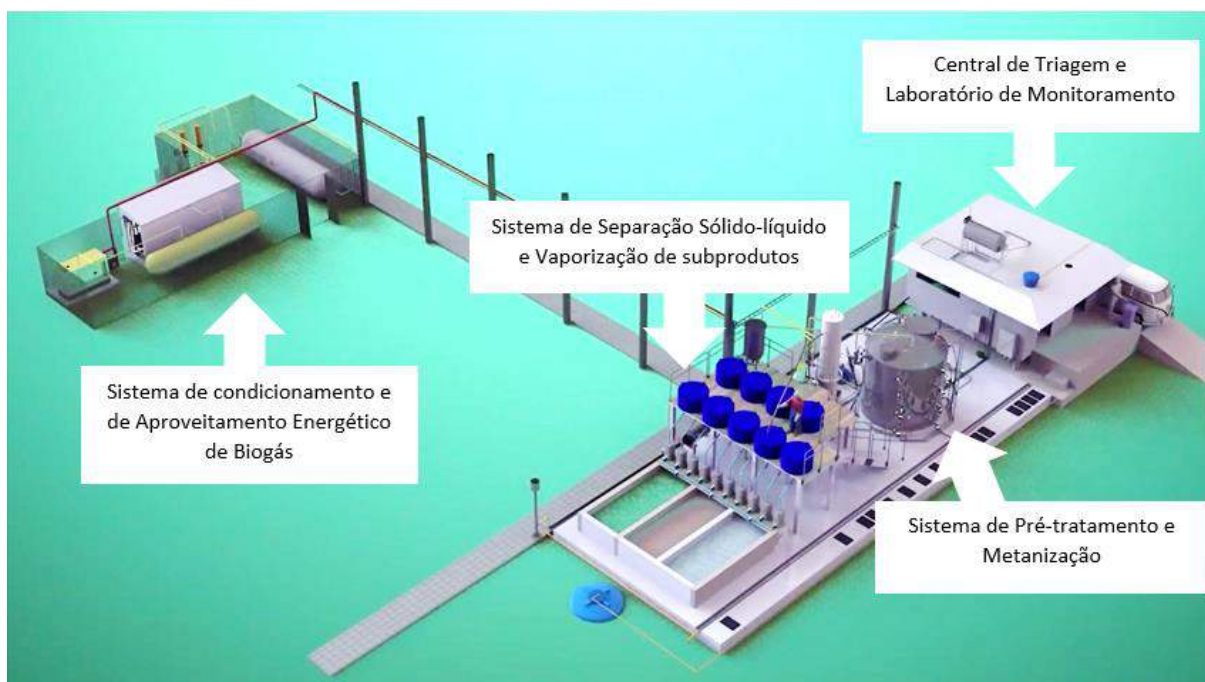
Em 2012, na Universidade Federal de Pernambuco, foi construído um reator anaeróbio, em escala de teste, com volume de 500 L, para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes da cozinha de um restaurante universitário. Na pesquisa em questão, o biodigestor foi monitorado por um período aproximado de 600 dias, onde foi avaliada a eficiência do processo de remoção de matéria orgânica e produção de biogás (metano e dióxido de carbono). A taxa de produção de gás máxima foi de 0,9 m<sup>3</sup> por semana, com média de 66% de metano em sua composição (REIS, 2012).

## ➤ Minas Gerais

Já a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) abriga a primeira Plataforma de Metanização de Resíduos Orgânicos do Brasil, denominada pMethar (Figura 8). Os restos de alimentos são transformados em água, fertilizante e biogás, biocombustível usado na produção de energia. Desde dezembro de 2013, os resíduos alimentares do maior restaurante universitário do campus Pampulha (500 kg/dia), o Setorial II, seguem para a planta de tratamento. A planta modelo gera 160 mil litros de biogás diariamente. Sendo assim, a universidade conseguiu reduzir a quantidade de resíduos enviada a aterros sanitários e ainda propiciar diversos benefícios (CORREIO BRAZILIENSE, 2014).

O sistema é composto por uma plataforma de metanização de resíduos (pMethar), uma plataforma de aproveitamento energético de biogás, unidades de tratamento e aproveitamento dos subprodutos sólido e líquido do tratamento. Detalhadamente, tem-se uma sala de recepção, triagem e trituração dos resíduos, um reator de metanização de mistura completa com monitoramento de vários parâmetros, uma unidade de separação sólido-líquido e uma unidade de acondicionamento, tratamento e aproveitamento energético de biogás, a plataforma de metanização tem como objetivo o aproveitamento energético do biogás, de modo a realizar o gerenciamento correto dos resíduos sólidos. Além disso, monitora-se parâmetros como a relação entre alcalinidades (AI/AP), a eficiência de conversão de sólidos voláteis, o rendimento de produção CH<sub>4</sub>, o teor de umidade, o pH e a temperatura de operação, a estabilidade no processo de digestão anaeróbia e o rendimento máximo de produção de metano (CH<sub>4</sub>) (FERREIRA, 2015).





**Figura 8: Plataforma pMethar da UFMG**

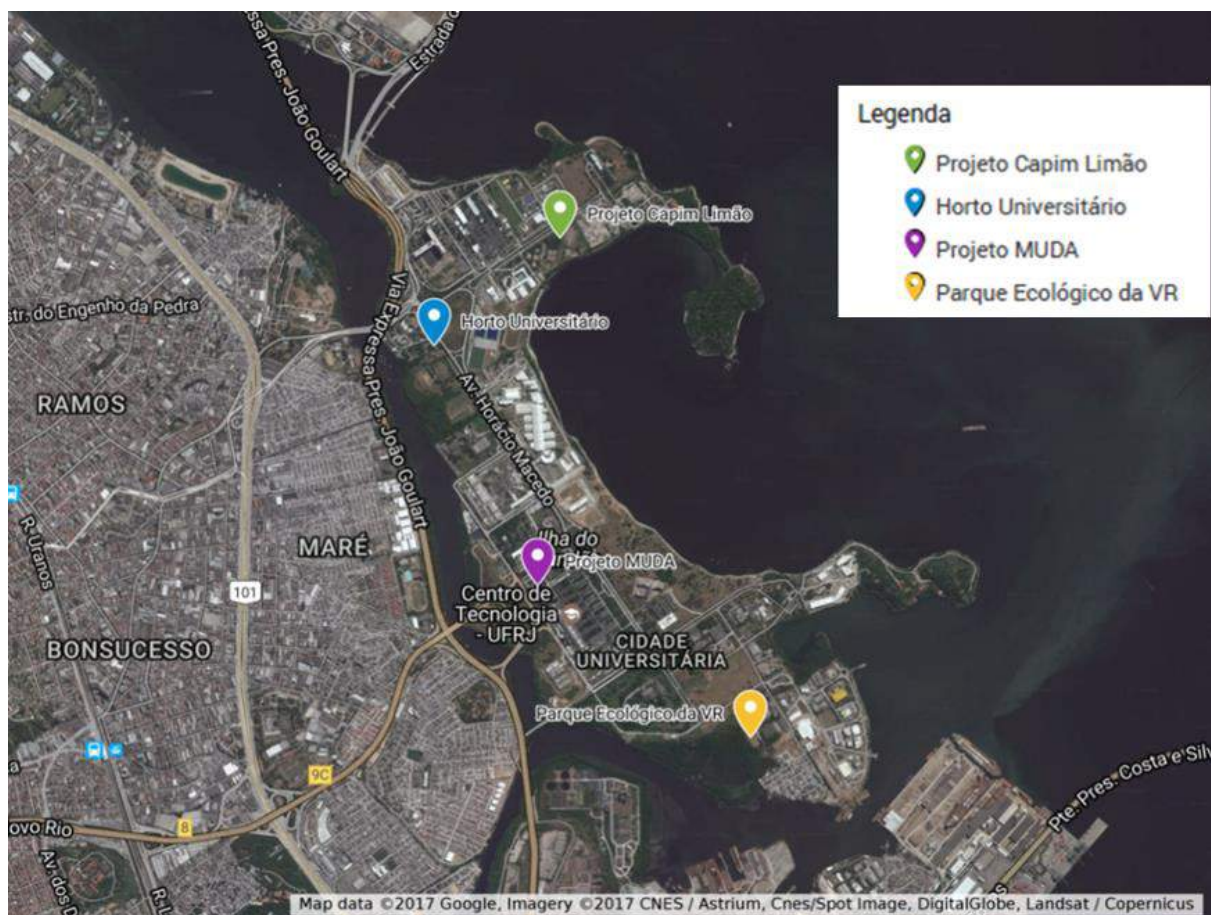
Fonte: Adaptado de METHANUM (2015)

### 2.3.8. A GESTÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS NA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFRJ

A Cidade Universitária, como um todo, não possui coleta seletiva, e tão pouco, um Plano de Gerenciamento de Resíduos para estabelecer diretrizes adequadas para o manejo e destinação final ambientalmente correta dos resíduos. Apenas dois Centros, Centro de Tecnologia (CT) e Centro de Ciência da Saúde (CCS), possuem coleta seletiva, sendo o CT o pioneiro. Como o CT já possui um Programa de Coleta Seletiva (ReciclaCT) funcionando desde 2007, o local possui um Centro de Triagem, porém para a ampliação do gerenciamento de resíduos seria necessária a expansão do um sistema de segregação na fonte geradora e de um centro de triagem de maior porte.

Foram identificadas algumas iniciativas de compostagem na Cidade Universitária com o intuito de dar uma destinação ambientalmente correta para os resíduos orgânicos gerados no campus, conforme ilustra a Figura 9 (o Horto Universitário, o Projeto Capim-Limão, o Projeto MUDA e o Parque Ecológico da Vila Residencial). Todas as iniciativas ocorrem de modo

experimental, devendo haver esforços para expansão de tais atividades, assim como a adesão de toda a comunidade que transita pela Cidade Universitária.



**Figura 9: Iniciativas de compostagem da Cidade Universitária**

Fonte: Google Maps

Em termos de digestão anaeróbia de resíduos, o Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA/UFRJ) realiza um projeto de iniciação científica de análise e pesquisa em parceria com a Universidade de Borås na Suécia, e com apoio do Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente (LEMA/UFRJ) e do RU do CT, envolvendo principalmente alunos das engenharias ambiental e civil.

O objetivo do projeto é desenvolver uma metodologia eficiente para operar e controlar a produção de biogás e o tratamento de resíduos orgânicos por meio da codigestão de resíduos sólidos e lodo de reatores UASB. Além disso, visa-se otimizar a produção do biogás levando-se em consideração o volume, a composição e a qualidade do efluente líquido. As barreiras

enfrentadas são em relação à infraestrutura e logística, porém mesmo diante de alguns fatores limitantes a pesquisa já obteve excelentes resultados chegando a 3466 litros de biogás no período de uma semana, com concentração de 70% de metano.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 ESCOLHA DOS RESÍDUOS**

Os resíduos de interesse para esta pesquisa são os resíduos orgânicos, devido ao potencial de degradação por via anaeróbia, resultando na formação do biogás para proporcionar energia, enquadrando-se neste aspecto, os resíduos alimentares e os de manutenção das áreas verdes do campus da Cidade Universitária da UFRJ. Inicialmente, o presente trabalho procurou abranger os resíduos de poda e jardinagem, porém houve grande dificuldade em estimar esse volume. A Divisão de Limpeza Urbana da UFRJ, parte integrante da Coordenação de Meio Ambiente localizada na Prefeitura Universitária, não possui um controle adequado a respeito da geração dos resíduos de poda e capina, tampouco existe um diagnóstico que estime o volume deste resíduo, porque a manutenção das áreas verdes é realizada por uma empresa terceirizada contratada que realiza o serviço quando é acionada e a tarefa é realizada de forma pouco planejada. Dessa forma, optou-se por não inserir este tipo de resíduo na presente pesquisa. Além disso, é necessária a escolha de resíduos que possuam geração significativa ao longo do ano para se garantir a constante operação do biodigestor e, conseqüentemente, produção de biogás. Sendo assim, optou-se neste estudo por focar apenas nos resíduos alimentares oriundos do Restaurante Universitário Central, pois se trata de um grande gerador de resíduos já que funciona 24 horas por dia durante todo o ano.

### 3.2 ÁREA DE ESTUDO

O Sistema de Alimentação da UFRJ funciona sob a coordenação técnico-científica e acadêmica do Instituto de Nutrição Josué de Castro. Seu objetivo é propiciar refeições de qualidade, com cardápio variado e balanceado, de forma segura, higiênica e acessível, segundo os princípios da Política Nacional de Alimentação e Nutrição – PNAN (MS,1999), contribuindo para o bom desempenho acadêmico dos estudantes da UFRJ. O sistema é composto por cinco unidades, sendo três deles localizados na Cidade Universitária e os outros dois em unidades externas. O Restaurante Universitário (RU) Central, fica localizado próximo à Escola de Educação Física e Desportos, enquanto os satélites, ficam no prédio da Faculdade de Letras e no Centro de Tecnologia (CT), respectivamente, conforme apresenta a **Figura 10**. No mês de março deste ano, passaram a funcionar mais duas unidades (externas à Cidade Universitária), nos campus Centro e Praia Vermelha.



**Figura 10: Localização dos RUs da Cidade Universitária**

Fonte: Google Maps

O RU Central (Figura 11) é a unidade de maior capacidade, tendo 3.000 m<sup>2</sup> (três mil metros quadrados) de área e provisão de cerca de 10 mil refeições por dia, sendo 4 mil refeições para consumo na própria unidade (distribuição local) e o restante para suprir a prestação de serviços de produção e expedição de refeições para os RUs CT e Letras.



**Figura 11: RU Central da UFRJ**

Fonte: UFRJ (2010)

Além do fornecimento de refeições, o RU Central oferece atividades de ensino, pesquisa e extensão, dentre outras como cursos e oficinas, sendo considerado, portanto, um Restaurante-Escola (INJC/UFRJ, 2013). Os restaurantes universitários (RUs) são refeitórios destinados ao uso da comunidade acadêmica da UFRJ e trabalham com o sistema bandejão. Todas as unidades oferecem duas refeições diárias (almoço e jantar), com preços diferenciados para alunos e servidores, porém aos finais de semana somente o RU Central realiza atendimento. O Quadro 3 mostra de forma simplificada um resumo da capacidade, horários de atendimento e valores dos RUs Universitários.

**Quadro 3: Informações sobre os RUs**

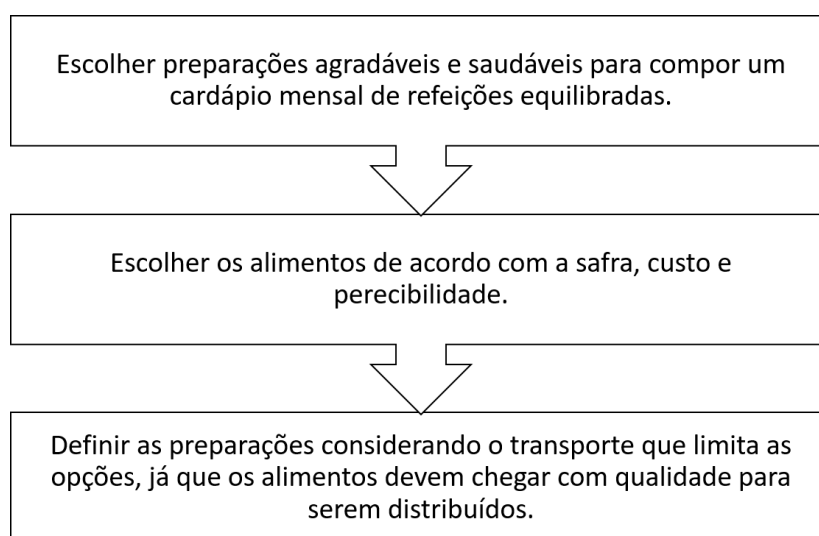
LOCALIZAÇÃO	UNIDADE	CAPACIDADE DE ATENDIMENTO (refeições)		HORÁRIO DE ATENDIMENTO				VALORES	
		Almoço	Jantar	SEG-SEX		Finais de semana e feriados		Alunos	Servidores
Cidade Universitária	RU Central	2800	1000	Almoço	Jantar	12 às 14h	17h30 às 19h30	R\$ 2,00	R\$ 6,00
				11h às 14h	17h30 às 20h				
	RU CT	1400	700	10h30 às 14h30	17h30 às 20h	Não há atendimento			
RU Letras	1200	600	11h15 às 14h	17h30 às 20h					
Unidades Externas	RU IFCS	1000	500	11h30 às 14 h	17h30 às 20h				
	RU PV								

Fonte: Elaboração própria

### 3.3 ROTINA NO RU CENTRAL DA UFRJ

A equipe do RU Central é composta por mais de 200 funcionários, envolvendo servidores da UFRJ e colaboradores das empresas terceirizadas, visando à otimização do processo de produção e distribuição das refeições. Além dos nutricionistas, há técnicos em nutrição e dietética, técnico em assuntos educacionais, assistentes administrativos, auxiliares de serviços gerais (mais conhecidos como ASG), cozinheiro e chefe de cozinha, auxiliares de cozinha, copeiras, vigilantes, porteiros, caixas, recepcionistas, dentre outros, e ainda funcionários que realizam a manutenção da estrutura física. Atualmente, a empresa terceirizada prestadora de serviços e responsável pelo auxílio na gestão dos Restaurantes Universitários da UFRJ é a Denjud. Nos RUs satélites não há necessidade de cozinheiro e chefe de cozinha, porque as refeições são preparadas do RU Central e distribuídas para os demais.

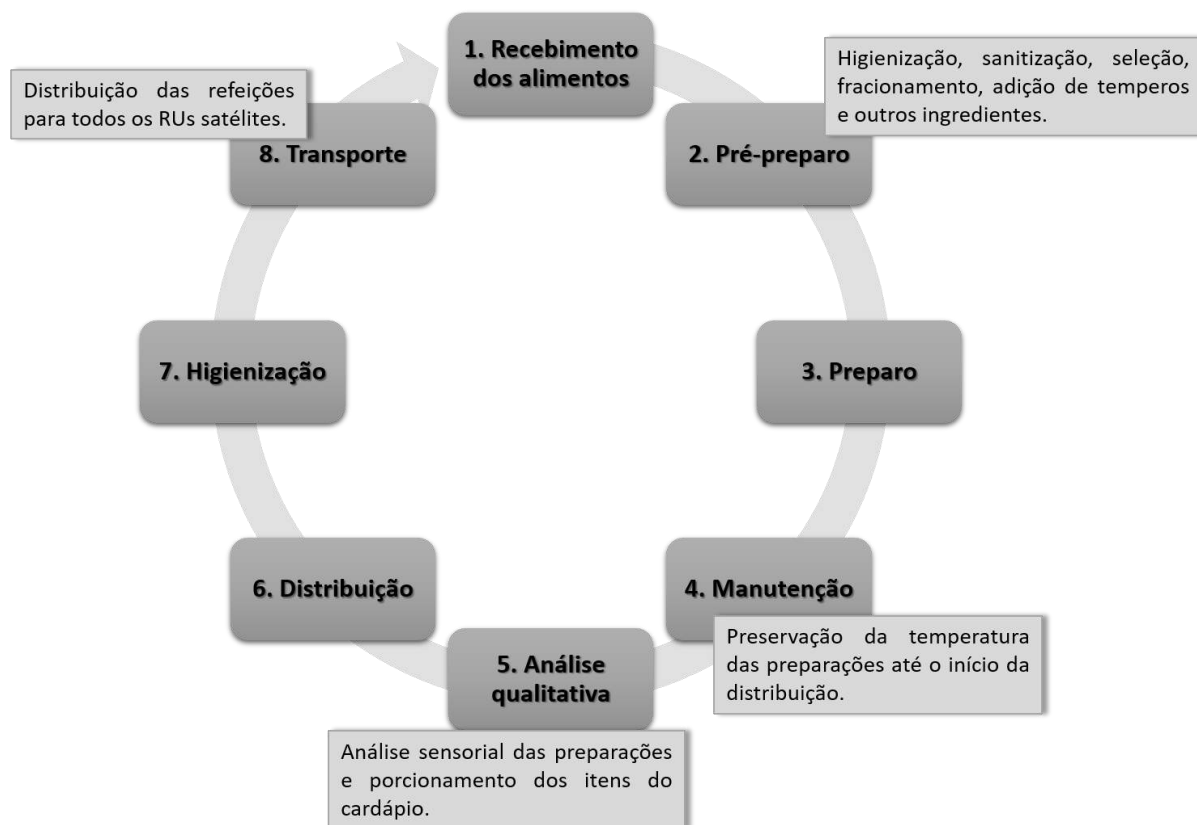
Todo o trabalho no RU ocorre de forma muito integrada e planejada, envolvendo aspectos muito importantes que vão desde a gestão de recursos financeiros, elaboração de cardápios equilibrados, controle rigoroso da qualidade e nutricional, sensorial e higiênico-sanitária das refeições servida e encaminhamento às outras unidades em tempo hábil. A Figura 12 mostra um resumo das tarefas envolvidas no planejamento das refeições.



**Figura 12: Planejamento das refeições**

Fonte: Adaptado de INJC/UFRJ (2013)

Após a etapa de planejamento, o processo de trabalho no RU se inicia com o recebimento e avaliação da qualidade dos alimentos que irão compor o cardápio do dia. Depois estes insumos seguem as etapas de pré-preparo, preparo, distribuição e transporte de refeições. Portanto, são gerados resíduos em todas as etapas do processo. Na Figura 13, pode-se analisar melhor o processo de trabalho do RU.



**Figura 13: Processo de trabalho no RU**

Fonte: Adaptado de INJC/UFRJ (2013)

Devido às novidades (abertura de mais duas unidades: Centro e Praia Vermelha e sistema de agendamento online no CT), foram necessárias ações de planejamento da equipe do Sistema de Alimentação para conseguir contemplar de maneira adequada o preparo e distribuição para todas as unidades satélites, sem afetar o atendimento do próprio RU Central. É válido ressaltar que os resíduos gerados no Centro e na Praia Vermelha retornam para o RU Central, na Cidade Universitária, porque esses dois novos restaurantes ainda não possuem uma



infraestrutura que viabilize o armazenamento e descarte corretos dos resíduos na fonte geradora. Nessas unidades, diferentemente do procedimento das que se localizam na Ilha do Fundão, os comensais têm a opção de levar a comida em quentinhas, o que de certa forma dificulta o conhecimento da quantidade de resíduos alimentares gerados. Sendo assim, não existe um diagnóstico sobre a quantidade de resíduos gerados nesses centros que é destinada ao RU Central.

### **3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS**

O foco do presente trabalho é o RU Central, principal unidade do Sistema de Alimentação da UFRJ, localizada na Cidade Universitária, já que esta é responsável pelo preparo de todas as refeições do Sistema de Alimentação da UFRJ.

A coleta de dados para a elaboração do presente trabalho se deu através de visitas à unidade, entrevistas com os responsáveis, pesagem dos resíduos gerados nas diferentes etapas do processo de preparação das refeições e também dados secundários.

Como o preparo das refeições é realizado apenas na unidade Central, realizou-se nesta a pesagem dos resíduos das etapas de recebimento, pré-preparo, preparo e restos de comida presentes nos pratos dos comensais. Para o resíduo de sobra de alimento (aquele alimento que foi preparado, porém não foi servido), já existe um controle diário incluído na rotina de trabalho.

Para que o almoço fique pronto a tempo, o restaurante funciona 24 horas por dia, logo alguma parte do pré-preparo das refeições ocorre durante a madrugada, o que inviabiliza a pesagem dos resíduos gerados nesse período. Dessa forma, optou-se por acompanhar, ao longo de duas semanas, a preparação das refeições servidas no jantar, tarefa que ocorre das 10 horas da manhã até às 16 horas da tarde.

Sabe-se que os resíduos alimentares sofrem variações ao decorrer do ano, dependendo da densidade de usuários (período letivo e férias e eventos excepcionas como feriados,

paralisações, greves, entre outros.), logo o espaço amostral foi definido de modo que o período escolhido deveria representar, de forma mais fiel possível, o fluxo de comensais nos restaurantes, ou seja, um período de aulas normais e sem ocorrência de greves e outros eventos atípicos que ocorreram no ano anterior, tentando também proporcionar o mínimo de transtorno às atividades de trabalho do RU. Então, a coleta de dados se deu do dia 29 de maio ao dia 09 de junho de 2017 (meados do período letivo). Através da extrapolação desses dados procurou-se construir um perfil de geração de resíduos para o inventário. O cardápio servido durante essas duas semanas, nos Restaurantes Universitários que se localizam dentro e fora da Ilha do Fundão (Quadro 4, Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7) também influencia diretamente na quantidade de resíduos.

**Quadro 4: Cardápio da Cidade Universitária de 29 de maio a 04 de junho**

JANTAR	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-feira	Sexta-Feira	Sábado	Domingo
<b>Entrada</b>	Alface crespa e tomate	Agrião e feijão branco ao vinagrete	Duo de abóboras	Cesar salad	Salada rústica	Acelga e beterraba ralada	Alface lisa, tomate e cebola
<b>Prato Principal</b>	Posta de peixe assada ao molho de pimentões	Filé de sobrecoxa ao molho de cebola caramelizada	Almôndegas de carne ao molho sugo	Guisado de lombinho suíno	Bife de panela	Bobó de camarão	Carne assada ao molho ferrugem
<b>Prato Vegetariano</b>	Moqueca de banana da terra	Torta de grão de bico com cenoura	Picadinho de soja com azeitona e chuchu ao molho sugo e manjerição	Cuscuz vegetariano	Escondidinho de aipim ( contém soja )	Bobó de grão de bico	Torta de palmito, milho e ervas
<b>Guarnição</b>	Pirão	Abóbora em cubos com gengibre	Polenta	Cenoura com cebolinha	Chicória refogada	Vagem ao alho	Batata doce com gengibre
<b>Acompanhamento</b>	Arroz branco / integral feijão preto	Arroz branco / integral lentilha	Arroz branco / integral feijão preto	Arroz branco / integral feijão preto	Arroz branco / integral feijão preto	Arroz branco / integral feijão carioca	Arroz branco / integral feijão preto
<b>Sobremesa</b>	Maçã	Banana	Mamão	Goiaba	Pera	Uva	Tangerina
<b>Refresco</b>	abacaxi	Caju	Goiaba	Uva	Manga	maracujá	Abacaxi

Fonte: RU UFRJ (2017)

**Quadro 5: Cardápio IFCS e Praia Vermelha de 29 de maio a 04 de junho**

JANTAR	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-feira	Sexta-Feira	Sábado	Domingo
Prato Principal	Posta de peixe assada ao molho de pimentões	Filé de sobrecoxa ao molho de cebola caramelizada	Almôndegas de carne ao molho sugo	Guisado de lombinho suíno	Bife de panela	FECHADO	FECHADO
Prato Vegetariano	Moqueca de banana da terra	Torta de grão de bico com cenoura	Almôndegas de soja ao molho sugo	Cuscuz vegetariano	Escondidinho de aipim ( contém soja )	FECHADO	FECHADO
Guarnição I	Pirão	Quibebe	Polenta	Repolho refogado	Chicória refogada	FECHADO	FECHADO
Guarnição II	Vagem ao alho	Acelga ao shoyo	Abobrinha refogada com tomate	Cenoura com cebolinha	Maxixe refogado	FECHADO	FECHADO
Acompanhamentos	Arroz Branco / Integral Feijão Carioca	Arroz Branco / Integral lentilha	Arroz Branco / Integral Feijão preto	Arroz Branco / Integral feijão preto	Arroz Branco / Integral Feijão Preto	FECHADO	FECHADO
Sobremesa	Maçã	Banana	Tangerina	Banana	doce em barra	FECHADO	FECHADO
Refresco	1 suco cx	1 suco cx	1 suco cx	1 suco cx	1 suco cx	FECHADO	FECHADO

Fonte: RU UFRJ (2017).

**Quadro 6: Cardápio da Cidade Universitária de 05 de junho a 09 de junho**

JANTAR	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-feira	Sexta-Feira	Sábado	Domingo
Entrada	Creme de Abóbora	Mix de Folhosos e Beterraba Ralada e Gergelim	Sopa Minestrone	Alface Roxa e Abobrinha Ralada	Agrião, Palmito e cenoura ralada	Sopa de Massa Argolinha com Cenoura e hortelã	Chicória e Rabanete
Prato Principal	Picadinho de carne	Guisado de Lombo Suíno	Quiche de Queijo (Contém Farinha de Trigo e margarina)	Moqueca de Peixe Contem Pimentão, Leite de coco, cebola e tomate)	Bife de Panela	Frango ao Molho de Azeitona	Isca de carne ao molho Champignon
Prato Vegetariano	Torta de Palmito, Milho e Ervas	Escondidinho de Vegetais	Torta de Grão de bico	Moqueca de Bana (Contém Pimentão, tomate, Leite de coco)	Proteína de soja Moída	Hamburguer de Lentilha e Aveia	Picadinho de Soja fatiada com Champignon
Guarnição	Legumes à Juliana	Vagem Refogada	Mostarda Refogada	Pirão ( sem Peixe)	Nhoque ao Sugo	Chuchu com Salsa	Couve flor com Cheiro Verde
Acompanhamento	Arroz Branco /Integral Feijão Preto	Arroz Branco /Integral Feijão Carioca	Arroz Branco /Integral Feijão Preto	Arroz Branco /Integral Feijão Preto	Arroz Branco /Integral Feijão Preto	Arroz Branco /Integral Feijão Preto	Arroz Branco /Integral Feijão Carioca
Sobremesa	Doce de Cocada Morena e doce de fruta diet	Banana	Tangerina	Melancia	Pêra	Caqui	Uva Rubi
Refresco	Maracujá	Acerola	Goiaba	Manga	Uva	Abacaxi	Caju

Fonte: RU UFRJ (2017)

**Quadro 7: Cardápio IFCS e Praia Vermelha de 05 de junho a 09 de junho**

JANTAR	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-feira	Sexta-Feira	Sábado	Domingo
<b>Prato Principal</b>	Picadinho misto	Guisado de Lombo	Quiche de queijo	Moqueca de Peixe	Picadinho de carne ao molho de Tomate	FECHADO	FECHADO
<b>Prato Vegetariano</b>	Torta de Palmito, milho e ervas	Esoondinho de Vegetais	Torta de grão de bico	Moqueca de Banana	Picadinho de Soja e ervilha	FECHADO	FECHADO
<b>Guarnição I</b>	Legumess à Juliana	Vagem ao Alho	Mostarda Refogado	Pirão	Brócolis ao alho	FECHADO	FECHADO
<b>Guarnição II</b>	Quibebe	Chuchu com Ervilha	Couve Flor com Cheiro verde	Repolho com cebolinha	Abobrinha com ervas	FECHADO	FECHADO
<b>Acompanhamentos</b>	Arroz branco e integral / Feijão preto	Arroz branco e integral / Feijão carioca	Arroz branco e integral / Feijão preto	Arroz branco e integral / Feijão preto	Arroz branco e integral / Feijão preto	FECHADO	FECHADO
<b>Sobremesa</b>	Doce de cocada	Banana	Tangerina	Maçã	Tangerina	FECHADO	FECHADO
<b>Refresco</b>	Suco 200ml cx	Suco 200ml cx	Suco 200ml cx	Suco 200ml cx	Suco 200ml cx	FECHADO	FECHADO

Fonte: RU UFRJ (2017)

### *3.4.1. DIFICULDADES ENFRENTADAS DURANTE O PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE DADOS*

Conforme foi mencionado na seção 3.3, a equipe de trabalho do RU Central envolve mais de 200 funcionários, incluindo agentes da UFRJ (professoras, nutricionistas e estagiários) e da empresa terceirizada prestadora de serviços, a Denjud. Como a rotina é muito intensa e o quadro de funcionários é muito grande, alguns procedimentos não são muito bem estabelecidos visto que o preparo das refeições em tempo hábil é sempre a prioridade.

Existem diversos formulários de controle do processo de preparo das refeições, inclusive um específico para os resíduos de pré-preparo que é a parte da produção na qual é gerada a maior quantidade de resíduos, porém nem sempre esses formulários são preenchidos ou são preenchidos de forma incompleta e até mesmo extraviados devido à manipulação por diversas pessoas, o que dificulta a realização de um compilado final das informações.

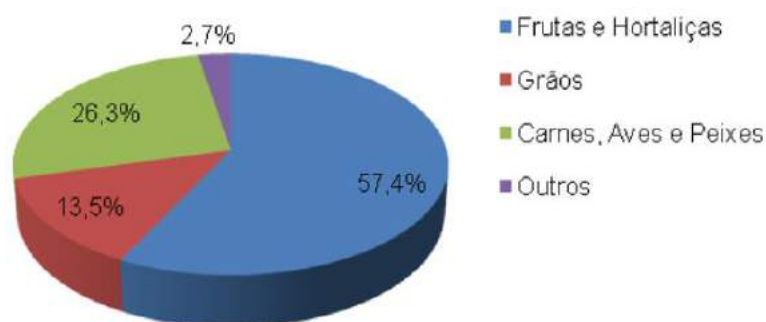
Durante os quatro primeiros dias do levantamento de dados foi possível estar presente no período das 8h às 16h para acompanhamento da pesagem dos resíduos de pré-preparo, tarefa esta que se tornou inviável durante todos os dias do espaço amostral. Dessa forma, não foram encontrados todos os formulários relativos aos dias nos quais não houve acompanhamento, o que acarretou na ausência de informações para a pesquisa. Observou-se que o formulário de sobras de balcão ou sobras limpas (refeições preparadas que não chegaram a ser servidas) costuma ser preenchido com maior frequência e tais informações foram cedidas pela equipe, já que não é possível manipular diretamente os resíduos. Já os resíduos de resto-ingesta ou pós-consumo (comida restante no prato dos comensais) não costumam ser pesados, e apesar de inicialmente haver um acordo de colaboração no qual a equipe do RU realizaria tal pesagem, por conta da rotina este procedimento só foi feito durante dois dias do período de levantamento de dados.

Visando obter mais informações foi feita a tentativa de obter mais uma semana de coleta de dados (06/08/2017 a 13/08/2017) para que se pudesse estimar de forma mais precisa a quantidade de resíduos gerados no RU Central, porém não haviam informações suficientes à disposição para incrementar a pesquisa.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ALIMENTAR

Este trabalho utilizou como base, para a caracterização dos resíduos do Restaurante Universitário, estudos anteriores que abordavam esta temática. Sendo assim, este capítulo apresenta uma caracterização geral, pois a variação do cardápio influencia diretamente os resultados.

A caracterização gravimétrica indica a possibilidade de aproveitamento das frações da matéria orgânica: frutas e hortaliças (verduras e legumes); grãos (leguminosas e cereais); carnes, aves e peixes; e outros, visto que as frações que compõem os resíduos afetam diretamente a caracterização química (ALVES, 2016). A Figura 14 ilustra as quantidades das frações encontradas por ALVES (2016) nos resíduos orgânicos (percentual em peso úmido) do restaurante universitário da UFRJ.



**Figura 14: Caracterização gravimétrica dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da UFRJ**

Fonte: ALVES (2016)



A caracterização química do resíduo alimentar proveniente do RU CT foi realizada em estudo recente (FERREIRA *et al*, 2017), cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Caracterização química dos resíduos orgânicos do restaurante universitário**

PARAMETRO	RESIDUO ALIMENTAR
pH	5,15
Umidade (%)	73,2
Carbono (%) <sup>a</sup>	51,6
Nitrogênio (mg/g) <sup>a</sup>	80,0
Fósforo (mg/g) <sup>a</sup>	0,03
Carboidratos (mg/g) <sup>a</sup>	83,3
Proteínas (mg/g) <sup>a</sup>	97,7
Oleos e graxas (mg/g) <sup>a</sup>	260,4
Sólidos Totais (mg/g) <sup>b</sup>	267,68
Sólidos Fixos (mg/g) <sup>b</sup>	16,31
Sólidos Voláteis (mg/g) <sup>b</sup>	251,37
Proteínas (mg/g) <sup>a</sup>	5,15

<sup>a</sup> mg/ g base seca; <sup>b</sup> mg/g peso úmido

Fonte: FERREIRA *et al* (2017)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 INVENTÁRIO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS

A Tabela 3 apresenta o número de refeições e a massa de resíduo orgânico aferida para cada dia do período de coleta (29/05/2017 a 09/05/2017). Como já foi dito anteriormente, existe a ausência de alguns dados: durante quatro dias, os resíduos de pré-preparo não foram pesados, ou o formulário foi extraviado; e o resíduo pós-consumo (resto-ingesta) foi pesado somente dois dias.

É válido ressaltar que o dia da semana, o cardápio e o horário (almoço ou jantar) influenciam de forma significativa para a variação da geração de resíduos no Restaurante Universitário. Dias com maior fluxo de alunos no campus, cardápios que sejam mais agradáveis ao paladar dos comensais e cardápios que possuam mais ossos dentre as opções servidas também interferem diretamente no volume dos resíduos produzidos nas refeições. Porém, percebeu-se uma variação considerável tanto nos resíduos de pré-preparo como nos de sobras de balcão, resultando em valores aquém do esperado. Em vista disso, acredita-se que nos formulários tais informações estejam incompletas.

Sendo assim, para a estimativa da geração diária de resíduos orgânicos foi calculada a média ponderada para os resíduos de todas as etapas do processo de preparação dos alimentos:

- **Pré-preparo:** Foi calculada a média ponderada considerando apenas os quatro primeiros dias, nos quais a pesagem foi acompanhada.
- **Sobras de balcão:** Foi calculada a média ponderada considerando a diferença entre a expectativa de refeições e as refeições servidas. Para os dias nos quais as refeições servidas superaram as expectativas, usou-se o módulo da diferença.

- **Resto-ingesta:** Também foi calculada a média ponderada. Apesar da pequena quantidade de dados, o valor se mostrou compatível com os encontrados na literatura (SOARES,2011) para restaurantes de grande porte.

A média de resíduos orgânicos referentes ao preparo do jantar se encontra ilustrada na Tabela 4. Notou-se que no almoço são preparadas pelo menos o dobro de refeições do jantar e, dessa forma, pode-se extrapolar esse valor e obter-se um valor mínimo de geração considerando o preparo de todas as refeições (almoço e jantar) do período estudado. A título de simplificação, os valores foram arredondados para 260 kg/dia e 780 kg/dia para os cálculos subsequentes.

**Tabela 3: Geração de resíduo alimentar no preparo do jantar no RU Central/UFRJ (29/05/2017 a 09/06/2017)**

Dia	Nº de refeições por restaurante						Massa dos resíduos no RU Central				
	Letras		CT		IFCS/PV		Central		Pré-preparo (kg)	Sobra limpa (kg)	Resto ingesta (kg)
	Expectativa	Servidas	Expectativa	Servidas	Expectativa	Servidas	Expectativa	Servidas			
29/mai	500	389	550	539	870	692	800	677	104	95	83
30/mai	500	476	650	660	870	735	1000	986	102	21	**
31/mai	578	583	700	748	870	706	800	966	87	40	57
01/jun	550	522	650	664	870	695	900	819	123	48	**
02/jun	450	364	550	402	820	614	800	671	*	12	**
03/jun	<b>S Á B</b>						830	396	*	154	**
04/jun	<b>D O M</b>						500	414	60	33	**
05/jun	650	549	700	717	820	695	1100	857	*	62	**
06/jun	600	536	650	673	820	676	1000	846	*	51	**
07/jun	700	493	900	520	820	548	1200	1236	174	88	**
08/jun	550	309	600	369	820	572	900	604	33	125	**
09/jun	650	350	600	384	820	463	800	734	31	119	**

\* O formulário de controle deste dia não foi encontrado pela nutricionista responsável, portanto estes valores foram estimados, a partir da média dos quatro primeiros dias.

\*\* Os resíduos não foram pesados.

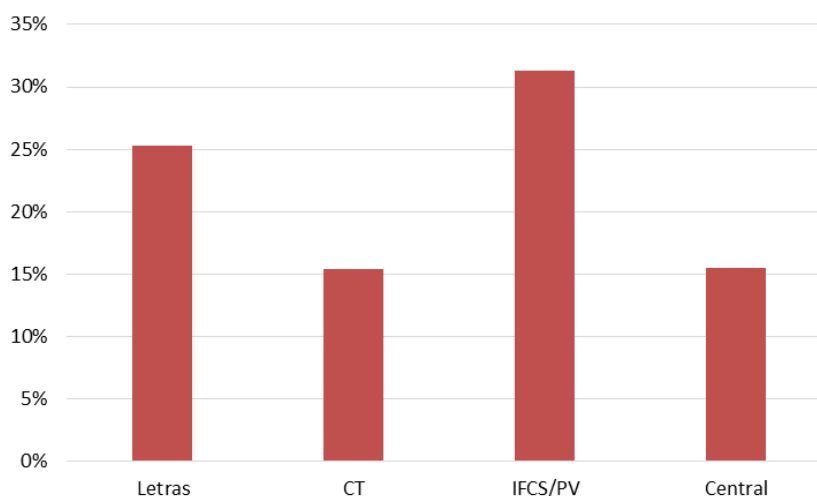
Fonte: Elaboração própria

**Tabela 4: Estimativa da geração de resíduos (kg/dia)**

JANTAR				JANTAR E ALMOÇO
Pré-preparo	Sobra limpa	Resto-ingesta	Total	Total acumulado
104	90	68	262	786

Fonte: Elaboração própria

Através da diferença entre a expectativa de refeições e as refeições servidas, foi possível estimar o desperdício (Figura 15) para cada restaurante, ressaltando que a redução da geração dos resíduos é prioridade na hierarquia aplicada na Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos, de acordo com a PNRS, conforme ilustra a Figura 1.



**Figura 15: Desperdício na produção de refeições para cada RU**

Fonte: Elaboração própria

#### **4.2 RELAÇÕES ESTABELECIDAS PARA O RU CENTRAL ATRAVÉS DA ANÁLISE DOS DADOS**

Todos os cálculos foram realizados de acordo com as fórmulas citadas em VAZ (2006) e a massa de resíduo orgânico por cliente foi encontrada através do somatório do per capita de resíduos de pré-preparo, sobras de balcão e resto-ingesta, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5: Relações extraídas através da análise dos dados**

Per capita de resíduos de pré-preparo (kg)	Per capita de sobra de balcão (kg)	Per capita de resto-ingesta (kg)	Massa de resíduo orgânico por cliente (kg)
0,048	0,117	0,088	0,254

Fonte: Elaboração própria

O valor da massa de resíduo orgânico por cliente foi considerado aceitável quando comparado com valores da literatura. A Tabela 6 apresenta alguns valores de massa de resíduo orgânico por cliente para outros restaurantes universitários, sendo que o estudo de ALBERTONI (2013) é o valor mais próximo, pois inclui também os resíduos de pré-preparo, de forma semelhante ao presente estudo, enquanto os demais consideram apenas os resíduos de sobras de balcão e resto-ingesta.

**Tabela 6: Comparativo da geração total de resíduos orgânicos em restaurantes universitários**

Autor	Universidade	Resíduo orgânico (kg)	Refeições	Resíduo orgânico (kg)/refeição
Albertoni (2013)	UTFPR	168,66	600	0,281
Costa <i>et al</i> (2004)	UEPB	450,77	4.000	0,113
Gomes (2014)	UFMG	406,72	2.480	0,164
Menezes, Santos e Leme (2002)	USP	268,60	2.000	0,134
Moura (2017)	UFRJ	768,00	3.024	0,254
Napolini <i>et al</i> (2009)	UFMT	1195,80	9.696	0,123
Ferreira (2015)	UFMG	500,00	3.600*	0,139
Rocha (2016)	UFJF	112,00	8.300	0,013
Sotti (2014)	UTFPR-LD	68,92	335	0,194

\* Informação retirada do site da Universidade

Fonte: Elaboração própria

### 4.3 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE METANO GERADO NA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DO RU

A metodologia utilizada para a avaliação do potencial de geração de biogás no biodigestor e seu aproveitamento energético baseou-se nas etapas descritas a seguir, de acordo com Rocha (2016).

#### 4.3.1. ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE GÁS METANO PRODUZIDA A PARTIR DO TEOR DE DEGRADABILIDADE DO SUBSTRATO AFLUENTE

Diversos autores sugerem que a porcentagem de sólidos totais voláteis (SV) que compõem os resíduos alimentares varia na faixa de 27,6 a 17,1 % (Quadro 8):

**Quadro 8: Composição de SV característica dos resíduos alimentares**

Autor	Zhang <i>et al</i> (2006)	Li <i>et al</i> (2011)	Zhang <i>et al</i> (2011)	Browne <i>et al</i> (2012)	Zhang <i>et al</i> (2013)
SV (%)	26,4	22,6	17,1	27,6	21,0

Fonte: Rocha (2016)

Os resíduos alimentares possuem em média 23% de sólidos voláteis em sua composição. Considerando-se a quantidade diária de 780 kg, a quantidade de sólidos voláteis seria igual a: **179,40 kg SV/dia.**

Segundo FERREIRA (2015) e KUBASKÁ *et al* (2010), uma tonelada de sólidos voláteis produz em média um volume de 400 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>. Logo, a produção diária de metano seria igual a **71,76 m<sup>3</sup>/dia.**

#### 4.3.2. ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO GÁS METANO PRODUZIDO

Segundo COLDEBELLA *et al* (2006), o metano, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), tem um poder calorífico inferior (CPI) de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>. Dessa forma, tem-se a produção de: **710,42 kWh/dia.**

A eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores (motores ciclo Otto) é de aproximadamente 25% (CCE, 2000). Sendo assim, a produção real de energia seria equivalente a: **177,60 kWh/dia**.

De acordo com a Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica divulgada pela EPE, em janeiro de 2016, o consumo médio mensal residencial de energia por unidade consumidora no período de dezembro de 2014 a dezembro de 2015 foi de 161,8 kWh (EPE, 2016). Com a produção estimada de 5328 kWh por mês, seria possível suprir a demanda de 33 casas.

#### **4.4 ESCOLHA DO BIODIGESTOR**

Segundo AUSTERMANN *et al* (2007), recomenda-se sistemas de batelada de único estágio para unidades de pequeno porte, em que a recuperação energética não é prioridade. De modo a propiciar a continuidade do sistema e uma constante produção de biogás, a tendência é a operação de vários digestores de batelada em série, promovendo a realização de partidas e esvaziamentos sequenciais dos digestores (AUSTERMANN *et al*, 2007).

Seria ideal que a aceitabilidade da utilização da biodigestão no campus crescesse ao longo do tempo, dessa forma não só os resíduos alimentares do RU Central, como também de outras fontes geradoras, como também os de poda e jardinagem, seriam encaminhados ao biodigestor. Em vista disso, através da literatura, observou-se que o processo termofílico é o mais adequado para a degradação da matéria orgânica, sendo capaz de digerir também a lignina e, portanto, degradar materiais lenhosos, os quais poderão ser incorporados ao processo inicial de funcionamento do biodigestor.

A digestão anaeróbia via seca seria a mais indicada devido à robustez do processo e simplicidade de operação, mostrando resultados bastante satisfatórios. Um bom exemplo foi o biodigestor projetado por GRAUNKE (2008) para tratar os restos de alimentos produzidos no Refeitório Broward da Universidade da Flórida. No projeto, foi utilizado um biodigestor de batelada, com volume útil de 90 litros, alimentado e misturado diariamente numa taxa de 2



gSVT/L e adotando um Tempo de Retorno Hidráulico (TRH) de 30 dias. O biodigestor foi operado a temperatura ambiente, sendo apenas pintado de cor azul para absorver energia solar. Como resultado, obteve-se uma taxa de produção média de biogás de 0,5188 litros de biogás/gSV/dia, ou seja, 93,4 L/dia de biogás. Esse gás foi utilizado para complementar as demandas de gás natural do refeitório, conforme propõe a presente pesquisa.

O tipo de biodigestor mais indicado seria o digestor de baia ou tipo garagem. Trata-se de uma estrutura muito simples e robusta (Figura 16) que opera de maneira descontínua (bateladas), sem adição de água e a operação não necessita de agitação ou circulação de resíduos. Esse tipo de tecnologia é estanque a gás e a operação é iniciada por meio da adição de ar que provoca um aumento da atividade microbiana e da temperatura no interior do digestor. Ao final do processo de digestão anaeróbia, o gás gerado é armazenado e filtrado. O processo de digestão em batelada é, então, concluído e repete-se. Uma boa estratégia empregada para agilizar o processo é não esvaziar completamente o reator, com o intuito de misturar uma parcela do material digerido (inóculo) com substrato fresco (BRASIL, 2015).



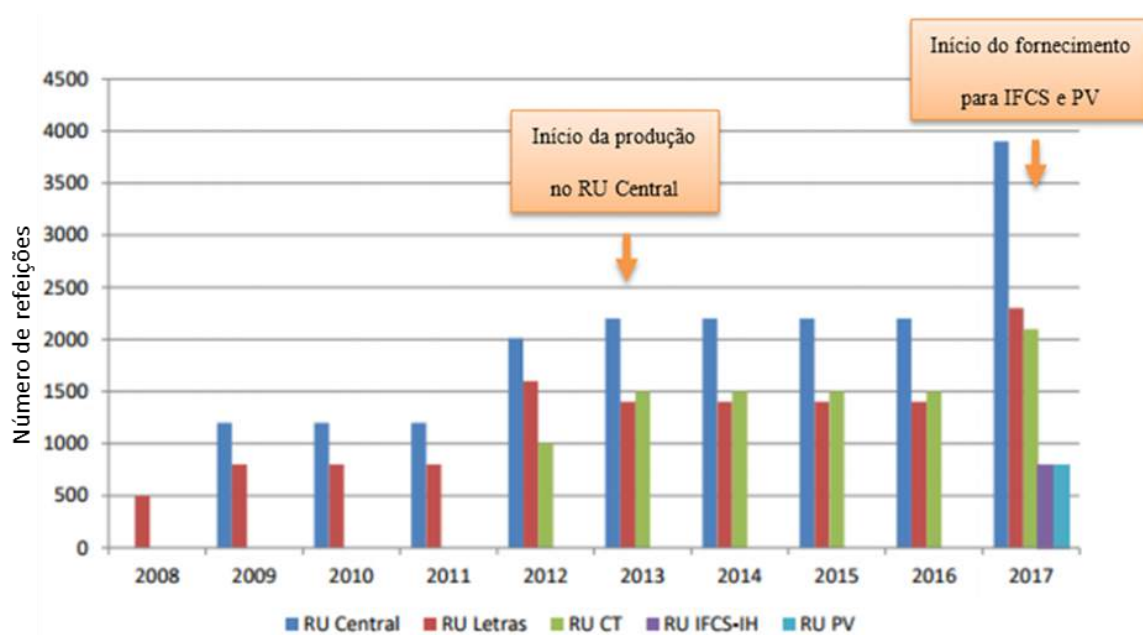
**Figura 16: Reator de metanização com tecnologia baseada em processo seco descontínuo - Tipo "garagem"**  
Fonte: BRASIL (2015)

Apesar da delimitação da localização da planta de biodigestão não ser um dos objetivos deste trabalho, é válido dizer que a instalação desse biodigestor deve ser realizada em um local da Cidade Universitária próximo ao RU Central, a fim de facilitar a logística do transporte dos resíduos e também a utilização do biogás como gás de cozinha no restaurante.

#### 4.5 APROVEITAMENTO DO BIOGÁS GERADO COMO GÁS DE COZINHA NO RU CENTRAL

##### 4.5.1 CONSUMO DE GÁS NO RU CENTRAL

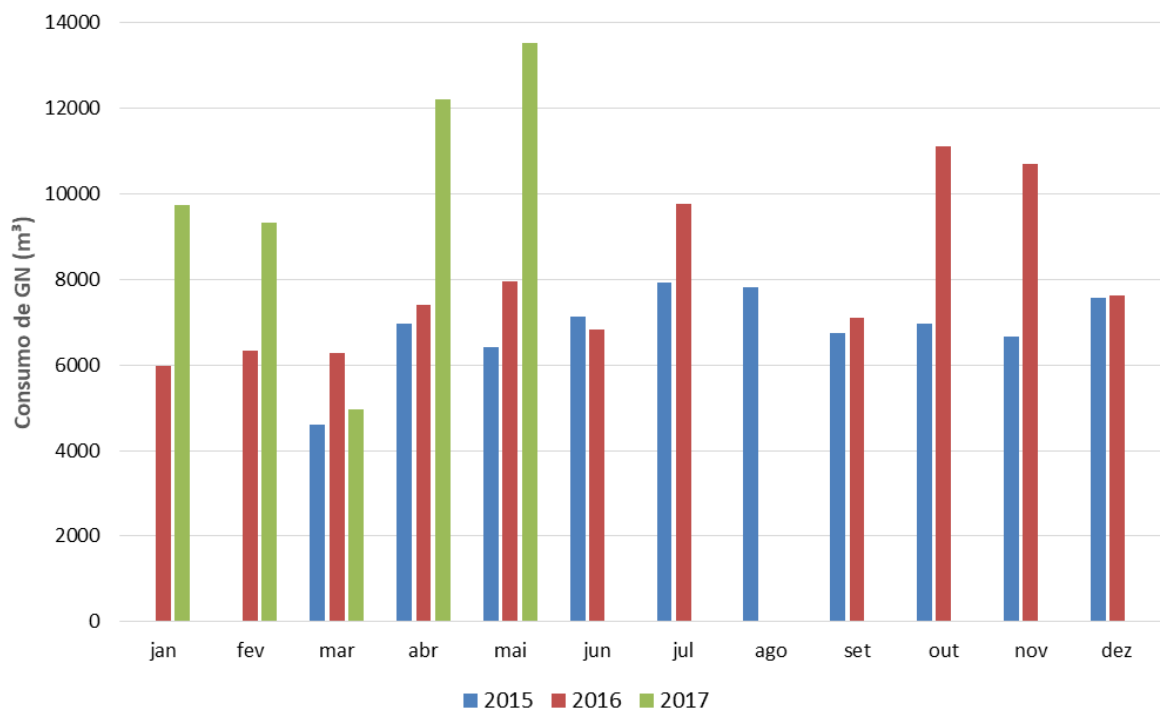
Ao decorrer dos anos o RU Central foi expandindo a produção das refeições e, conseqüentemente, aumentando o consumo de gás natural para o processo de cocção dos alimentos. Conforme mostra a Figura 17, até o ano de 2012 as refeições não eram preparadas no RU Central, dessa forma não havia consumo de gás natural (GN) pela unidade. A partir de 2013, as refeições (almoço e jantar) passaram a ser produzidas no próprio RU e no presente ano (2017) houve um incremento na produção de refeições, como também, a abertura de mais duas unidades satélites nos campus do Centro (IFCS) e Praia Vermelha (PV), o que aumentou de modo considerável o consumo de GN e, conseqüentemente, a despesa referente à conta de gás.



**Figura 17: Número de refeições servidas (almoço e jantar) ao longo do tempo**

Fonte: Adaptado de INJC/UFRJ (2013)

Esse aumento de consumo de GN foi perceptível através da análise de duas contas de gás do restaurante (referentes a maio de 2016 e a maio de 2017), nas quais observou-se o consumo de gás do período de março de 2015 a maio de 2017 (Figura 18). No ano de 2015, a variação de consumo de um mês para o outro foi pequena e considerada normal, apresentando um consumo médio em torno de 7 mil m<sup>3</sup> de GN. Já em 2016, as variações de consumo foram mais significativas, o que pode ser explicado devido a eventos como greve e jogos olímpicos (feriados). O consumo médio foi em torno de 8 mil m<sup>3</sup>, porém o mês de agosto não houve medição fato este que nenhum responsável do RU soube explicar. Em 2017, com a abertura de mais dois restaurantes, houve um aumento considerável do consumo de gás a partir de abril, apresentando um consumo de 13530 m<sup>3</sup> de GN, o que gera um custo aproximado de R\$ 59.500 (cinquenta e nove mil e quinhentos reais).



**Figura 18: Consumo de gás do período de março de 2015 a maio de 2017**

Fonte: Elaboração própria

#### *4.5.2 ECONOMIA DE GÁS PROPORCIONADA PELA DIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS*

Segundo o manual da empresa BGS Equipamentos para biogás, um fogão para uso de biogás com queimador duplo possui uma taxa de consumo de 0,45 m<sup>3</sup>/h de biogás por queimador. Na seção 4.3.1, a estimativa da quantidade de gás metano produzida foi equivalente a 71,76 m<sup>3</sup>. Como, segundo a Tabela 1, na melhor das hipóteses o metano equivale a 70% da composição do biogás, assumindo então que a porcentagem de metano na composição do biogás oriundo da biodigestão dos resíduos orgânicos do RU seja equivalente a 60%, estima-se que o volume de biogás gerado seria igual a 119,60 m<sup>3</sup>. Baseando-se nesse volume produzido diariamente, seria possível manter a chama de um queimador acesa por aproximadamente 266 horas, sem interrupção.

Este gás também poderia ser utilizado para geração de energia elétrica ou destinado para alimentação de lâmpadas para iluminação de alguns pontos do Campus, ou ainda, ser utilizada diretamente na rede de transmissão proporcionando um desconto no valor da tarifa mensal do uso de energia, por exemplo, porém deve-se levar em consideração que usos mais nobres do biogás requerem maiores tratamentos para sua purificação.

De acordo com Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), cada m<sup>3</sup> de biogás equivale energeticamente a 0,5 kg de GLP, como a capacidade de produção diária de biogás é de 119,60 m<sup>3</sup>, seria gerado diariamente o equivalente a 59,80 kg de gás de cozinha, ou seja, 1794 kg/mês. Segundo a Companhia de Gás de Santa Catarina (SCGás) cada kg de GLP é equivalente a 1,3 m<sup>3</sup> de GN que seria equivalente à 2332,20 m<sup>3</sup>/mês de GN por meio da digestão anaeróbia, em torno de 17 % do consumo médio mensal.

## **4.6 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS**

### *4.6.1 ANÁLISE AMBIENTAL*

Os benefícios advindos com a digestão anaeróbia são diversos e estão diretamente associados com as determinações da PNRS. Como dito anteriormente, o RU Central gera cerca de 780 kg de resíduos orgânicos diariamente, isto significa que, por ano, cerca de 285 toneladas de resíduos úmidos são encaminhadas para o aterro sanitário. Este tipo de ação pode acarretar em diversos problemas ambientais, visto que a decomposição da matéria orgânica no aterro produz um lixiviado (chorume) altamente contaminante que pode percolar pelo solo e chegar até o lençol freático, poluindo os compartimentos ambientais, caso não exista um sistema adequado de captação. O chorume ao entrar em contato com os corpos d'água provoca a eutrofização, proliferação de algas, redução do oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, a mortandade de diversas espécies de peixes. Além da contaminação, outro impacto importante causado pela degradação da matéria orgânica nos aterros sanitários é a instabilidade geotécnica, comprometendo a segurança do espaço.

Por isso, é necessário que medidas sejam tomadas, visto que a redução do percentual dos resíduos úmidos dispostos em aterros é uma das metas estipuladas no capítulo V do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares). Porém, o alcance desse objetivo depende do engajamento das três esferas de governo, além de outras medidas que fomentem a participação da sociedade e do setor privado neste processo de mudança de cenário. Nesse aspecto, conforme estabelece o Planares, é essencial a elaboração de planos estaduais, intermunicipais e, quando aplicável, em escalas menores de estudo. Dessa forma, seria essencial que a UFRJ elaborasse um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, com o objetivo de organizar a gestão dos resíduos da universidade, de forma a gerar o menor impacto ambiental possível, utilizando de maneira responsável os recursos através de boas práticas no ambiente da Administração Pública, conforme os princípios da A3P. Segundo

BARTON *et al* (2008), considerando apenas o CH<sub>4</sub>, estima-se que o tratamento e disposição de resíduos urbanos representem 13% das emissões antropogênicas deste GEE. Os aterros sanitários são as principais fontes dessas emissões seguidos dos sistemas de tratamento de águas residuárias. Os dejetos das criações animais em confinamento (suínos, aves e gado) responderiam por 4% das emissões anuais de metano.

A *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) tem aprovado e revisado metodologias de cálculo de emissões de gases de efeito estufa para subsidiar inventários de emissões e projetos MDL na área de tratamento e disposição de resíduos orgânicos (INÁCIO, 2010). Considerando o fator de emissão padrão dessas metodologias de cálculo, para aterros de resíduos, cada miligrama de restos de alimentos gera cerca de 0,85 tCO<sub>2</sub>eq, referente às emissões de metano, em um período de 10 anos. Esta mesma quantidade de resíduo, após ser enviada para um processo de digestão anaeróbia, geraria apenas 0,085 tCO<sub>2</sub>eq, resultando em um potencial de mitigação das emissões de metano de cerca de 90%. Para a geração de resíduos orgânicos do RU Central, isso significa que no período de 1 ano é evitada a emissão de 21.802.500 tCO<sub>2</sub>eq. Sendo assim, a digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos se apresenta como uma excelente forma de:

- Cumprir as determinações da PNRS;
- Reduzir os custos de transporte e destinação final dos resíduos;
- Reduzir a poluição e aumentar a vida útil dos aterros sanitários;
- Reduzir a emissão de gases de efeito estufa;
- Reduzir os impactos ambientais;
- Proporcionar a melhoria da qualidade de vida no campus;
- Incentivar a educação ambiental e a inovação tecnológica;

- Gerar subprodutos tais como biofertilizante e gás de cozinha que podem ser aproveitados no próprio campus.

#### 4.6.2 ANÁLISE ECONÔMICA

Os projetos de plantas de digestão anaeróbia ainda são muito raros no país, podendo apresentar valores de investimento (CAPEX) e custos operação e manutenção (OPEX) relativamente elevados, o que é uma característica típica de um mercado incipiente. Por isso, muitas vezes é necessário recorrer a tecnologias e *know-how* estrangeiros, pois a falta de experiência no desenvolvimento de projetos nacionais cria uma insegurança com relação aos modelos de negócios aplicáveis e à viabilização em longo prazo dos projetos. Tal incipiência de mercado provoca outros desafios para a implementação da tecnologia, tais como a necessidade de investimentos para aquisição de conhecimento, desenvolvimento de clientes e de fornecedores, capacitações de profissionais e oferta de serviços no mercado. Essas são as principais barreiras para a dinâmica de desenvolvimento do mercado. Dessa forma, é mais natural que as grandes fontes geradoras de resíduos, como é o caso da UFRJ, encaminhem seus resíduos ao aterro sanitário mais próximo através da contratação de uma empresa que realiza o serviço de coleta e transporte.

Diante disto, devido à dificuldade da UFRJ em obter recursos para o financiamento de projetos de cunho ambiental, o Fundo Verde de Desenvolvimento e Energia para a Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro foi criado em 2013, através do Decreto Estadual nº 43.903/2012, com a finalidade de reverter recursos oriundos da isenção do imposto ICMS, cobrado pelo governo do estado do Rio de Janeiro, sobre a conta de energia elétrica do campus da Cidade Universitária, em projetos de melhoria da mobilidade, uso eficiente da energia e produção a partir de fontes alternativas, redução do consumo de água, resíduos e monitoramento de indicadores no campus. Anualmente, o Fundo Verde dispõe de aproximadamente R\$ 7 milhões, esse recurso é gerenciado pelo escritório de

projetos do Fundo Verde e pela Fundação de Apoio da UFRJ (COPPETEC). Todos os gastos são submetidos à aprovação de um conselho, formado por representantes da iniciativa pública e privada, da Universidade, e profissionais qualificados. Dessa forma, existe a possibilidade da equipe técnica do Fundo Verde avaliar o projeto e financiar uma parte dos custos de instalação de uma planta de digestão anaeróbia no campus, pois a partir da existência deste Fundo nota-se a preocupação da Universidade com a sustentabilidade das atividades no campus. Procurou-se então calcular o tempo de retorno do investimento a fim de avaliar sua viabilidade

### **Tempo de retorno do investimento**

Essa análise foi feita através do cálculo do período de retorno do descontado (PRD) (Equação 1) que mede o prazo necessário em anos para a recuperação do investimento, considerando o investimento inicial, as receitas geradas através da instalação da planta de biodigestão, o tempo de vida útil do sistema e a taxa de desconto, o período de retorno simples (PRS) (Equação 2), e o fator de recuperação de capital (FRC) (Equação 3).

$$PRD = n \times FRC_{(d,n)} \times PRS \quad (1)$$

$$PRS = \frac{\text{Investimento inicial (R\$)}}{\text{Economia por ano } \left(\frac{RS}{ano}\right)} \quad (2)$$

$$FRC_{(d,n)} = \frac{d \times (1 + d)^n}{(1 + d)^n - 1} \quad (3)$$

Onde:

$d$  = taxa de desconto;

$n$  = tempo de vida útil do sistema.



É importante ressaltar que este tipo de análise é baseado em cálculos simplificados, onde não são considerados fatores tais como impostos, evolução da taxa de desconto ao longo do tempo (considera-se uma taxa fixa), aumento das tarifas de gás natural e de coleta e transporte dos resíduos.

### Proposição de cenários

Foram propostos três cenários para o cálculo do tempo de retorno de investimento:

- **Cenário 1:** Foi adotado o custo de instalação do biodigestor como investimento e a receita seria a economia proporcionada pelas reduções nas contas de gás e de transporte e destinação dos resíduos, considerando apenas os gerados pelo RU Central;
- **Cenário 2:** Similar ao cenário 1, porém assumindo a capacidade de o Fundo Verde custear 20% do custo de instalação do biodigestor.
- **Cenário 3:** Similar ao cenário 1, porém assumindo que os resíduos gerados nos RUs CT e Letras também seriam encaminhados à biodigestão, estimando que cada um dos restaurantes gere pelo menos 300<sup>1</sup> kg de resíduos orgânicos por dia e que outros restaurantes<sup>2</sup> da Cidade Universitária gerem pelo menos 100 kg/dia.

O Quadro 9 resume as premissas utilizadas para o cálculo referente a cada cenário proposto.

**Quadro 9: Dados comuns a todos os cenários propostos**

Informações comuns a todos os cenários					
<i>Taxa de desconto (d)</i>	<i>Tempo de vida útil do sistema (n)</i>	<i>Investimento inicial</i>	<i>Custo de operação</i>	<i>Tarifa CEG Rio</i>	<i>Taxa de disposição em aterro</i>
9,25%	20 anos	290.000,00 RS/ton.dia	70,00 RS/ton	4,40 RS/m <sup>3</sup> GN	60,00 RS/ton

Fonte: Elaboração própria

<sup>1</sup> Assumindo que cada RU (CT e Letras) sirva em torno de 1200 refeições, considerando a massa de resíduos orgânicos por cliente apresentada na Tabela 5.

<sup>2</sup> Baseado no guia de serviços da Prefeitura Universitária. Foram contabilizados apenas os restaurantes, excluindo-se lanchonetes e trailers, totalizando 13 estabelecimentos.

A taxa de desconto adotada foi a taxa Selic (9,25%), que é a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais. Para fins de cálculo da taxa, são considerados os financiamentos diários relativos às operações registradas e liquidadas no próprio Selic e em sistemas operados por câmaras ou prestadores de serviços de compensação e de liquidação. Logo, a taxa Selic Meta representa a taxa básica da economia no Brasil, pois serve como parâmetro para todas as outras praticadas no mercado. Ela tende a ser a menor taxa de juros que existe na economia.

O tempo de vida útil assumido foi de 20 anos, que é o tempo usual de projetos de disposição de resíduos sólidos urbanos.

O preço de investimento inicial para instalação da planta de biodigestor foi estimado pela EPE (2008) como R\$290.000,00 (duzentos e noventa mil reais) por tonelada de resíduo gerado diariamente e o custo de operação, também de acordo com a EPE, como R\$ 70,00 por tonelada de resíduo diária.

A tarifa da conta de gás natural foi obtida através de informações da Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG-Rio).

O contrato atual entre a UFRJ e a empresa contratada para serviços de coleta e transporte de resíduos é baseado em unidade de volume e não em massa, pode não ser a mais ideal, pois dessa forma o valor de contrato é baseado na estimativa de caçambas utilizadas para o transporte de resíduos, podendo haver prejuízo para a instituição, uma vez que nem sempre as caçambas são encaminhadas ao aterro completamente cheias. Já no contrato baseado na massa de resíduos gerado, paga-se exatamente pela quantidade de resíduos encaminhada à disposição final. Por conta disto, há indícios que este contrato está sendo alterado e a versão atualizada ainda não está disponível para acesso público. Sendo assim, os cálculos deste

capítulo consideraram o preço médio de tratamento em aterros como R\$ 60,00 (sessenta reais) por tonelada de resíduos (CICLUS AMBIENTAL<sup>3</sup>).

O Quadro 10 apresenta os resultados obtidos para cada cenário.

**Quadro 10: Resumo dos resultados para cada cenário**

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<i>Massa de resíduos orgânicos</i>	780,00 Kg/dia	780,00 Kg/dia	2.680,00 Kg/dia
<i>Investimento inicial</i>	226.200,00 R\$	180.960,00 R\$	777.200,00 R\$
<i>Custo de operação</i>	19.929,00 R\$/ano	19.929,00 R\$/ano	68.474,00 R\$/ano
<i>Economia de disposição em aterro</i>	17.082,00 R\$/ano	17.082,00 R\$/ano	58.692,00 R\$/ano
<i>Volume de gás produzido</i>	2.332,20 m <sup>3</sup> /mês	2.332,20 m <sup>3</sup> /mês	8.013,20 m <sup>3</sup> /mês
<i>Economia na conta de gás</i>	123.014,22 R\$/ano	123.014,22 R\$/ano	422.664,25 R\$/ano
<i>Receita</i>	120.167,22 R\$/ano	120.167,22 R\$/ano	412.882,25 R\$/ano
<i>PRS</i>	1,88 ano	1,51 ano	1,88 ano
<i>FRC</i>	0,11		
<i>PRD</i>	4 anos	3 anos	4 anos

Fonte: Elaboração própria

O projeto se mostra viável devido ao curto período de tempo de retorno do investimento para as três situações. No cenário 2, no qual adota-se que o Fundo Verde possa financiar 20% do investimento do projeto, o resultado é ainda mais animador. O custo de investimento inicial é proporcional à quantidade de resíduos gerados, portanto mesmo aumentando a quantidade de resíduos encaminhada à biodigestão, conforme sugere o cenário 3, o tempo de retorno não sofre alteração. Mesmo baseado em cálculos simples, os resultados comprovam que existe uma grande vantagem na adoção do sistema de digestão anaeróbia para o tratamento dos resíduos orgânicos da Cidade Universitária da UFRJ, visto que, além de se adequar à legislação vigente, a Universidade estaria reduzindo os custos, ou seja, economizando

<sup>3</sup> Através de ligações e pesquisas de orçamento.

dinheiro público ao administrar melhor seus gastos, já que a economia de recursos proporcionada pela utilização do biodigestor poderia ser redirecionada para outras prioridades do campus.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

O presente trabalho objetivou quantificar o potencial de geração de energia dos resíduos orgânicos gerados na UFRJ, a partir da biodigestão dos restos alimentares do RU, de modo a permitir uma análise dos potenciais benefícios da não disposição desses resíduos em aterro sanitário. Os resultados evidenciaram que os resíduos orgânicos do RU Central apresentam um enorme potencial de geração de energia a partir do biogás, corroborando a hierarquia dos resíduos orgânicos, a qual considera a biodigestão uma alternativa muito mais interessante que a mera disposição desses resíduos em um aterro sanitário. A contribuição da digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos é evidente, entretanto antes da aplicação da tecnologia são necessárias medidas que reduzam a geração dos resíduos orgânicos.

O levantamento de dados mostrou significativa geração de resíduos orgânicos (em torno de 780 kg/dia) do RU Central do campus Cidade Universitária, havendo necessidade de implementar medidas de controle de desperdício e redução da geração de resíduos, conforme preconiza a PNRS. Para isso, é preciso haver uma visão sistêmica do processo de produção dos alimentos e uma boa solução seria um controle mais rígido do preenchimento de todos os formulários, desde os resíduos até a qualidade das refeições preparadas. Além disso, a pesquisa mostrou que a biodigestão dos resíduos orgânicos seria capaz de gerar em torno de 17% do volume de biogás consumido pelo RU, gerando economia dos recursos da Universidade, tanto em consumo de gás quanto em disposição de resíduos sólidos.

O projeto da planta de biodigestão proposto se mostra viável, trazendo benefícios tanto no âmbito ambiental quanto no econômico, à medida que proporciona economia dos recursos financeiros da Universidade em um curto período de tempo (4 anos, sem incentivo), mesmo no primeiro cenário onde sua escala é reduzida. O custeio de uma parte do projeto pelo Fundo Verde da UFRJ reduz ainda mais o tempo de retorno (3 anos). A instalação da planta de biogás também pode ser uma ferramenta de incentivo à pesquisa e inovação tecnológica,

suprindo uma demanda dos alunos de Engenharia Ambiental por experiências práticas. O biofertilizante, um subproduto da biodigestão rico em nutrientes, poderia ser utilizado como substrato para as áreas verdes do campus. Outro ponto a ser considerados é a melhora da qualidade de vida na Cidade Universitária e do bem-estar da comunidade acadêmica, à medida que com a biodigestão haveria uma redução considerável da quantidade de caçambas para o armazenamento dos resíduos, o que beneficia a estética do entorno. Dessa forma, a gestão adequada dos resíduos orgânicos, também evita problemas como a atração de vetores e transmissores de doenças, mau cheiro, poluição visual, poluição do solo, da água e do ar devido ao chorume.

Mesmo não sendo o foco principal do presente trabalho, pode-se dizer que diante dos resultados apresentados a implantação de uma planta de biogás no campus também seria uma alternativa para o suprimento de energia, caso a biodigestão fosse adotada como forma de tratamento para os resíduos orgânicos produzidos na Cidade Universitária como um todo. Tal ação contribuiria não só para a diversificação da matriz energética de maneira, como também para a redução dos custos da Universidade com energia elétrica, mostrando que o biogás pode ser considerado uma fonte renovável e economicamente atrativa.

Recomenda-se que trabalhos futuros que venham a abordar essa temática pensem em medidas para reduzir o desperdício de alimentos no preparo das refeições servidas nos Restaurantes Universitários, realizem o diagnóstico dos resíduos de poda e capina no campus, calculem a estimativa de resíduos orgânicos gerados pelos demais permissionários e estabelecimentos presentes na Cidade Universitária e também proponham um estudo para diferentes configurações de reatores, assim como a avaliação dos custos de implementação. Por fim, outra sugestão interessante seria o estudo da viabilidade do uso do efluente como biofertilizante e a avaliação da necessidade de um pós-tratamento para este fim.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 2004, NBR ISO 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. 2ª ed., Rio de Janeiro.

ABRELPE, 2012. Caderno Informativo: Recuperação Energética – Resíduos Sólidos Urbanos.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Brasil. 2013.

ALBERTONI, T. A. Caracterização física dos resíduos sólidos gerados em restaurante universitário. 2013. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

ALVES, I. Avaliação da Codigestão na Produção de Biogás. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informação de Geração. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>>.

Acesso em: Julho, 2017.

AUSTERMANN, S.; ARCHER, E.; WHITING, K. J. Commercial Assessment - Anaerobic Digestion Technology for Biomass Projects, Juniper for Renewables East. Juniper for Renewable East, 2007. Disponível em: <[http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF\\_LIB\\_RE S/PUBLICATIONS/RENEWABLES%20EAST%20-%20ANAEROBIC%20DIGESTION%20\(FULL%20REPORT\).PDF](http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF_LIB_RE S/PUBLICATIONS/RENEWABLES%20EAST%20-%20ANAEROBIC%20DIGESTION%20(FULL%20REPORT).PDF)>. Acesso em: julho de 2017.

BARTON, J. R.; ISSAIAS, I.; STENTIFORD, E. I. Carbon – making the right choice for waste management in developing countries. Waste Management, v. 28, p. 690-698, 2008.  
BRASIL. Ministério das Minas e Energia. EPE. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília-DF. 2010

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. O estado da arte da tecnologia de metanização seca / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autor, Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-metanizacao-rsu.pdf>>. Acesso em: agosto de 2017.

CAMMAROTA, M. Biotecnologia Ambiental. Rio de Janeiro, 2013. (Apostila).

CCE - Centro para Conservação de Energia. Guia Técnico do Biogás. Ed. JE92 Projectos de Marketing Ltda, Algés, Junho, 2000.

COLDEBELLA, A., SOUZA, S., SOUZA, J., KOHELER, A. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: julho de 2017.

COSTA. F.X; LUCENA, A. M. A. DE; TRESENA, N. DE L.; GUIMARÃES, F. S; GUIMARÃES, M. M. B; SILVA, M. M. P; GUERRA, H. O. C. Estudo qualitativo e quantitativo dos resíduos sólidos do Campus I da Universidade Estadual da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra. João Pessoa, v. 4, n. 2, 2º semestre 2004.

COMASTRI FILHO, J. A. BIOGÁS: Independência energética do pantanal mato-grossense. EMBRAPA, Corumbá-MS, circular técnica n09, out. 1981.

COOPER, M. (Coord.). Plano Diretor Socioambiental Participativo do Campus “Luiz de Queiroz”. Piracicaba: USP, 2009. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/biblioteca/PDF/plano\\_diretor\\_socioambiental.pdf](http://www.esalq.usp.br/biblioteca/PDF/plano_diretor_socioambiental.pdf)> Acesso em: junho de 2017.

CORREIO BRAZILIENSE. Iniciativa transforma restos orgânicos em combustível e fertilizante. Belo Horizonte, p. 1-1. 27 maio 2014. Disponível em: <[http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2014/05/27/interna\\_ciencia\\_saude,429487/iniciativa-transforma-restos-organicos-em-combustivel-e-fertilizante.shtml](http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2014/05/27/interna_ciencia_saude,429487/iniciativa-transforma-restos-organicos-em-combustivel-e-fertilizante.shtml)>. Acesso em: 08 jul. 2016.

DE BAERE, L. Trends and Perspectives for Anaerobic Digestion: An Overview. In: ISWA BEACON CONFERENCE: „The Global Challenge: Optimising The C-Cycle, 2008, Perugia, Itália. Disponível em: <[http://www.iswa.it/materiali/ISWA\\_beacon\\_conference\\_2008/Proceedings%20Iswa%20Beacon%20Conference%202008/1-%20Thursday%2022nd%20May%20-%202008/Session%203%20-%20The%20anaerobic%20option/Luc%20De%20Baere.pdf](http://www.iswa.it/materiali/ISWA_beacon_conference_2008/Proceedings%20Iswa%20Beacon%20Conference%202008/1-%20Thursday%2022nd%20May%20-%202008/Session%203%20-%20The%20anaerobic%20option/Luc%20De%20Baere.pdf)>. Acesso em: junho de 2017.

DE BAERE, L. Dranco Process: A Dry Continuous System for Solid Organic Waste and Energy Crops. In: International Symposium on Anaerobic Dry Fermentation, 2008, Berlim, Alemanha. Apresentação: 2008. Disponível em: < [http://www.ows.be/pub/Dranco-Process\\_IBBKfeb08.pdf](http://www.ows.be/pub/Dranco-Process_IBBKfeb08.pdf)>. Acesso em: junho de 2017.

DE BAERE, L.; MATTHEEUWS, B. State-of-the-art 2008 - Anaerobic Digestion of Solid Waste. Waste Management World. v.9, N. 4, Julho 2008. p. 8. Disponível em: < <http://www.waste-management-world.com/index/display/article-display/339836/articles/waste-management-world/volume-9/issue-4/features/state-of-the-art-2008-anaerobic-digestion-of-solid-waste.html>>. Acesso em: junho de 2017.

Decreto Federal nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em:



<[http://www.planaltp.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planaltp.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)>. Acesso em: maio de 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética, Nota Técnica DEN 06/08 – Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. EPE. Rio de Janeiro, 77 p. 2008.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acessado em: julho de 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Série Recursos Energéticos. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Nota Técnica DEN 06/08. Rio de Janeiro, 2008.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Rurais, Nota Técnica DAE 15/14. Rio de Janeiro, 2014.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, janeiro de 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal>>. Acesso em: maio de 2017.

FERREIRA, B.O. Avaliação de um Sistema De Metanização de Resíduos Alimentares com vistas ao Aproveitamento Energético do Biogás. Belo Horizonte: UFMG, 2015.

FERREIRA, J.; CAMMAROTA, M.; VOLSCHAN, I. Efeito da Adição de Resíduo Alimentar na codigestão de Lodo de Esgoto. Congresso ABES. 2017

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. Gülzow, Alemanha. 2010.

GOMES, F. Biometanização Seca de RSU – Estado da Arte e Análise Crítica das Principais Tecnologias. Ouro Preto: UFOP, 2010.

GOMES, J., N., C. Potencial de produção de energia a partir da biometanização de resíduos orgânicos do campus Pampulha da UFMG. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2014.

GRAUNKE, R.E. and WILKIE, A.C. (2008). Converting food waste to biogas: sustainable Gator dining. Sustainability: The Journal of Record, 1(6):391-394.

GRAUNKE, R.E; WILKIE, A.C. (2014). Examining the mechanisms of short-term solubilization of ground food waste for high-rate anaerobic digestion. International Biodeterioration & Biodegradation, 86:323-333.

HAACK, S. C. Avaliação técnica e econômica para aproveitamento da biomassa caprina em biodigestores no Semi-Árido Baiano. Salvador: UFBA, 2009.

INÁCIO, C.; BETTIO, D.; MILLER, P. O papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissão de metano. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 22 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 127).

KOSSMANN, W. HABERMEHL, S. HOERZ, T. KRÄMER, P. KLINGLER, B. KELLNER, C. WITTUR, T. KLOPOTEK, F. KRIEG, A. H. EULER, H. Biogás Digest. Vol. I. GTZ-GATE. 7.p. 1999. Disponível em: <<http://www.gate-international.org/energy.htm>>. Acesso em: julho de 2017.

KUBASKÁ, M; SEDLÁČEK, S.; BODÍK, I; KISSOVÁ, B. Food Waste as Biodegradable Substrates for Biogas Production. In: 37th International Conference of SSCHE. Tatranské Matliare, Slovakia, 2010.

KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. Revista de Política Agrícola, v. 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

INJC/UFRJ. Cartilha RU em ação. Rio de Janeiro: UFRJ, 2013. Disponível em: <http://www.ru.ufrj.br>>. Acesso em: julho de 2017.

IPCC, 2013, Direct Global Warming Potentials, <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)> Acesso em: 16 de setembro de 2013.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. Portos Brasileiros: Diagnóstico, Políticas e Perspectivas. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro, nº 48. Governo Federal, Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2010.

LOPES, A. O. F. Geração de Energia Elétrica a partir dos Resíduos Sólidos Orgânicos Portuários. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

MARTINS, R; GAMBATI, J; BATTAINI, B; STRINGHINI, V; BUENO, L; OLIVEIRA, K; ALMEIDA, M; OLIVEIRA, M. Estudo dos Resíduos Sólidos Gerados no Restaurante Universitário Da UFMT– Campus Cuiabá. p. 910-919. In: Anais do XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental [= Blucher Engineering Proceedings v.3 n.2]. São Paulo: Blucher, 2016.

MENEZES, R. L; SANTOS, F. C. A; LEME, P. C. S. Projeto de minimização de resíduos sólidos no restaurante central do campus de São Carlos da Universidade de São Paulo. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P). Brasília, 2009. Disponível em: < [http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/cartilha\\_a3p\\_36.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/cartilha_a3p_36.pdf)> Acesso em: março de 2017.

MONTEIRO, J., FIGUEIREDO, C., MAGALHÃES, A., MELO, M., BRITO, J., ALMEIDA, T., MANSUR, G. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Coordenação técnica Victor zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 200P. 2001.

NASPOLINI, B. F; LUSSI, C; BORGES, D. DE S.; SOUZA, D. B. E; ROCHA, L. A. Diagnóstico e proposta de melhoria de gestão dos resíduos sólidos produzidos no restaurante

universitário: campus Cuiabá/UFMT. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

OLIVEIRA, L. B.; ROSA, L. P.; Ecopolo Bioenergético. In: X Congresso Brasileiro de Energia, 2004, Rio de Janeiro, Brasil. Artigo. 2004. Disponível em: <[http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBE2004/TEMA\\_14.pdf](http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBE2004/TEMA_14.pdf)>. Acesso em: junho de 2017.

OLIVER, A. Manual de treinamento em biodigestão, 2008.

PNUD. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; Ministério do Meio Ambiente. SÃO PAULO, p. 56. 2010.

PROBIOGÁS, Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás. CASSINI, S.T. (Coord.). Rio de Janeiro. Editora: ABES, 2003. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabStulio.pdf>>. Acesso em: junho de 2017.

REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2012. 79f.

RIBEIRO, Anderson Sousa; SILVEIRA, Pedro Nascimento. Proposta de sistema de cogeração para uma edificação nZEB da Universidade de Brasília. 2016. 119 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/14381/1/2016\\_AnderssonSousaRibeiro\\_PedroNascimentoSilveira.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/14381/1/2016_AnderssonSousaRibeiro_PedroNascimentoSilveira.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2017.

ROCHA, C. Proposta de Implantação de um Biodigestor Anaeróbio de Resíduos Alimentares. Juiz de Fora: UFJF, 2016.

SILVA, A. Viabilidade técnica e econômica da implantação da biodigestão anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas Jaboticabal, 2009.

SILVA, T. Gás ecológico marca presença no Sertão nordestino. Recife, 2010. Disponível em: <<http://especiais.ne10.uol.com.br/vocemais20/003-energia.html>>. Acesso em: março de 2017.

SILVA, W. R. Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. 2009. 159 f.

SOARES, Isabel Cristina Cordeiro et al . Quantificação e análise do custo da sobra limpa em unidades de alimentação e nutrição de uma empresa de grande porte. Rev. Nutr., Campinas, v. 24, n. 4, p. 593-604, Aug. 2011. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em 01 agosto de 2017.

SOTTI, Gustavo de. Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário. 2014. 59 f. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Revista DAE, (44), p. 88-94, 1984.

SOUZA, S., PEREIRA, W., NOGUEIRA, C., PAVAN, A., SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. Acta Scientiarum Technology, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

TIAGO FILHO, G. L e FERREIRA, E.F. Agroenergia – fundamentos sobre o uso da energia no meio rural. 2000.

UC DAVIS. Biodigester turns campus waste into campus energy (2014). Disponível em: <<https://www.ucdavis.edu/news/biodigester-turns-campus-waste-campus-energy/>>. Acesso em: junho de 2017.

UNFCCC. Avoidance of methane emissions through controlled biological treatment of biomass . Disponível em: < <http://cdm.unfccc.int/methodologies>>. Acesso em: 15 de agosto de 2017.

UNFCCC . Methane recovery through controlled anaerobic digestion. Disponível em: < <http://cdm.unfccc.int/methodologies> >. Acesso em: 15 de agosto de 2017.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2008/98/CE on Waste and Repealing Certain Directives Text with EEA Relevance. EU. 2008.

UNIVERSITY OF EXETER. Reducing food waste on campus (2015). Disponível em: < <http://www.exeter.ac.uk/sustainability/wasteandrecycling/foodwaste/>>. Acesso em: junho de 2017.

UNIVERSITY OF READING. Food Waste (2012). Disponível em; <<https://www.reading.ac.uk/sustainability-services/Whatcanyoudo/RecyclingandWaste/cag2-whatcanyoudo-recyclingandwaste-foodwaste.aspx>>. Acesso em: junho de 2017.

UNIVERSITY OF WISCONSIN. University of Wisconsin Oshkosh Urban Anaerobic Dry Digester (BD1) (2014). Disponível em: <<https://www.americanbiogascouncil.org/projectProfiles/oshkoshWI.pdf>>. Acesso em: junho de 2017.

USP. Gerenciamento de alimentos no Campus São Carlos –São Paulo: USP, 2014.

VANDEVIVERE, P.; DE BAERE, L. e VERSTRAETE, W. Types of Anaerobic Digester for Solid Wastes. In: Biomethanization of the organic fraction municipal waste. MATA-ALVAREZ, J. (Coord.). Londres, Reino Unido. Editora: IWA Publishing, 2002. p. 111-137.

VAZ, C.S. Restaurantes: controlando custos e aumentando lucros. 1.ed. Brasília: Metha, 2006.

VERMA, S. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. Msc Thesis of Science Degree in Earth Resources Engineering. Department of Earth &

Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines). Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, 2002.

VILLA, Raffaella. RED: SUPPORTING SMES IN ANAEROBIC DIGESTION. Cranfield: Cranfield University, 2015. Color. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/adbiogas/raffaella-villa-47283577>>. Acesso em: junho de 2017.

WEILAND, P. Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, No. 1620 'Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven'; pp. 19-32; VDI-Verlag. 2001.

ZUCCONI F & BERTOLDI M. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In Compost: production, quality and use, M de Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L'Hermite, F.Zucconi eds. Elsevier Applied Science, London, 30-50 p, 1987.