UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

AUGUSTO PEDRO FIRME DIAS

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFES

VITÓRIA – ES
JUNHO/2018

AUGUSTO PEDRO FIRME DIAS

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFES

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Augusto Pedro Firme Dias**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Profa. Dra. Jussara Farias Fardin
Coorientador: Dr. Paulo Wagner P. Antunes

VITÓRIA – ES
JUNHO/2018

AUGUSTO PEDRO FIRME DIAS

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFES

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Augusto Pedro Firme Dias**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em , de de .

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Profa. Dra. Jussara Farias Fardin
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

_____

Prof. Dr. Walbermark Marques dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

_____

Msc. Odair de Barros Junior
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Toda essa longa jornada da graduação foi repleta de momentos de incerteza e enormes desafios, dos quais a metodologia da oração e a fé sempre me permitiram encarar com a cabeça erguida e confiança no sucesso. A Deus, obrigado!

Aos meus familiares e amigos queridos, nominalmente a minha mãe Vera, pela compreensão e carinho sempre demonstrados. Com muita positividade me impulsionaram a chegar até o final desta graduação.

A minha orientadora, Profa. Dra. Jussara Fardin, cujos ensinamentos me despertaram para o pensamento científico, me motivando a me aprofundar nos conhecimentos em área tão nobre quanto a pesquisa de fontes renováveis.

Agradecimentos ao Prof. Dr. Sérvio Túlio Cassini do departamento de Engenharia Ambiental da UFES e ao coorientador deste projeto, Dr. Paulo W. P. Antunes do Laboratório de Saneamento (LABSAN/UFES), pelo importante apoio no desenvolvimento metodológico de amostragem dos resíduos orgânicos e realização das análises laboratoriais, prontamente disponibilizando o laboratório de saneamento da UFES.

Agradecimentos a Diretora do RU/UFES Sra. Amélia Lopes Lima, a nutricionista Sra. Marina Galvão Teixeira e demais funcionários do RU/UFES que muito contribuíram para que este projeto se desenvolvesse, especialmente nas etapas experimentais.

RESUMO

A transformação da matriz energética no Brasil ocorre em ritmo acentuado, sendo a sustentabilidade o foco desse processo. Alinhado com este processo, o objetivo deste projeto é analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação da geração de energia elétrica alternativa a partir da biometanização dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário (RU) do Campus de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Inicialmente, foi verificada a potencialidade da produção de biogás a partir da média diária de 596kg de resíduos orgânicos alimentares provenientes do RU segundo a metodologia de estimativa do potencial de geração de gás metano a partir do percentual de sólidos voláteis (SV) que compõe o substrato e contribuição das frações relativas de carbono presentes em cada composto orgânico (proteínas, carboidratos e lipídeos). Posteriormente foi levantada a curva de carga do RU através da medição na subestação local para que pudesse ser observada a representação que a geração alternativa terá em relação a fonte geradora do resíduo, ou seja, em relação ao Restaurante. Como a Universidade não possui faturamento individualizado para as instalações internas, para a análise técnica e econômica foi identificado o perfil de uso da energia elétrica pela Universidade, que se trata de uma unidade consumidora pertencente ao Grupo A, atendida em 11,4kV e enquadrada na Modalidade Tarifária Verde. O consumo médio anual da Universidade é de 10.033.379 kWh, sendo a demanda contratada de 3.650kW. Os custos com o uso de energia elétrica para o período dos 12 meses avaliados neste projeto foram de R$ 7.145.552,70. Com o projeto de geração renovável, espera-se produzir cerca de 5.102m³ de biogás por ano. Foram então avaliados 3 cenários diferentes para aproveitamento deste biogás produzido, resultando na estimativa de geração de energia elétrica entre 6000 e 8000kWh por ano, com investimentos entre R$25.000,00 e R$45.000,00. Os cenários foram então avaliados quanto a viabilidade econômica através do *payback*, VPL e TIR, mostrando que o investimento é vantajoso para determinadas condições operacionais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma. 15
Figura 2 – Rotas tecnológicas visando o aproveitamento de biomassa. 18
Figura 3 – Processo de geração de biogás pela digestão anaeróbica. 19
Figura 4 – Máquinas e equipamentos associados a utilização de biogás 21
Figura 5 – Processo de geração de biogás para geração de energia elétrica e adubo em uma indústria agrícola. 22
Figura 6 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de levantamento do potencial energético 27
Figura 7 – Coleta de resíduos deixados nos pratos após refeições no RU/UFES. 29
Figura 8 – Coleta de resíduos nas rampas onde se servem os comensais no RU/UFES. 30
Figura 9 – Resíduos homogeneizados. 30
Figura 10 – Resíduos homogeneizados e separados por local avaliado (SALADA, RAMPA e PRATO). 31
Figura 11 – Amostras de resíduos separadas para a etapa experimental 32
Figura 12 – Protótipo de bioreator utilizado para geração de biogás 44
Figura 13 – Frasco de 1L utilizado 44
Figura 14 – Manômetro utilizado 44
Figura 15 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de dimensionamento dos principais equipamentos da geração renovável 49
Figura 16 – Montagem do analisador de energia para obtenção da memória de massa do RU/UFES 51
Figura 17 – Curva de carga do RU/UFES durante os 7 dias da semana 51
Figura 18 – Biodigestor modelo chinês 54
Figura 19 – Biodigestor modelo indiano 55
Figura 20 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de análise técnica 61
Figura 21 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de análise econômica. 73
Figura 22 – Diagrama de fluxo de caixa previsto para o cenário 1 88
Figura 23 – Diagrama de fluxo de caixa previsto para o cenário 2 88
Figura 24 – Diagrama de fluxo de caixa previsto para o cenário 3 88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição paretada dos alimentos servidos no RU/UFES ao longo do ano para as opções principais. 34
Gráfico 2 – Distribuição paretada dos alimentos servidos no RU/UFES ao longo do ano para opção vegetariana. 35
Gráfico 3 – Estimativa de geração de resíduos por local (RAMPA, PRATOS e SALADA). 38
Gráfico 4 – Comparativo dos resultados obtidos com o experimento para a relação SV/ST. 41
Gráfico 5 – Pressão interna ao biorreator durante o processo de geração de biogás 46
Gráfico 6 – Produção de biogás nos biorreatores durante o processo experimental 47
Gráfico 7 – Curva de carga de um dia típico de funcionamento do RU/UFES. 52
Gráfico 8 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Outubro de 2017 62
Gráfico 9 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Novembro de 2017 63
Gráfico 10 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Dezembro de 2017 63
Gráfico 11 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Janeiro de 2018 64
Gráfico 12 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Fevereiro de 2018 64
Gráfico 13 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Março de 2018 65
Gráfico 14 – Curva de carga de um dia típico útil da UFES 66
Gráfico 15 – Curva de carga de um dia típico não útil da UFES 67
Gráfico 16 – Horas de operação diária de motogeradores para a geração de biogás prevista neste projeto. 70
Gráfico 17 – Perfil de utilização de demanda ponta e fora ponta da UFES 75
Gráfico 18 – Consumo de energia ativa ponta e fora ponta da UFES 75
Gráfico 19 – Perfil de utilização de demanda ponta e fora ponta da UFES adaptado 76
Gráfico 20 – Consumo de energia ativa ponta e fora ponta da UFES adaptado 76
Gráfico 21 – Otimização da demanda contratada para o Caso Base (demanda otimizada em 3.490kW) 77
Gráfico 22 – Otimização da demanda contratada para o Cenário 1 (demanda otimizada em 3.480kW) 78
Gráfico 23 – Otimização da demanda contratada para o Cenário 3 (demanda otimizada em 3.470kW) 79
Gráfico 24 – Estimativa de redução anual de custos com energia e demanda contratada para os 3 cenários avaliados 84
Gráfico 25 – Sensibilidade dos investimentos nos projetos dos cenários 1, 2 e 3 90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Grupamentos das UCs e tensão de fornecimento. 24
Quadro 2 – Modalidades tarifárias e seus componentes tarifados..... 25
Quadro 3 – Comparativo entre motogeradores de baixa potência..... 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do biogás. 19
Tabela 2 – Pesagem das amostras de resíduos separadas para a etapa experimental. 31
Tabela 3 – Estimativa de produção de biogás e metano a partir de diferentes substratos. 33
Tabela 4 – Percentual médio de PROTEINAS presente nos resíduos dos locais RAMPA E PRATOS no RU/UFES. 35
Tabela 5 – Percentual médio de CARBOIDRATOS presente nos resíduos dos locais RAMPA E PRATOS no RU/UFES. 36
Tabela 6 – Percentual médio de LIPIDEOS presente nos resíduos dos locais RAMPA E PRATOS no RU/UFES. 36
Tabela 7 – Percentual médio de PROTEINAS presente nos resíduos dos locais SALADA no RU/UFES. 37
Tabela 8 – Percentual médio de CARBOIDRATOS presente nos resíduos dos locais SALADA no RU/UFES. 37
Tabela 9 – Percentual médio de LIPIDEOS presente nos resíduos dos locais SALADA no RU/UFES. 37
Tabela 10 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 1. 38
Tabela 11 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 1. 39
Tabela 12 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 2. 39
Tabela 13 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 2. 39
Tabela 14 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 3. 39
Tabela 15 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 3. 40
Tabela 16 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 4. 40
Tabela 17 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 4. 40
Tabela 18 – Resultados obtidos com o experimento para a relação percentual SV/resíduo. . 40
Tabela 19 – Cálculo da quantidade de SV do total de resíduos por local. 42
Tabela 20 – Cálculo da quantidade de SV por substrato. 42
Tabela 21 – Cálculo da contribuição de cada substrato na geração de biogás total. 43

Tabela 22 – Cálculo da produção total de metano a partir da contribuição de cada substrato. 43
Tabela 23 – Quantidades de substratos inseridas no bioreator 45
Tabela 24 – Principais resultados obtidos com o procedimento experimental de geração de biogás 48
Tabela 25 – Cálculo do volume esperado do biodigestor 57
Tabela 26 – Comparativo do potencial energético do biogás com outros combustíveis 59
Tabela 27 – Disponibilidade diária calculada de biogás e dias de funcionamento do restaurante no mês 67
Tabela 28 – Geração de energia elétrica diária baseada no Cenário 1 68
Tabela 29 – Geração de energia elétrica mensal baseada no Cenário 1 69
Tabela 30 – Geração de energia elétrica diária baseada no Cenário 2 71
Tabela 31 – Geração de energia elétrica mensal baseada no Cenário 2 71
Tabela 32 – Geração de energia elétrica diária e mensal baseada no Cenário 3 72
Tabela 33 – Custos com energia elétrica da UFES para o período de Outubro de 2016 a Setembro de 2017 80
Tabela 34 – Custos com energia elétrica da UFES com a demanda otimizada 80
Tabela 35 – Utilização de demanda e consumo de energia ponta e fora ponta previstos para o cenário 1 81
Tabela 36 – Custos com energia elétrica da UFES para o cenário 1 81
Tabela 37 – Utilização de demanda e consumo de energia ponta e fora ponta previstos para o cenário 2 82
Tabela 38 – Custos com energia elétrica da UFES para o cenário 2 82
Tabela 39 – Utilização de demanda e consumo de energia ponta e fora ponta previstos para o cenário 3 83
Tabela 40 – Custos com energia elétrica da UFES para o cenário 3 83
Tabela 41 – Comparativo de custos com projetos de geração de energia a partir de biogás 85
Tabela 42 – Orçamento dos projetos propostos para os cenários 1, 2 e 3 85
Tabela 43 – Custos com O&M previstos para os projetos nos cenários 1, 2 e 3 86
Tabela 44 – Indicadores de viabilidade econômica dos projetos para os cenários 1, 2 e 3 89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
DA	Digestão Anaeróbica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
LABSAN	Laboratório de Saneamento
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Técnica Brasileira
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
REN	Resolução Normativa
RU	Restaurante Universitário
SELIC	Sistema Especial de Liquidação De Custódia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Objetivos 16
1.1.1 Objetivo geral 16
1.1.2 Objetivo específicos 16
2 REFERENCIAL TEÓRICO 17
2.1 Utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica 17
2.1.1 Geração de energia elétrica a partir de biomassa 17
2.1.1.1 Tecnologia associada (digestão anaeróbica) 17
2.1.1.2 Aproveitamento do biogás 20
2.2 Tarifação de energia elétrica 22
2.2.1 Regulamentação acerca de geração distribuída 22
2.2.2 Classificação de unidades consumidoras e estrutura tarifária 24
2.2.3 Impostos 26
2.2.4 Custos não fixos incidentes nas tarifas de energia elétrica (bandeiras tarifárias, ultrapassagem e energia reativa excedente) 26
3 LEVANTAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO 28
3.1 Geração de biomassa no RU/UFES 28
3.1.1 Experimentos laboratoriais 28
3.1.1.1 Etapa 1 – Coleta de material orgânico e avaliação quantitativa da biomassa 28
3.1.1.2 Etapa 2 – Geração de biogás em protótipos de biodigestores 43
4 PROPOSTA DE GERAÇÃO RENOVÁVEL 50
4.1 Demanda energética do RU/UFES 50
4.2 Projeto de geração de energia elétrica a partir de biomassa 52
4.2.1 Biodigestores 53
4.2.1.1 Biodigestor proposto 56
4.2.2 Motogeradores e Turbogeradores 57
4.2.2.1 Sistema de conversão energética proposto 58
5 ANÁLISE TÉCNICA DA GERAÇÃO RENOVÁVEL 62

5.1 Curva de carga da universidade e capacidade de geração de energia elétrica em relação à demanda e consumo do RU/UFES 62
6 ANÁLISE ECONÔMICA DA GERAÇÃO RENOVÁVEL 74
6.1 Perfil de consumo e otimização das demandas contratadas para os cenários possíveis de geração de energia elétrica alternativa 74
6.2 Custos com energia elétrica da UFES e cálculo de custos evitados com a geração alternativa 79
6.3 Investimento na matriz de fontes alternativas 84
6.4 Análise do investimento 86
7 CONCLUSÕES 91
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94

1 INTRODUÇÃO

O subsídio energético sustentável ao modelo social e econômico atual, e previsões futuras de crescimento, é tema frequente em fóruns, artigos e relatórios gerados por organizações governamentais, preocupadas com o declínio a longo prazo na disponibilidade das fontes não renováveis que compõem o maior percentual nas matrizes energéticas em todo mundo. As perspectivas de novas fontes, renováveis, viabilizadas pelo desenvolvimento tecnológico e redução dos custos de implantação de pouco a pouco vão ganhando expressão a nível mundial. A utilização de combustíveis fósseis em larga escala, atualmente representando cerca de 80% da matriz energéticas mundial (MME, 2016), é preocupação recorrente em debates mundiais. Em 2015, um acordo foi firmado na 21ª Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC, na sigla em inglês) por quase todos os países do mundo, e teve como objetivo central manter a temperatura média global bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais. O alcance do objetivo proposto, tem como um dos pilares a emissão zero de dióxido de carbono (CO_2) (GREENPEACE, 2016), o que entra em choque com a continuidade na utilização de combustíveis fósseis. Portanto, a geração de energia pela ótica de renováveis é algo que a população mundial inevitavelmente terá que aceitar e se aprofundar.

No Brasil, o Ministério de Minas e Energia, em seu Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 (PDE), afirma que no horizonte dos próximos 10 anos, existe um grande potencial de oferta de energia proveniente de fontes renováveis, destacadamente as PCH, usinas eólicas, térmicas a biomassa e solar. Essas fontes poderão contribuir para manter a elevada participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira (MME/EPE, 2014a).

Em termos de presença de fontes renováveis na matriz energética, é notável a vantagem do Brasil, registrando 41,2% de participação em 2015, contra 9,4% da OCDE e 17,1% dos outros países, especialmente em função dos recursos hídricos disponíveis e utilização do bagaço de cana. O mundo registra um indicador médio de 14,3% (MME, 2016). Porém, quanto a utilização de fontes eólicas e solar por exemplo o Brasil ainda tem muito a crescer, registrando número abaixo da OCDE na matriz elétrica (MME, 2016).

Quanto a composição da matriz de geração de energia elétrica, o Brasil possui capacidade instalada de 14.65MW (8,71%) de origem em biomassa, 13.13MW (7,81%) de origem eólica e 1,3MW (0,78%) de origem fotovoltaica (ANEEL, 2018). A utilização da geração distribuída (GD) como observada na matriz elétrica brasileira, mesmo que incipiente, significa ganhos diretos na redução do uso de fontes não renováveis e ainda podem ser observados ganhos indiretos para o Sistema Integrado Nacional (SIN). O investimento em novas linhas de transmissão, por exemplo, poderá ser adiado com a diversificação da Matriz Energética (DIAS, 2015).

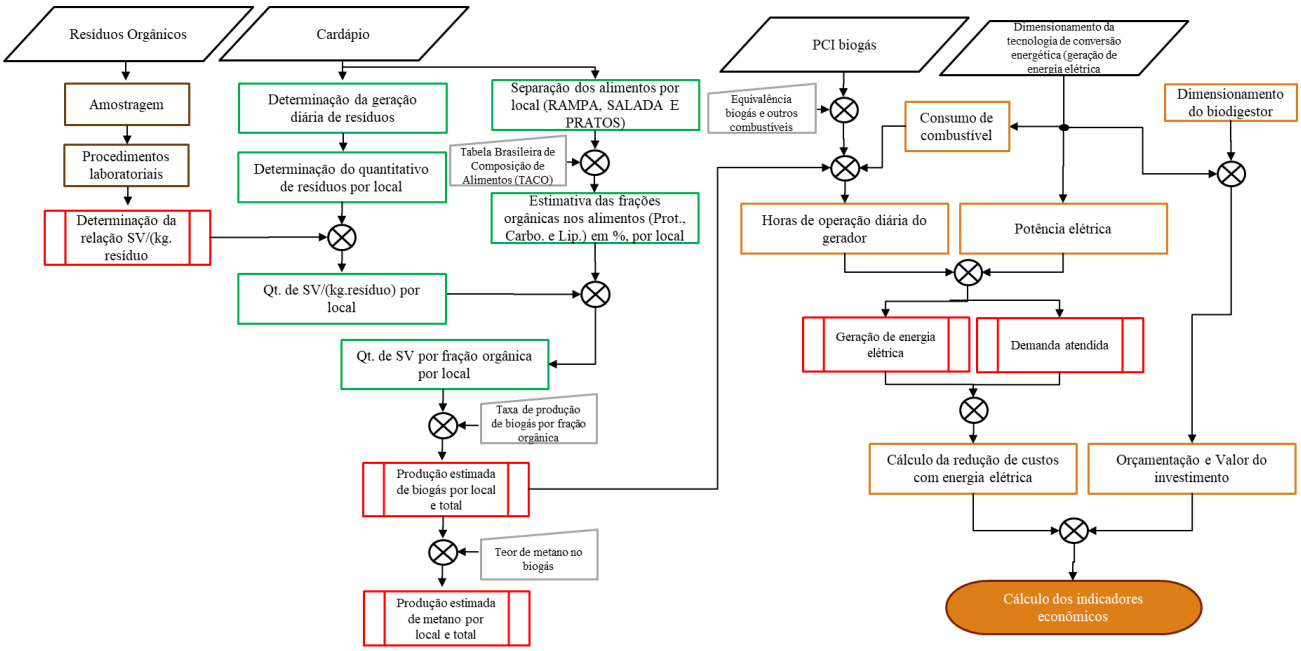
Diante do panorama acima citado e das perspectivas futuras para a geração de energia elétrica no Brasil, o aprofundamento dos estudos em fontes alternativas é claramente necessário para a consolidação de propostas de uma matriz diversificada e sustentável. Tomando parte neste cenário, as Universidades devem ser vistas como elementos fomentadores de soluções e aplicações envolvendo as fontes renováveis. Neste contexto que este projeto se enquadra. Para o desenvolvimento da proposta de uma matriz de geração de energia elétrica baseada em fontes renováveis, foi definido o Restaurante Universitário (RU) do Campus de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) como objeto de pesquisa pela perspectiva de viabilidade na geração de energia elétrica a partir de biomassa, devido à alta produção de resíduos orgânicos observada.

O RU do *Campus* de Goiabeiras da UFES serve em média 4200 refeições diariamente, entre almoço e jantar, funcionando de segunda à sexta-feira, utilizando o sistema de buffet, em que cada comensal se serve à gosto, sendo somente a carne servida por um funcionário (FIRME, 2016). Pretende-se aproveitar os resíduos orgânicos para utilização em um biodigestor para geração de biogás, que pode ser usado como insumo para gerar energia elétrica.

Este projeto aborda a análise da viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema de geração de energia elétrica a partir de biogás no RU/UFES, porém a metodologia desenvolvida neste projeto de graduação pode ser utilizada para qualquer instalação que nela seja observada a produção de resíduos oriundos do desperdício alimentar. Espera-se obter um projeto consolidado que possa garantir à Universidade redução nos custos com energia elétrica ao confrontar os dados obtidos nesta pesquisa com o consumo energético de determinado período da UFES, garantindo que o investimento para implantação da geração renovável possa ser

obtido em detrimento a compra de energia elétrica. O Fluxograma apresentado na Figura 01 resume toda a metodologia seguida neste projeto. As cores das bordas no fluxograma caracterizam as atividades relacionadas, sendo marrom as atividades de campo executadas no RU e em laboratório (LABSAN), verde as atividades de caracterização dos resíduos e cálculo estimado da produção de biogás e em laranja as análises de viabilidade, tanto técnica quanto econômica. O fim do processo está associado ao cálculo dos indicadores econômicos, que é o principal indício da viabilidade de implantação de um projeto como o que foi proposto aqui nesta pesquisa.

Figura 1 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma.



Fonte: Produção do próprio autor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir da biometanização de resíduos orgânicos alimentares do Restaurante Universitário do *Campus* de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e realizar a análise técnica e econômica do sistema de biometanização e geração renovável através da análise de três cenários de geração de energia elétrica, com vistas a identificar o melhor posto horário para operação da tecnologia de conversão energética.

1.1.2 Objetivo específicos

1. Estimar a produção de metano a partir das diferentes composições de resíduos do *Campus* de Goiabeiras da UFES e da sua variabilidade ao longo do ano;
2. Medir e analisar o consumo e demanda de energia elétrica do RU e avaliar o impacto da matriz de geração de energia elétrica renovável proposta;
3. Realizar estudos técnicos preliminares para o desenvolvimento futuro do projeto de geração, com foco na tecnologia necessária para obter o produto final, ou seja, a energia elétrica;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica

Apesar da elevada disponibilidade brasileira de fontes hídricas, a geração de energia elétrica a partir de usinas hidroelétricas tem suas dificuldades de expansão, como os impactos ambientais decorrentes das áreas a serem alagadas e os grandes investimentos necessários, especialmente em usinas de grande porte. Diferente da geração distribuída, as usinas hidroelétricas em sua maioria necessitam de custos adicionais com linhas de transmissão devido à distância que se encontram dos centros de consumo (TOLMASQUIM, 2016).

A biomassa, em todas as suas possíveis rotas tecnológicas de aproveitamento energético, assume papel importante neste processo de mudança da matriz energética. Especialmente em locais mais isolados, onde a entrega de energia elétrica ou significa grandes custos de investimento na rede ou não se torna possível a eletrificação. Portanto, é evidente a necessidade de expansão da geração acompanhando a demanda crescente do mercado de energia elétrica, que deve ser acompanhada da consciência sustentável e ambiental (GREENPEACE, 2016).

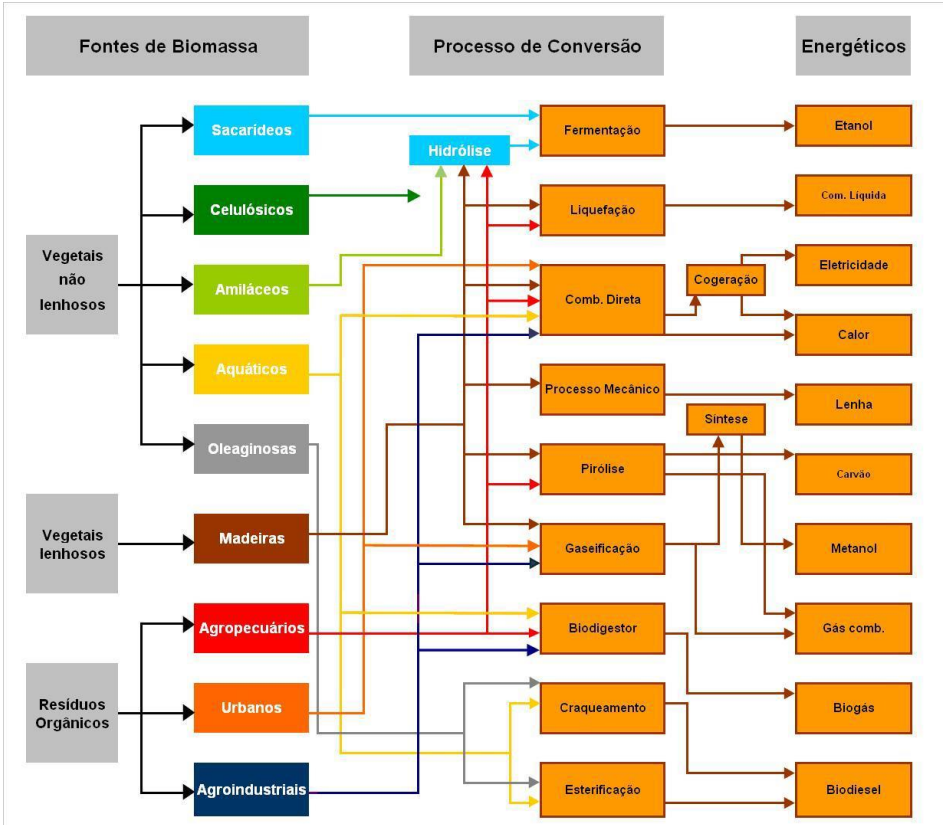
2.1.1 Geração de energia elétrica a partir de biomassa

O estudo sobre a utilização de biomassa para geração de energia deve ser cada vez mais aprofundado, considerando os ganhos diretos com os subprodutos do processo como a energia elétrica, bem como os ganhos indiretos como a redução do volume de resíduos despejados na natureza ou que requerem processos industriais mais sofisticados.

2.1.1.1 Tecnologia associada (digestão anaeróbica)

As atividades urbanas e rurais (agrícola, pecuarista e florestal, diretamente e de suas respectivas indústrias) são os principais setores nos quais verifica-se a geração de biomassa, implicando na existência de uma grande variedade de fontes de resíduos orgânicos e por consequência variados processos de conversão para aproveitamento energético que levam em consideração as características bioquímicas destes resíduos, criando uma interessante rede de rotas tecnológicas como indicadas na Figura 02. (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 2 – Rotas tecnológicas visando o aproveitamento de biomassa.



Fonte: MME, (1982) - adaptado por CENBIO

Dentre as rotas tecnológicas mostradas na Figura 02, o processo de conversão que inclui a utilização de um biodigestor é comumente associado a custos menores por utilizar materiais para construção como alvenaria e tubulações de PVC, sendo também observado variáveis do processo com faixas características facilmente obtidas, como temperatura ambiente (cerca de 20 a 30 graus) e raramente envolvem líquidos e/ou gases sob alta pressão. Observa-se ainda que os biodigestores são soluções para aproveitamento de materiais orgânicos oriundos da agropecuária e agroindústria, se tornando interessante destinação para problemas ambientais relacionados ao acúmulo de resíduos. A transformação energética verificada nesta rota (cujo energético final é o biogás produzido por biodigestores) ocorre através da digestão anaeróbica. Digestão anaeróbica (DA) pode ser definida como a conversão de material orgânico em dióxido de carbono, metano e lodo através de bactérias, em um ambiente pobre em oxigênio. Este processo é uma das formas mais antigas de biodigestão , tão antiga quanto a combustão direta e fermentação, por exemplo, e ocorre naturalmente na ausência de oxigênio, como em matéria orgânica sólida, estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários. O gás obtido durante a digestão anaeróbica, chamado de biogás, inclui além do metano e do dióxido de carbono, alguns

gases inertes e compostos sulfurosos (MME/EPE, 2014b). Na Tabela 1 observa-se os tipos e proporções dos gases que compõe o biogás.

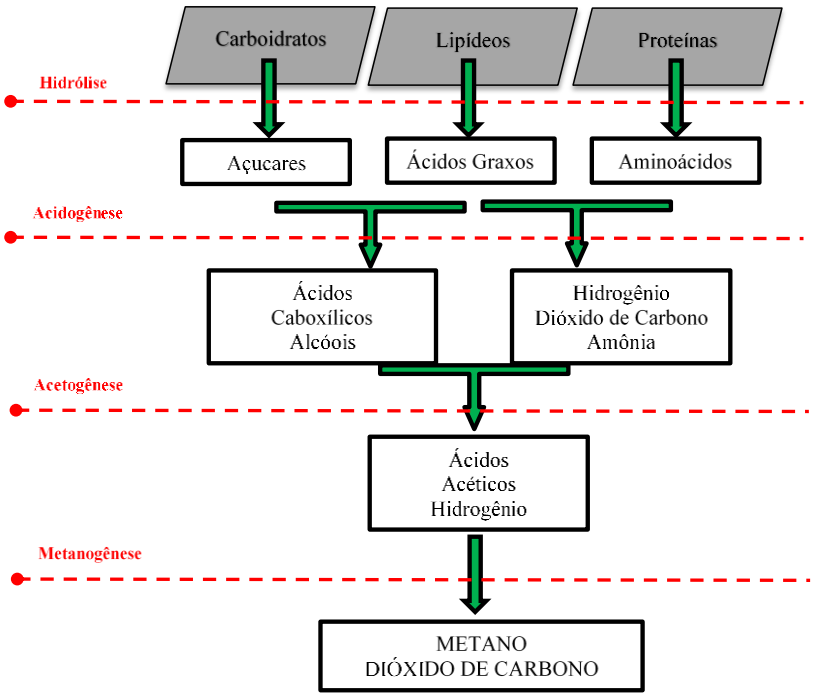
Tabela 1 – Composição do biogás.

Componente	Vol. (%)
Metano (CH4)	50-80%
Dióxido de carbono (CO2)	50-20%
Azoto (N2)	<1%
Hidrogénio (H2)	<1%
Amoníaco (NH3)	<1%
Ácido Sulfídrico (H2S)	<1%

Fonte: GREENPRO, (2004)

A geração do biogás ocorre através de quatro fases características, conforme fluxograma da Figura 03.

Figura 3 – Processo de geração de biogás pela digestão anaeróbica.



Fonte: Produção do próprio autor.

- Hidrólise: ocorre a ação de exoenzimas secretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas, convertendo a matéria orgânica particulada em matéria orgânica dissolvida;

- Acidogênese: os produtos originados da hidrólise são metabolizados de forma anaeróbia no interior celular dos microrganismos acidogênicos, que ao processarem açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, resultam em compostos mais simples como: ácidos orgânicos, álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio. Os produtos metabólicos oriundos da atividade das bactérias acidogênicas são importantes substratos para as bactérias acetogênicas e metanogênicas;

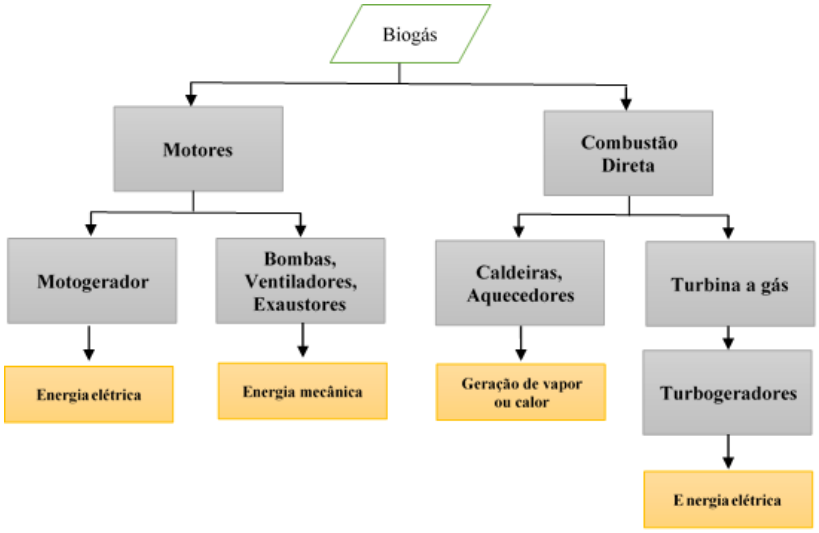
- Acetogênese: as bactérias sintróficas acetogênicas oxidam compostos orgânicos intermediários em compostos adequados para os microrganismos metanogênicos;

- Metanogênese: corresponde ao processo final da conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono, sendo realizada pelos microrganismos metanogênicos.

2.1.1.2 Aproveitamento do biogás

O biogás tem conteúdo energético elevado, semelhante ao gás natural, podendo substituí-lo em muitas aplicações. A vantagem do biogás em relação ao gás natural é o fato de ser renovável e produzido em todos os locais onde haja disponibilidade de biomassa depositada sobre condições adequadas para o processo de biodigestão anaeróbica. Porém, observa-se como uma desvantagem do biogás, o poder calorífico do biogás que é menor que o do gás natural, além de se verificar em sua composição sulfeto de hidrogênio e considerável teor de umidade. A combustão direta e o uso do biogás em motores e turbinas são os principais tipos de aplicação do biogás (SOUZA, 2016). Na Figura 04 pode-se observar um fluxograma das principais possibilidades de utilização do biogás.

Figura 4 – Máquinas e equipamentos associados a utilização de biogás



Fonte: SOUZA, (2016) - adaptado

O potencial energético do biogás pode ser avaliado utilizando a equação de Dulong para combustíveis gasosos que expressa o poder calorífico inferior (PCI)[1] do gás como o somatório do produto do PCI dos elementos que compõe o gás por suas concentrações, conforme Equação 01 (HALOUA apud BITENCOURT, 2015, p. 33)

$$PCI_{gás} = \sum PCI(i) * C(i) \qquad (01)$$

Onde:

PCIgás - Poder calorífico inferior total do gás, em (J/kg);

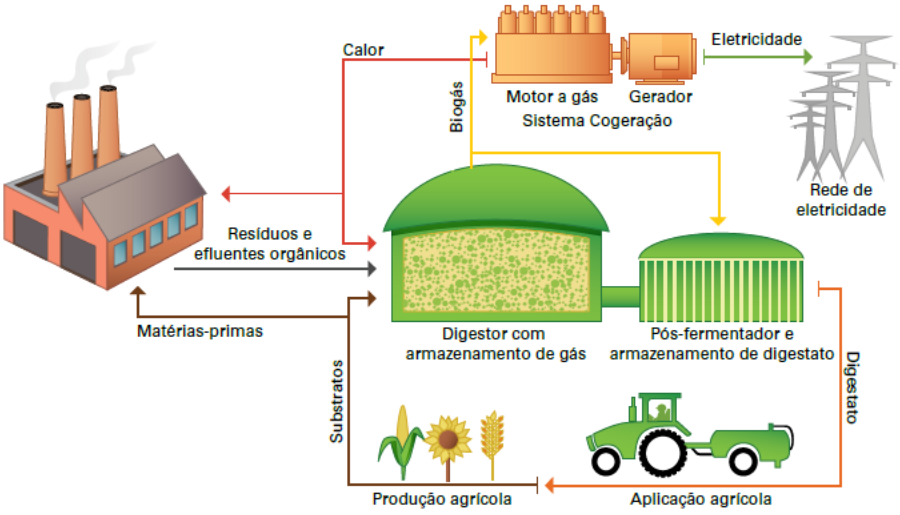
PCI(i) - Poder calorífico inferior do elemento i que compõe a substância, em (J/kg);

C(i) – Concentração do elemento i na composição da substância, em porcentagem.

Portanto, o aproveitamento energético da biomassa para geração de energia elétrica pode ser realizado através do processo de biometanização e aproveitamento do biogás em moto-geradores, ou outra tecnologia que se apresentar mais viável. A Figura 05 ilustra o ciclo de aproveitamento da biomassa oriunda de uma indústria cuja atividade resulta na ocorrência de resíduos orgânicos, onde observa-se como um dos produtos finais a geração de eletricidade após o processo de digestão anaeróbica em um biodigestor.

[1] Poder calorífico inferior (PCI): quantidade de energia liberada pelo combustível durante sua queima, desconsiderando o calor latente da condensação da umidade.

Figura 5 – Processo de geração de biogás para geração de energia elétrica e adubo em uma indústria agrícola.



Fonte: TOLMASQUIM, (2016)

2.2 Tarifação de energia elétrica

2.2.1 Regulamentação acerca de geração distribuída

Compete a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a regulamentação, supervisão e tratamento estatístico dos sistemas de geração distribuída interligados aos sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil. As definições e condições a serem seguidas pelas distribuidoras são estabelecidas na Resolução Normativa n° 482 (RES ANEEL 482), de 17 de Abril de 2012 (ANEEL, 2012), e revisada pela Resolução Normativa n° 687 (RES ANEEL 687) em 24 de Novembro de 2015 (ANEEL, 2015).

O conceito de geração distribuída é atribuído a pequenas centrais de geração de energia elétrica cujas fontes de energia são renováveis ou utilizam cogeração[1] qualificada[2] sendo delimitados dois subgrupos claramente distintos: micro e minigeração distribuída de energia elétrica.

De acordo com REN ANEEL 687 (2015, p. 2):

> a) *I – **microgeração distribuída:** central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75kW e que utilize cogeração qualificada, conforme*

[1] Cogeração: Processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica e convertidas em energia elétrica.

[2] Cogeração Qualificada: cogeradores que se enquadrem segundo aspectos de racionalidade energética, para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração.

> *regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*

Ainda de acordo com REN ANEEL 687 (2015, p. 2):

> *b) I – **minigeração distribuída:** central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*

Caso uma unidade consumidora possua geração distribuída enquadradas nas categorias de micro ou minigeração, poderá ser utilizado o sistema de compensação de energia elétrica, no qual a energia ativa gerada é injetada na rede de distribuição gerando créditos para a unidade consumidora em quantidade de energia ativa equivalente ao valor injetado a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. Em uma outra ótica, a injeção de energia elétrica gerada no micro/mini geração distribuída se traduz em redução de custos nas tarifas de energia relativos aos créditos obtidos.

A RES ANEEL 687 prevê também os empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (ex: condomínios) nos quais os créditos obtidos são divididos entre as unidades consumidoras em porcentagens a serem definidas pelos próprios integrantes do empreendimento. Também há regulamentação para a geração compartilhada nos quais consórcios ou cooperativas são criadas para administrar “fazendas renováveis” onde são instaladas centrais de geração distribuída enquadradas nas categorias de mini e microgeração e os créditos obtidos são direcionados aos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2015).

A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais, ou seja, consumidores que compram energia elétrica no livre comércio (ex: leilões de energia).

É importante ressaltar que todo o crédito de energia ativa obtido através do sistema de compensação de energia elétrica deve ser utilizado no posto tarifário no qual houve geração, observando-se os valores das tarifas de energia (R$/MWh) praticados em cada posto, considerando ainda que minimamente são devidos os valores relativos à disponibilidade para

consumidores do grupo B, ou demanda contratada para consumidores do grupo A. Ou seja, mesmo que toda energia gerada supra a energia consumida, ainda haverá valores devidos, conforme enquadramento tarifário da unidade consumidora

2.2.2 Classificação de unidades consumidoras e estrutura tarifária

A tarifação da energia elétrica tem suas condições estabelecidas na Resolução Normativa n° 414 (REN ANEEL 414), de 09 de setembro de 2010, a qual dispõe sobre a forma com que as tarifas devem ser aplicadas considerando o nível de tensão no qual a unidade consumidora é atendida, além do período do dia no qual há o consumo de energia elétrica. O Quadro 1 mostra os grupos e subgrupos nos quais são enquadradas as unidades consumidoras (UCs) e os respectivos fornecimentos de tensão.

Quadro 1 – Grupamentos das UCs e tensão de fornecimento.

Grupo A	Tensão de Fornecimento
subgrupo A1	> 230 kV
subgrupo A2	88 kV a 138 kV
subgrupo A3	69 kV
subgrupo A3a	30 kV a 44kV
subgrupo A4	2,3 kV a 25 kV
subgrupo AS	< 2,3 kV (subterrâneo)
Grupo B	**Tensão de Fornecimento**
B1 - Residencial	< 2,3 kV
B2 – Rural	
B3 – Demais Classes	
B4 – Iluminação Pública	

Fonte: Produção do próprio autor.

Considerando então os grupos A e B, é prevista na REN ANEEL 414 a aplicação de modalidades tarifárias[1] diferenciadas, nas quais podem ou não serem aplicadas cobranças para as componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativa (ANEEL, 2010). O Quadro 2 resume a quais subgrupos são aplicadas cada modalidade tarifária e as componentes de consumo cobradas em cada uma.

[1] Modalidade Tarifária: Modelo de tarifação na qual a instalação é enquadrada, podendo ou não pagar pelo uso da energia e contratação de demanda por posto horário (horário de ponta e horário fora de ponta).

Quadro 2 – Modalidades tarifárias e seus componentes tarifados.

Modalidade tarifária	Consumo de Energia	Demanda de Pot. Ativa	Grupo/Subgrupos aplicáveis
Convencional monômia	X	-	Grupo B
Horária branca	X	-	B1 / B2 / B3
Horária verde	X	X	Grupo A
Horária azul	X	X	Grupo A

Fonte: Produção do próprio autor.

As modalidades tarifárias horárias são assim denominadas pois são previstas cobranças de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e demanda de potência conforme ocorrem ao longo de 3 (três) períodos definidos do dia, determinados pela REN ANEEL 414, e também chamados de postos horários (ANEEL, 2010).

De acordo com REN ANEEL 414 (2010, p. 8):

> *a)* ***posto tarifário ponta****: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, e os seguintes feriados [...];*

Ainda de acordo com REN ANEEL 414 (2010, p. 8):

> *b)* ***posto tarifário intermediário****: período de horas conjugado ao posto tarifário ponta, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior, aplicado para o Grupo B, admitida sua flexibilização conforme Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária;*

Por último a REN ANEEL 414 (2010, p. 8):

> *a)* ***posto tarifário fora de ponta****: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementadares àquelas definidas nos postos ponta e, para o Grupo B, intermediário;*

Considerando as variáveis até aqui citadas, são definidas então pela ANEEL as tarifas de energia (TE – em R$/MWh) e as tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD – em R$/kW ou R$/MWh) para cada concessionária de energia, e anualmente atualizadas. Associadas as tarifas fixas, incide também na fatura de energia elétrica custos não fixos como impostos, bandeiras tarifárias, taxas de iluminação pública, custos com demanda de ultrapassagem, reativos excedentes (para clientes do grupo A), entre outros.

2.2.3 Impostos

No faturamento da energia elétrica deve ser levado em consideração os tributos federais, estaduais e municipais cuja metodologia de cálculo deve ser aplicada conforme a Equação 02.

$$Tarifa_{tributada} = \frac{Tarifa_{ANEEL}}{1 - \frac{\sum(Tributos_{\%})}{100}} \quad (02)$$

Onde:

$Tarifa_{tributada}$ é o valor da tarifa de energia prevista pela ANEEL acrescida dos impostos;

$Tarifa_ANEEL$ é o valor definido e atualizado anualmente pela ANEEL da tarifa de energia;

$Tributos_\%$ é a soma dos tributos devidos em valores percentuais.

Os tributos devidos no faturamento da energia elétrica são:

- PIS/PASEP – Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público: visa financiar o programa do seguro-desemprego e abono aos empregados que recebem até dois salários mínimos mensais. A alíquota é atualizada mensamente.
- COFINS – Contribuição Social para Financiamento da Seguridade Social: visa financiar as despesas das áreas de saúde, previdência e assistência social. A alíquota é atualizada semanalmente.
- ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviço: incide sobre o fornecimento de energia elétrica em alíquota definida pelo município.

2.2.4 Custos não fixos incidentes nas tarifas de energia elétrica (bandeiras tarifárias, ultrapassagem e energia reativa excedente)

Além dos custos base relacionados às tarifas de energia elétrica definidas pela ANEEL (TE e TUSD) e os custos com os tributos, podem haver ainda custos sazonais devidos a situações não previstas como demandas que ultrapassem os valores contratados ou fator de potência que não se enquadre no limite mínimo permitido incorrendo em excedentes de energia reativa na rede de distribuição (ANEEL, 2010).

Para os casos onde a demanda exceda em 5% do valor contratado devem ser calculados os custos adicionais conforme a Equação 03.

$$D_{ultrapassagem}(p) = [PAM(p) - PAC(p)x2xVR_{DUlt}(p) \quad (03)$$

Onde:

Dultrapassagem(p) é o valor correspondente à demanda de potência ativa excedente por posto tarifário “p”;

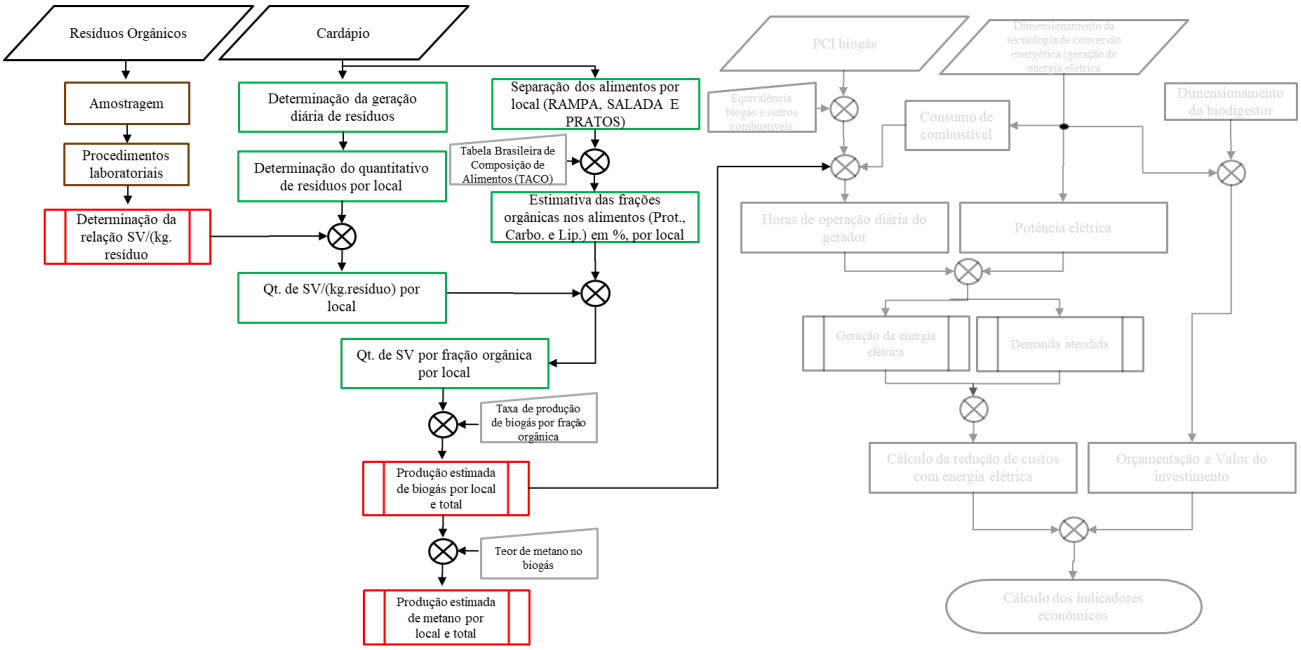
PAM(p) é a demanda de potência ativa medida em cada posto tarifário “p”;

PAC(p) é a demanda de potência ativa contratada em cada posto tarifário “p”;

VR_Dult(p) é a tarifa relativa a demanda de potência ativa.

Com base na teoria explicitada neste capitulo, seguiu-se para o levantamento do potencial de geração de biogás dos resíduos do Restaurante Universitário da UFES. A Figura 06 mostra em evidência as atividades descritas no Capítulo 3, posicionando-as em relação ao contexto geral da metodologia.

Figura 6 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de levantamento do potencial energético



Fonte: Produção do próprio autor.

3 LEVANTAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO

3.1 Geração de biomassa no RU/UFES

Afim de identificar o potencial energético da matéria orgânica que é descartada no restaurante universitário foram realizadas pesquisas estatísticas e experimentos laboratoriais que evidenciassem a geração do biogás quando em condições adequadas e permitissem um levantamento quantitativo. A partir destes dados foi possível identificar o potencial de geração de energia elétrica a partir da análise do poder calorífico do biogás.

3.1.1 Experimentos laboratoriais

A avaliação do potencial de biogás foi realizada em duas etapas distintas que podem ser assim identificadas:

- ***Etapa 1:*** Coleta de material orgânico e avaliação quantitativa da biomassa;
- ***Etapa 2:*** Geração de biogás em protótipos de biodigestores.

3.1.1.1 Etapa 1 – Coleta de material orgânico e avaliação quantitativa da biomassa

Nesta etapa foram desenvolvidas as atividades de coleta dos resíduos orgânicos no restaurante universitário do Campus de Goiabeiras da UFES e posteriormente levados ao Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade (LABSAN/UFES) onde os resíduos foram tratados para determinação da quantidade de biomassa presente, permitindo a estimativa de produção do biogás através de cálculos estequiométricos.

Para o procedimento de coleta, foi inicialmente identificada a logística de descarte de resíduos praticada pelo restaurante para que pudesse ser definida a metodologia a ser implementada. O RU não possui contentores para separação dos tipos de resíduo, não praticando ainda a coleta seletiva, de tal forma que todo o material é acondicionado misturado em todos os ambientes. No ponto de entrega de pratos após a refeição, foram instaladas lixeiras para descarte de material não orgânico, porém a sua eficácia está associada à boa prática dos comensais. Em todos os ambientes há contentores de volumes variados nos quais são depositados os resíduos. De tempo em tempo, ao longo do dia, há um funcionário que faz a coleta e descarta os sacos de lixo em um contentor do tipo caçamba estacionária (comumente chamada de “caçamba de entulho”) com cerca de 4m³, em terreno anexo ao restaurante. Ali também são depositados os

resíduos oriundos da janta do dia anterior, que recebe tratamento diferenciado. Ao contrário do almoço onde os sacos recolhidos no ambiente interno são diretamente depositados na caçamba no terreno anexo, os sacos recolhidos na janta são acondicionados em um ambiente refrigerado para serem descartados no dia seguinte. Portanto para o procedimento de coleta foi inicialmente delimitado 3 pontos distintos para facilitar a coleta e nomeados como: PRATOS, SALADA e RAMPA, referentes respectivamente ao balcão de entrega dos pratos, ao ambiente de tratamento das saladas e as sobras da rampa de distribuição de alimentos. Em cada um destes pontos foram realizadas coletas e acondicionados em recipientes de plástico de 1L distintos, oferecendo misturas orgânicas de diferentes características. Na rampa de distribuição a mistura envolveu exclusivamente resíduos de alimentos sem que houvesse nenhum outro tipo de material associado. Já na coleta de pratos, os resíduos de alimentos estavam misturados a papéis de guardanapos usados. No ambiente de tratamento das saladas foram coletados vegetais in natura, englobando cascas, talos e raízes. Todos os recipientes coletados foram levados para o LABSAN, onde foram despejados separadamente em contentores que permitissem promover uma maior mistura dos componentes, como observado nas Figuras 07 e 08.

Figura 7 – Coleta de resíduos deixados nos pratos após refeições no RU/UFES.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 8 – Coleta de resíduos nas rampas onde se servem os comensais no RU/UFES.

Fonte: Produção do próprio autor.

Utilizando o método de quarteamento (ABNT, 2004) no qual foram coletadas amostras em 4 pontos distintos para que a mistura fosse homogeneizada com o auxílio de um liquidificador portátil (Figuras 09 e 10).

Figura 9 – Resíduos homogeneizados.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 10 – Resíduos homogeneizados e separados por local avaliado (SALADA, RAMPA e PRATO).

Fonte: Produção do próprio autor.

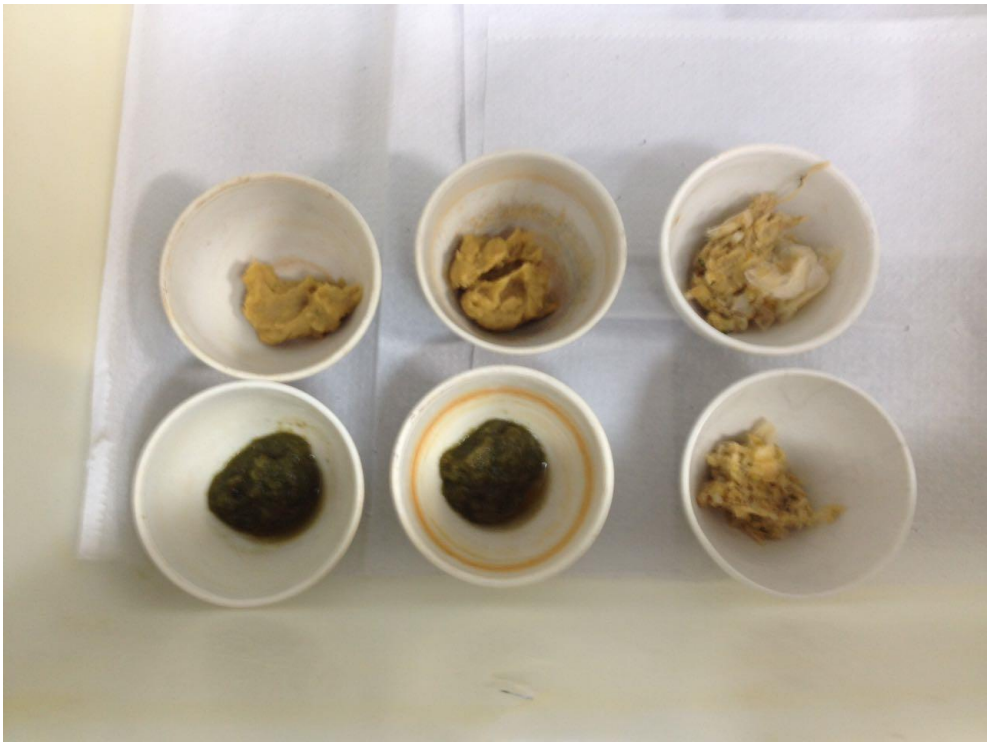
Das misturas homogeneizadas foram novamente realizadas coletas através do método de quarteamento para quantidades menores e depositadas em cápsulas que pudessem ser pesadas e tratadas para avaliação da quantidade de biomassa, como ilustrado na Figura 11. Foram coletadas 2 (duas) amostras de cada mistura homogeneizada e identificadas conforme Tabela 02.

Tabela 2 – Pesagem das amostras de resíduos separadas para a etapa experimental.

Amostra	$M_{CÁPSULA}$ (g)	$M_{AMOSTRA}$ (g)
SALADA 01	41,3853	6,2830
SALADA 02	43,8507	6,8386
RAMPA 01	42,3774	6,4112
RAMPA 02	39,0795	12,2388
PRATO 01	50,6468	11,0414
PRATO 02	38,3346	5,9679

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 11 – Amostras de resíduos separadas para a etapa experimental



Fonte: Produção do próprio autor.

A determinação da quantidade de biomassa foi realizada a partir da equivalência com a quantidade de sólidos voláteis encontrados. As etapas que se seguiram em laboratório podem ser assim descritas conforme o passo a passo:

1. As amostras ($M_{AMOSTRA}$) foram depositadas em cápsula ($M_{CÁPSULA}$) e pesadas para determinação da massa total (M_{total}). Os valores encontrados são os mesmos mostrados na Tabela 02, a partir da Equação 04;

$$M_{total} = M_{CÁPSULA} + M_{AMOSTRA}\ em\ (g) \qquad (04)$$

2. As cápsulas foram então inseridas em uma estufa a 105 °C, onde houve o processo de evaporação da água determinando-se assim os Sólidos Totais (ST) em relação a massa da amostra inicial ($M_{AMOSTRA}$) conforme Equação 05;

$$ST = \frac{(M_{PÓS105°C} - M_{total}) * 1000}{M_{AMOSTRA}} \quad em\ (mg/g) \tag{05}$$

3. As cápsulas contendo as amostras após o processo realizado na estufa foram então inseridas em uma mufla a 550°C e permaneceram pelo período de 40 min, determinando-se assim os Sólidos Fixos (*SF*) em relação a massa da amostra inicial ($M_{AMOSTRA}$) conforme Equação 06;

$$SF = \frac{(M_{PÓS550°C} - M_{total}) * 1000}{M_{AMOSTRA}} \quad em\ (mg/g) \tag{06}$$

4. Por fim foi determinado a quantidade de Sólidos Voláteis (*SV*) reduzindo o valor de Sólidos Totais (*ST*) pelo valor dos Sólidos Fixos (*SF*) conforme Equação 07;

$$SV = ST - SF \quad em\ (mg/g) \tag{07}$$

5. Este valor de *SV* foi então considerado como biomassa.

A produtividade de biogás está associada principalmente às características do substrato a ser degradado, resultado das frações relativas de carbono presentes em cada composto orgânico. Desta forma, identificar os percentuais de proteínas, carboidratos e lipídios disponíveis na matéria orgânica seca utilizada como insumo é um importante procedimento para determinação do potencial máximo de geração de biogás (FERREIRA, 2015). Segundo Baserga (BASERGA, apud FERREIRA, 2015) a produção específica de biogás e teor de metano para os respectivos grupos de substratos pode ser calculada conforme fatores mostrados na Tabela 03.

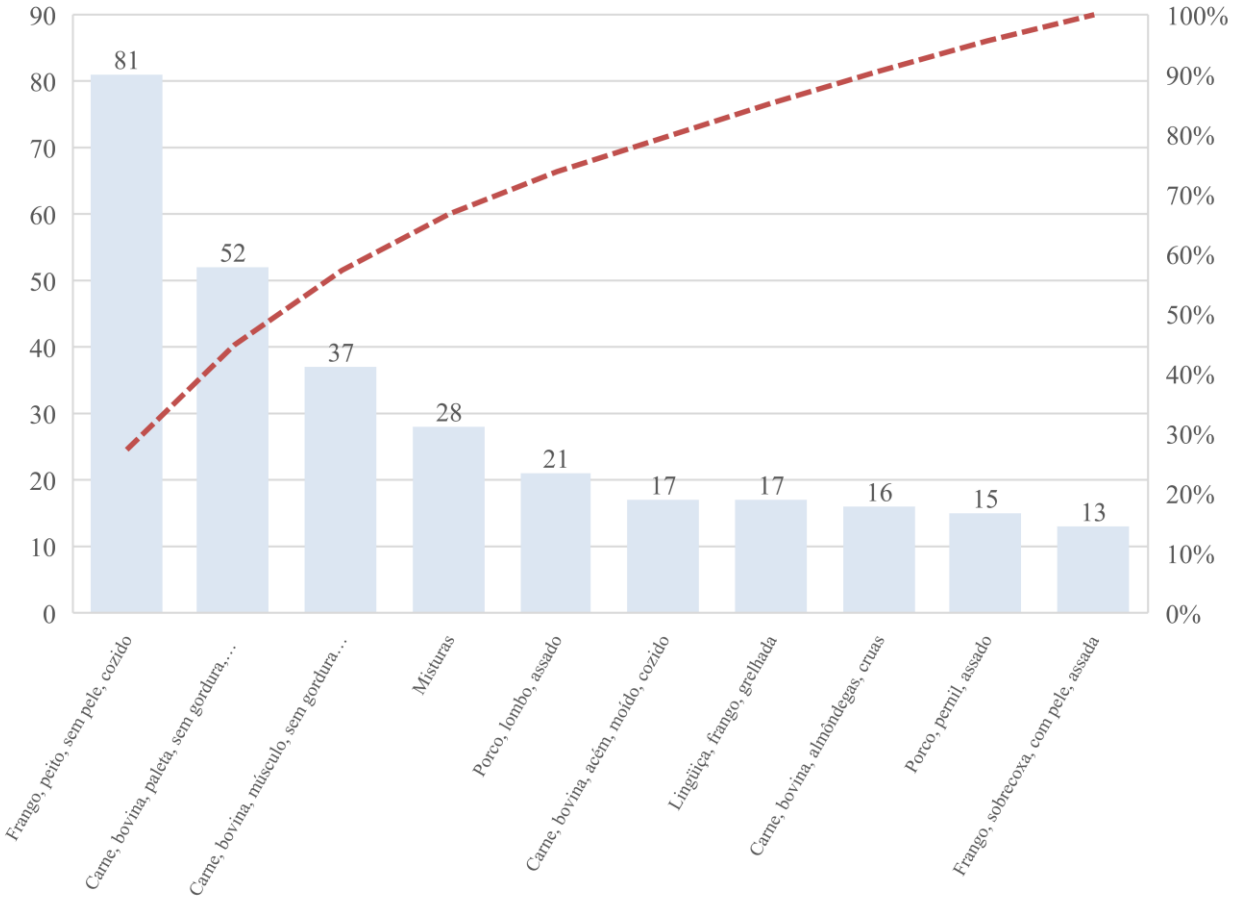
Tabela 3 – Estimativa de produção de biogás e metano a partir de diferentes substratos.

Substrato	**Produção de biogás ($m^3.kgSV^{-1}$)**	**Teor de metano (%)**
Proteína	0,700	71
Lipídeos	1,250	68
Carboidratos	0,790	50

Fonte: BASERGA apud FERREIRA, (2015)

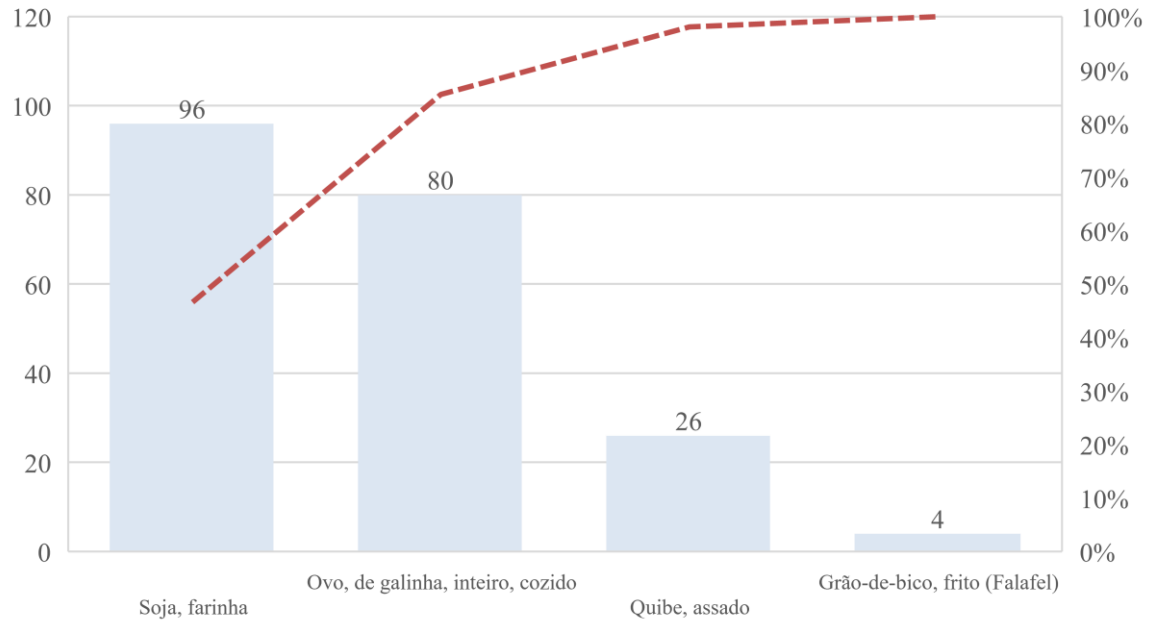
O RU/UFES serve diariamente o cardápio seguindo um padrão: prato principal (tradicionalmente uma carne), opção ao prato principal, prato vegetariano, guarnição, arroz branco, arroz integral, feijão (tipos variados), 4 tipos de saladas. Avaliando o cardápio de Outubro de 2016 a Outubro de 2017, podem ser observadas as frequências dos principais tipos de alimentos para cada segmento do cardápio, o que permite propor, para os três ambientes em que foram coletados os alimentos (RAMPA, PRATO e SALADA), a média de proteínas, carboidratos e lipídios mensalmente presentes, considerando a composição dos alimentos informadas na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (NEPA, 2011). Vale ressaltar ainda que no ambiente SALADA é realizado somente o preparo de frutas e vegetais, portanto deve-se considerar somente as informações relativas a estes alimentos do cardápio, enquanto nos ambientes PRATO e RAMPA há mistura de todos os alimentos servidos. Os gráficos de Pareto, Gráfico 01 a Gráfico 02, identificam os alimentos que foram servidos e suas frequências ao longo dos 12 meses que o cardápio foi avaliado.

Gráfico 1 – Distribuição paretada dos alimentos servidos no RU/UFES ao longo do ano para as opções principais.



Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 2 – Distribuição paretada dos alimentos servidos no RU/UFES ao longo do ano para opção vegetariana.



Fonte: Produção do próprio autor.

Considerando que todos os tipos de alimentos são proporcionalmente iguais em termos de quantidade descartada (observação *in loco*), pode-se identificar a média mensal de proteínas, carboidratos e lipídeos pela TACO conforme Tabela 04 a Tabela 09.

Tabela 4 – Percentual médio de PROTEINAS presente nos resíduos dos locais RAMPA E PRATOS no RU/UFES.

	CARDÁPIO	2016			2017								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
PROTEINAS RAMPA E PRATOS	PRATO Principal e Opção	26%	29%	28%	30%	30%	28%	28%	27%	28%	28%	28%	30%
	PRATO Vegetariano	24%	24%	20%	25%	24%	22%	28%	18%	26%	25%	26%	26%
	Arroz	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
	Feijão	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
	SALADA	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
	MÉDIA	**12%**	**12%**	**11%**	**13%**	**12%**	**12%**	**13%**	**11%**	**12%**	**12%**	**12%**	**13%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 5 – Percentual médio de CARBOIDRATOS presente nos resíduos dos locais RAMPA E PRATOS no RU/UFES.

	CARDÁPIO	2016			2017								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
CARBOIDRATOS RAMPA E PRATOS	PRATO Principal e Opção	3%	2%	4%	6%	5%	4%	8%	1%	1%	0%	1%	1%
	PRATO Vegetariano	19%	19%	12%	20%	18%	15%	39%	14%	24%	23%	22%	23%
	Arroz	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%
	Feijão	13%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
	SALADA	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	4%	5%	4%
	MÉDIA	**13%**	**13%**	**12%**	**14%**	**13%**	**13%**	**18%**	**12%**	**14%**	**14%**	**14%**	**14%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 6 – Percentual médio de LIPIDEOS presente nos resíduos dos locais RAMPA E PRATOS no RU/UFES.

	CARDÁPIO	2016			2017								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
LIPÍDEOS RAMPA E PRATOS	PRATO Principal e Opção	8%	8%	7%	8%	6%	7%	7%	8%	9%	9%	9%	7%
	PRATO Vegetariano	12%	12%	11%	12%	11%	11%	10%	3%	11%	10%	12%	11%
	Arroz	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
	Feijão	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
	SALADA	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
	MÉDIA	**4%**	**4%**	**4%**	**4%**	**4%**	**4%**	**4%**	**2%**	**4%**	**4%**	**4%**	**4%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 7 – Percentual médio de PROTEINAS presente nos resíduos dos locais SALADA no RU/UFES.

	CARDÁPIO	2016			2017								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
PROTEÍNAS SALADA	SALADA	1,2%	1,2%	1,2%	1,3%	1,2%	1,2%	1,3%	1,2%	1,2%	1,4%	1,2%	1,3%
	MÉDIA	**1,2%**	**1,2%**	**1,2%**	**1,3%**	**1,2%**	**1,2%**	**1,3%**	**1,2%**	**1,2%**	**1,4%**	**1,2%**	**1,3%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 8 – Percentual médio de CARBOIDRATOS presente nos resíduos dos locais SALADA no RU/UFES.

	CARDÁPIO	2016			2017								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
CARBOIDRATOS SALADA	SALADA	4,0%	4,0%	3,9%	4,5%	3,6%	3,8%	4,3%	4,5%	4,7%	4,5%	4,5%	4,5%
	MÉDIA	**4,0%**	**4,0%**	**3,9%**	**4,5%**	**3,6%**	**3,8%**	**4,3%**	**4,5%**	**4,7%**	**4,5%**	**4,5%**	**4,5%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 9 – Percentual médio de LIPIDEOS presente nos resíduos dos locais SALADA no RU/UFES.

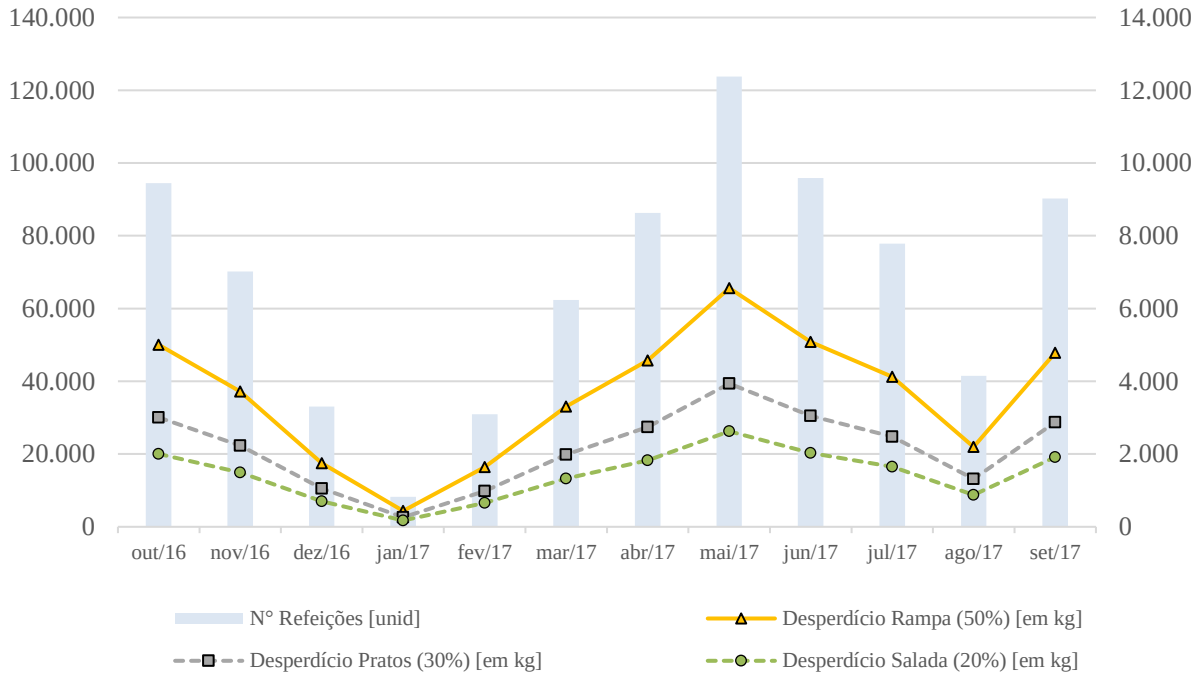
	CARDÁPIO	2016			2017								
		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
LIPÍDEOS SALADA	SALADA	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
	MÉDIA	**0,2%**	**0,1%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,1%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,2%**	**0,2%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Afim de determinar a quantidade de resíduos sólidos orgânicos produzidos no RU/UFES foi identificada a quantidade de refeições servidas pelo restaurante mensalmente ao longo de 12 meses (out/16 a set/17) e calculado a quantidade de resíduos orgânicos que são produzidos considerando a relação de desperdício médio de 106g.comensal^{-1} descrita em (LOPES, 2011). Desta forma foi possível estabelecer uma estimativa da quantidade de resíduos orgânicos oriundos do desperdício alimentar a partir da observação rotineira do processo de coleta e descarte, sendo definidos os percentuais sobre o total de resíduos gerados de 50% para RAMPA, 30% para PRATOS e 20% para SALADA. O Gráfico 03 identifica o total em valor absoluto

das refeições servidas no RU/UFES e a estimativa de geração de resíduos para cada um dos ambientes avaliados.

Gráfico 3 – Estimativa de geração de resíduos por local (RAMPA, PRATOS e SALADA).



Fonte: Produção do próprio autor.

Na Tabela 10 a Tabela 17 são mostrados os resultados obtidos em laboratório no desenvolvimento desta etapa, para os 4 dias diferentes em que foram realizadas as coletas. A Tabela 18 e o Gráfico 04 consolidam os resultados, identificando a proporção de sólidos voláteis encontrados nos sólidos totais.

Tabela 10 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 1.

AMOSTRAS	$M_{CÁPSULA}$	$M_{AMOSTRA}$	$M_{PÓS105°C}$	$M_{PÓS550°C}$
SALADA R01	41,3853	6,2830	41,6916	41,4254
SALADA R02	43,8507	6,8386	44,1799	43,8950
RAMPA R01	42,3774	6,4112	44,2622	42,4912
RAMPA R02	39,0795	12,2388	42,6786	39,3166
PRATO R01	50,6468	11,0414	54,4087	50,9527
PRATO R02	38,3346	5,9679	40,4005	38,4740

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 11 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 1.

AMOSTRAS	*ST (mg/g)*	*SF (mg/g)*	*SV (mg/g)*	*ST/resíduos (%)*	*SV/ST (%)*	*Média ST/resíduos (%)*	*Média SV/ST (%)*	*Média SV/resíduos (%)*
SALADA R01	48,75	6,38	42,37	5%	87%	5%	87%	4%
SALADA R02	48,14	6,48	41,66	5%	87%			
RAMPA R01	293,99	17,75	276,24	29%	94%	29%	94%	28%
RAMPA R02	294,07	19,37	274,70	29%	93%			
PRATO R01	340,71	27,70	313,00	34%	92%	34%	93%	32%
PRATO R02	346,17	23,36	322,81	35%	93%			

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 12 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 2.

AMOSTRAS	$M_{CÁPSULA}$	$M_{AMOSTRA}$	$M_{PÓS105°C}$	$M_{PÓS550°C}$
SALADA R01	41,5658	6,3099	41,8712	41,6010
SALADA R02	51,4101	7,1434	51,7570	51,4439
RAMPA R01	39,8618	8,5836	42,6552	40,5009
RAMPA R02	41,1850	8,6532	44,0327	41,9086
PRATO R01	47,2621	8,7281	50,4911	47,3983
PRATO R02	47,7929	8,6753	50,7714	47,9348

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 13 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 2.

AMOSTRAS	*ST (mg/g)*	*SF (mg/g)*	*SV (mg/g)*	*ST/resíduos (%)*	*SV/ST (%)*	*Média ST/resíduos (%)*	*Média SV/ST (%)*	*Média SV/resíduos (%)*
SALADA R01	48,40	5,58	42,82	5%	88%	5%	89%	4%
SALADA R02	48,56	4,73	43,83	5%	90%			
RAMPA R01	325,43	74,46	250,98	33%	77%	33%	76%	25%
RAMPA R02	329,09	83,62	245,47	33%	75%			
PRATO R01	369,95	15,60	354,35	37%	96%	36%	96%	34%
PRATO R02	343,33	16,36	326,97	34%	95%			

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 14 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 3.

AMOSTRAS	$M_{CÁPSULA}$	$M_{AMOSTRA}$	$M_{PÓS105°C}$	$M_{PÓS550°C}$
SALADA R01	54,8258	8,6149	55,8385	54,9611
SALADA R02	40,4282	9,5632	41,5213	40,5743
RAMPA R01	51,9790	7,6284	54,4528	52,6235
RAMPA R02	31,4349	7,4617	33,8475	32,0416
PRATO R01	40,4636	7,9891	43,3503	40,5991
PRATO R02	44,1051	11,0054	48,0208	44,2828

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 15 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 3.

AMOSTRAS	*ST (mg/g)*	*SF (mg/g)*	*SV (mg/g)*	*ST/resíduos (%)*	*SV/ST (%)*	*Média ST/resíduos (%)*	*Média SV/ST (%)*	*Média SV/resíduos (%)*
SALADA R01	117,55	15,71	101,85	12%	87%	12%	87%	10%
SALADA R02	114,30	15,28	99,03	11%	87%			
RAMPA R01	324,29	84,49	239,80	32%	74%	32%	74%	24%
RAMPA R02	323,33	81,31	242,02	32%	75%			
PRATO R01	361,33	16,96	344,37	36%	95%	36%	95%	34%
PRATO R02	355,80	16,15	339,65	36%	95%			

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 16 – Massas obtidas nos procedimentos de caracterização dos resíduos no LABSAN/UFES para o DIA 4.

AMOSTRAS	$M_{CÁPSULA}$	$M_{AMOSTRA}$	$M_{PÓS105°C}$	$M_{PÓS550°C}$
SALADA R01	52,2317	8,0436	52,7390	52,3028
SALADA R02	41,6035	9,1410	42,1465	41,6825
RAMPA R01	38,2808	8,437	42,1404	38,7975
RAMPA R02	38,6038	10,3902	43,2397	39,437
PRATO R01	39,0388	7,3542	41,5794	39,1521
PRATO R02	54,6689	8,9486	57,8850	54,8032

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 17 – Caracterização dos resíduos coletados no RU/UFES para o DIA 4.

AMOSTRAS	*ST (mg/g)*	*SF (mg/g)*	*SV (mg/g)*	*ST/resíduos (%)*	*SV/ST (%)*	*Média ST/resíduos (%)*	*Média SV/ST (%)*	*Média SV/resíduos (%)*
SALADA R01	63,07	8,84	54,23	6%	86%	6%	86%	5%
SALADA R02	59,40	8,64	50,76	6%	85%			
RAMPA R01	457,46	61,24	396,22	46%	87%	45%	84%	38%
RAMPA R02	446,18	80,19	365,99	45%	82%			
PRATO R01	345,46	15,41	330,06	35%	96%	35%	96%	34%
PRATO R02	359,40	15,01	344,39	36%	96%			

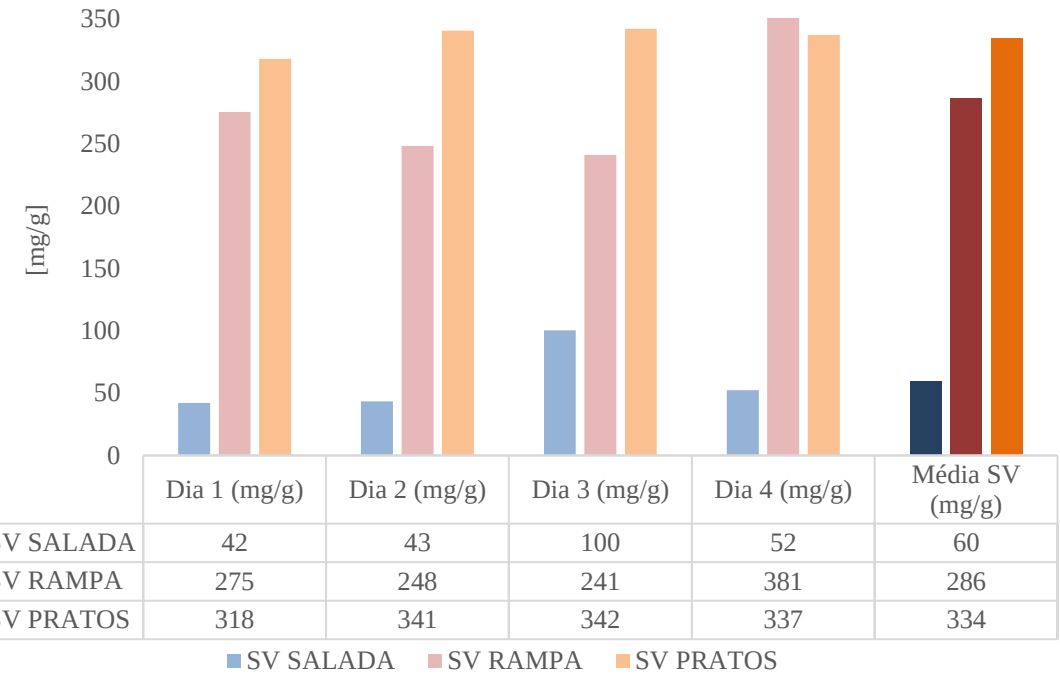
Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 18 – Resultados obtidos com o experimento para a relação percentual SV/resíduo.

Amostra	**SV/resíduos (%)**				
	Dia 1	**Dia 2**	**Dia 3**	**Dia 04**	**Média**
SV SALADA	4%	4%	10%	5%	**6%**
SV RAMPA	28%	25%	24%	38%	**29%**
SV PRATOS	32%	34%	34%	34%	**33%**

Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 4 – Comparativo dos resultados obtidos com o experimento para a relação SV/ST.



	Dia 1 (mg/g)	Dia 2 (mg/g)	Dia 3 (mg/g)	Dia 4 (mg/g)	Média SV (mg/g)
SV SALADA	42	43	100	52	60
SV RAMPA	275	248	241	381	286
SV PRATOS	318	341	342	337	334

Fonte: Produção do próprio autor.

Dos resultados experimentais pode-se verificar a média de sólidos voláteis presente nos resíduos, tratando-se de um importante indicador para avaliar a produção de biogás e consequentemente a produção de metano, tendo em vista que quanto maior a proporção de sólidos voláteis presentes nos resíduos, maior será a presença de matéria orgânica a ser biodegradada. Considerando os cálculos da Equação 08 até a Equação 11 e utilizando as informações de quantidade de resíduos gerados por dia no RU/UFES (Gráfico 03), percentuais médios de proteínas, carboidratos e lipídeos presentes no cardápio mensalmente, além da relação produção de biogás e teor de metano por substrato da Tabela 03, pode-se avaliar a disponibilidade do biogás para geração de energia elétrica, conforme resultados compilados na Tabela 19 a Tabela 22.

$$SV_{gerados} = \%_{\left(\frac{ST}{resíduos}\right)} * \%_{\left(\frac{SV}{ST}\right)} * Qtd\ de\ resíduos\ gerados \quad em\ (kg) \tag{08}$$

Tabela 19 – Cálculo da quantidade de SV do total de resíduos por local.

	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/17	mai/17	jun/17	jul/17	ago/17	set/17
Desperdício (Ger. Resíduos) RAMPA (50%) [em kg]	5.006	3.721	1.750	437	1.641	3.306	4.575	6.561	5.082	4.127	2.198	4.783
Desperdício (Ger. Resíduos) PRATOS (30%) [em kg]	3.004	2.232	1.050	262	985	1.984	2.745	3.937	3.049	2.476	1.319	2.870
Desperdício (Ger. Resíduos) SALADA (20%) [em kg]	2.003	1.488	700	175	657	1.322	1.830	2.624	2.033	1.651	879	1.913
Proporção SV/ST RAMPA	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%	29%
Proporção SV/ST PRATOS	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%
Proporção SV/ST SALADA	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
SV RAMPA [em kg]	1452	1079	508	127	476	959	1327	1903	1474	1197	637	1387
SV PRATOS [em kg]	991	737	347	86	325	655	906	1299	1006	817	435	947
SV SALADA [em kg]	120	89	42	10	39	79	110	157	122	99	53	115

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Total\ de\ substrato_{Prot,Carbo,Lip} = \%_{subst} * SV_{gerados} \quad em\ (kg) \tag{09}$$

Tabela 20 – Cálculo da quantidade de SV por substrato.

	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/17	mai/17	jun/17	jul/17	ago/17	set/17
PROTEINAS presentes em SV [em kg]	289	222	96	27	99	188	290	348	310	250	134	298
CARBOIDRATOS presentes em SV [em kg]	327	240	105	31	109	208	412	394	354	282	148	328
LIPÍDEOS presentes em SV [em kg]	103	75	34	9	29	61	83	78	105	81	46	90

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Prod.Biogás = Qtd\ Substrato * Prod.média_{substrato}\ \ em\ (m^3) \quad (10)$$

Tabela 21 – Cálculo da contribuição de cada substrato na geração de biogás total.

	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/17	mai/17	jun/17	jul/17	ago/17	set/17
Produção de biogás PROTEINAS [m³]	202	156	67	19	70	131	203	243	217	175	94	209
Produção de biogás CARBOIDRATOS [m³]	258	190	83	24	86	164	326	311	280	223	117	259
Produção de biogás LIPÍDEOS [m³]	129	94	42	12	36	76	104	97	131	101	58	113
Produção total de biogás [m³]	**589**	**440**	**192**	**55**	**192**	**372**	**633**	**652**	**628**	**499**	**269**	**581**

Fonte: Produção do próprio autor.

$$Prod.Metano = Prod.Biogás * Teor\ Metano_{substrato}\ \ em\ (m^3) \quad (11)$$

Tabela 22 – Cálculo da produção total de metano a partir da contribuição de cada substrato.

	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/17	mai/17	jun/17	jul/17	ago/17	set/17
Produção de metano PROTEINAS [m³]	144	111	48	13	49	93	144	173	154	124	67	148
Produção de metano CARBOIDRATOS [m³]	129	95	41	12	43	82	163	156	140	111	59	130
Produção de metano LIPÍDEOS [m³]	87	64	29	8	25	52	70	66	89	68	40	77
Produção total de metano [m³]	**360**	**269**	**118**	**33**	**117**	**227**	**378**	**395**	**383**	**304**	**165**	**355**

Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.1.2 Etapa 2 – Geração de biogás em protótipos de biodigestores

Com o objetivo de observar experimentalmente a produção de biogás, nesta Etapa 2 foi utilizado o material orgânico coletado no DIA 01 (Tabela 11) como insumo para os protótipos de biodigestores disponíveis no LABSAN/UFES permitindo que pudesse ser quantificada a produção de biogás oriundo dos resíduos orgânicos do RU/UFES.

Para que o experimento pudesse ser operacionalizado foram utilizados os protótipos de biodigestores mostrados na Figura 12, os quais foram montados utilizando frascos de vidro de

1L (Figura 13) e um manômetro com fundo de escala de 3 kgf/cm² instalado na tampa, permitindo que pudesse ser medida a pressão interna (Figura 14).

Figura 12 – Protótipo de bioreator utilizado para geração de biogás

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 13 – Frasco de 1L utilizado

Figura 14 – Manômetro utilizado

Fonte: Produção do próprio autor.

Inicialmente foram avaliadas as quantidades a serem misturadas considerando na qual, além da matéria orgânica dos resíduos, foi necessária a adição de cloreto de amônia, soluções macro e micronutriente, bicarbonato de sódio, extrato de leveduras e o inóculo, além de água destilada, garantindo a composição adequada da mistura para o processo de biodigestão anaeróbica.

Foram montados 8 frascos, sendo 6 frascos contendo duplicatas para cada origem dos resíduos orgânicos (SALADA, RAMPA e PRATOS) e outros 2 frascos sendo um controle positivo e outro controle negativo. Os controles são formas de monitoramento da qualidade do experimento, tal que controle negativo é o frasco contendo somente o inóculo sem biomassa, permitindo avaliar a contribuição na produção de biogás somente do inóculo. Já no controle positivo foi utilizada uma biomassa conhecida (acetato) para se certificar da atividade metanogênica do inóculo.

As quantidades de substratos a serem adicionadas foram consideradas respeitando a concentração final de 6g de SV por litro, conforme metodologia descrita em (AQUINO, 2007). Desta forma, o quantitativo de substrato adicionado no reator obedeceu a Equação 12, na qual foram consideradas as proporcionalidades de SV encontradas na *Etapa 1*. A Tabela 23 indica a quantidade de massa que foi adicionada em cada protótipo de reator que garantiu a concentração esperada.

$$M_{substrato} = \frac{Concentração_{substrato}}{SV} \qquad em\ (g) \tag{12}$$

Tabela 23 – Quantidades de substratos inseridas no bioreator

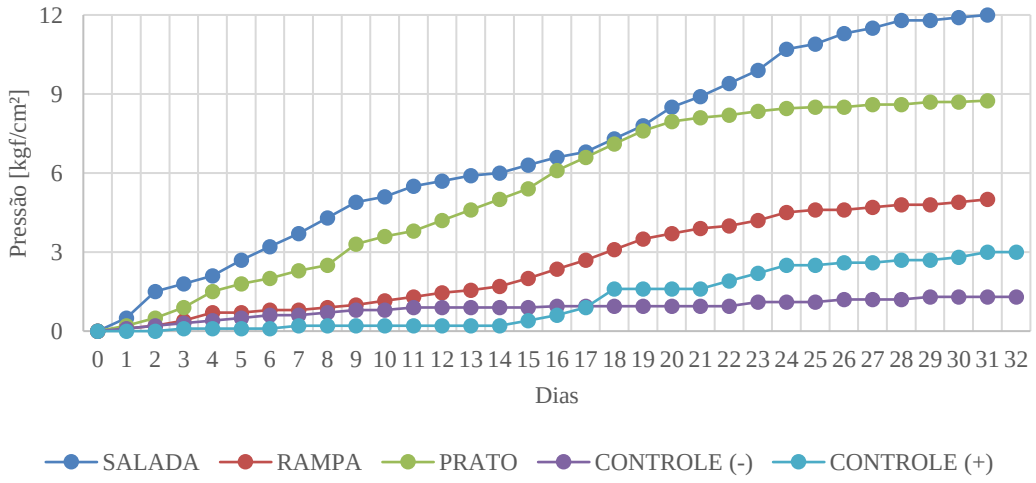
Amostra	*Concentração do Substrato (mg SV/L)*	*SV (mg/g)*	*Massa do substrato (g)*
SALADA 01	6000	42,37	142
SALADA 02	6000	41,66	144
RAMPA 01	6000	276,24	22
RAMPA 02	6000	274,70	22
PRATO 01	6000	313,00	19
PRATO 02	6000	322,81	19
Controle (+)	6000	-	6
Controle (-)	0	-	0

Fonte: Produção do próprio autor.

Após realizada a mistura dos componentes, os protótipos foram purgados com nitrogênio afim de criar uma atmosfera anaeróbica nos biodigestores. Os frascos foram depositados em uma estufa com temperatura controlada e mantida em 35±1°C.

O experimento seguiu-se por um intervalo de 31 dias no qual verifica-se o início do processo de saturação da produção do biogás observando-se uma assíntota horizontal na curva de pressão. Vale salientar que foi necessário realizar o alívio de tempo em tempo garantindo as leituras, considerando que o fundo de escala dos manômetros era somente de 3kgf/cm². O Gráfico 05 mostra a curva de aumento da pressão indicando a produção de biogás.

Gráfico 5 – Pressão interna ao biorreator durante o processo de geração de biogás



Fonte: Produção do próprio autor.

A conversão de pressão em volume pode ser realizada conforme a Equação 13, levando em consideração a Lei de Boyle que compõe as leis dos gases ideais, considerando que o número de mols é constante e que o processo foi isotérmico. Portanto, o volume da mistura que foi de aproximadamente 820ml, permitiu o volume excedente interno ao biodigestor de 180ml que foi ocupado pelo biogás produzido. A pressão externa ao protótipo é a pressão atmosférica que equivale a 1atm.

$$P_{int} * V_{int} = P_{ext} * V_{ext} \rightarrow P_{int} * 0{,}18L = 1atm * V_{ext} \quad (13)$$

Tal que,

P_{int} é a pressão interna ao frasco e que foi medida em kgf/cm²;

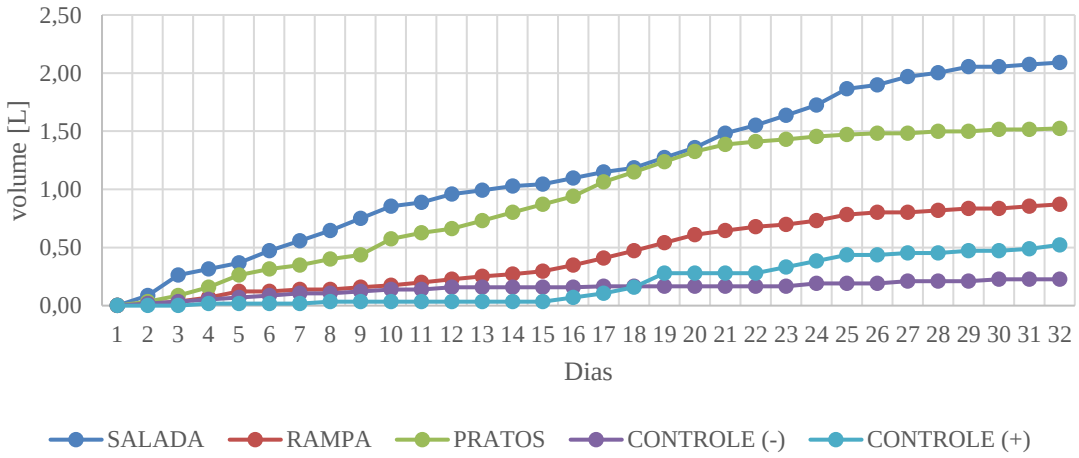
V_{int} é o volume interno ao fraco e constante no valor de 0,18L;

P_{ext} é a pressão atmosférica (externa ao frasco) e equivalente a 1atm;

V_{ext} é o volume que o gás ocupará (em L) considerando a relação inversa à pressão;

Convertendo o gráfico de pressão para volume ao longo dos dias de produção do biogás, tem-se o Gráfico 06 mostrando a produção de biogás em litros.

Gráfico 6 – Produção de biogás nos biorreatores durante o processo experimental



Fonte: Produção do próprio autor.

A partir do experimento realizado é possível avaliar se a metodologia proposta pode ser validada de tal forma que a estimativa de produção de metano a partir dos resíduos do RU sejam mais próximas possíveis do calculado a partir da avaliação teórica da *Etapa 1* sendo então compiladas na Tabela 24 as informações a partir dos resíduos coletados no DIA 1 (Tabela 11).

Tabela 24 – Principais resultados obtidos com o procedimento experimental de geração de biogás

	RAMPA	PRATO	SALADA
Resíduos gerados [em kg]	0,022	0,019	0,142
Proporção ST/resíduos	29%	34%	5%
Proporção SV/ST	94%	93%	87%
SV [em kg] (Equação 08)	0,006	0,006	0,006
% PROTEINAS	5,7%	5,7%	2,1%
% CARBOIDRATOS	12,3%	12,3%	8,5%
% LIPIDEOS	0,7%	0,7%	0,3%
PROTEINAS presentes em SV [em kg] (Equação 09)	0,00034	0,00034	0,00013
CARBOIDRATOS presentes em SV [em kg] (Equação 09)	0,00074	0,00074	0,00053
LIPIDEOS presentes em SV [em kg] (Equação 09)	0,00004	0,00004	0,00002
Produção de biogás PROTEINAS [m^3/kgSV]	0,70	0,70	0,70
Produção de biogás CARBOIDRATOS [m^3/kgSV]	0,79	0,79	0,79
Produção de biogás LIPÍDEOS [m^3/kgSV]	1,25	1,25	1,25
Produção de biogás PROTEINAS [em L] (Equação 10)	0,24	0,24	0,09
Produção de biogás CARBOIDRATOS [em L] (Equação 10)	0,58	0,58	0,41
Produção de biogás LIPÍDEOS [em L] (Equação 10)	0,05	0,05	0,02
Produção total de biogás [em L]	**0,87**	**0,88**	**0,53**

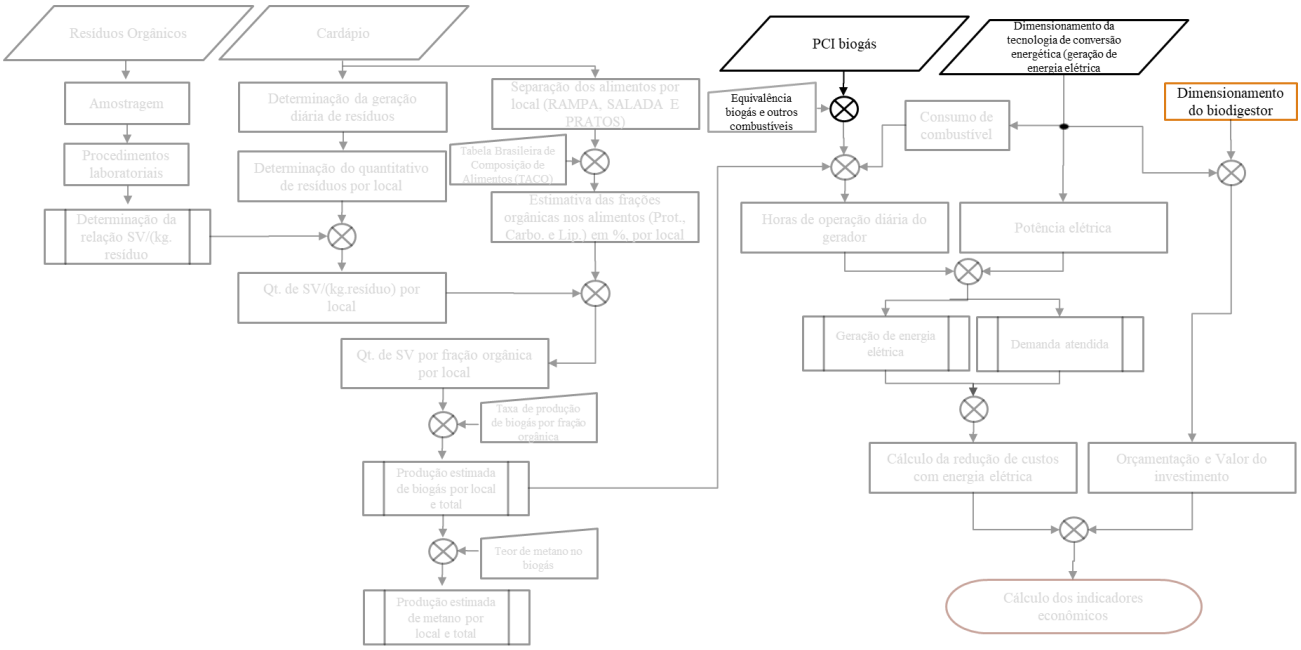
Fonte: Produção do próprio autor.

Do cálculo teórico da Tabela 24, observa-se que era esperada a uma produção menor dos resíduos originados do ambiente SALADA, sendo a produção esperada para os ambientes PRATO e RAMPA bem próximos. O comportamento das curvas de produção de biogás para os ambientes PRATO e RAMPA foram confirmadas através do experimento, tal que a produção registrada está próxima da produção esperada, lembrando que deve ser reduzida a parcela de geração do biogás pelo inóculo, ou seja, deve-se subtrair dos 3 ambientes a produção associada a curva do controle negativo. Observa-se ainda do Gráfico 06, a tendência de saturação da produção de biogás para os 3 ambientes após o tempo de retenção de 31 dias. Para o ambiente SALADA, o valor experimentado variou em relação ao valor teórico. Fato pode ser explicado pelas incertezas do experimento, como as proporções das frações orgânicas. Observa-se ainda que a produção de biogás para o ambiente SALADA cresce mais acentuadamente, fato explicado pelo menor teor de sólidos totais, o que garante maior área de contato para que as bactérias possam executar o processo de digestão anaeróbica.

Considerando então os resultados experimentais próximo aos resultados teóricos, foi definida a metodologia desenvolvida neste capítulo, e os resultados encontrados a partir dela, para avaliação do potencial de geração de biogás, seguindo-se para a proposta de geração de energia

elétrica a partir dos resíduos de alimentos do RU/UFES, sendo inicialmente identificada a curva de carga do restaurante para que pudesse ser realizado um paralelo entre geração renovável e o uso de energia elétrica do restaurante. Foi ainda realizado o dimensionamento do biodigestor e de possíveis motogeradores que pudessem ser utilizados no processo. A Figura 15 mostra em evidência as atividades descritas no Capítulo 4, posicionando-as em relação ao contexto geral da metodologia.

Figura 15 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de dimensionamento dos principais equipamentos da geração renovável



Fonte: Produção do próprio autor.

4 PROPOSTA DE GERAÇÃO RENOVÁVEL

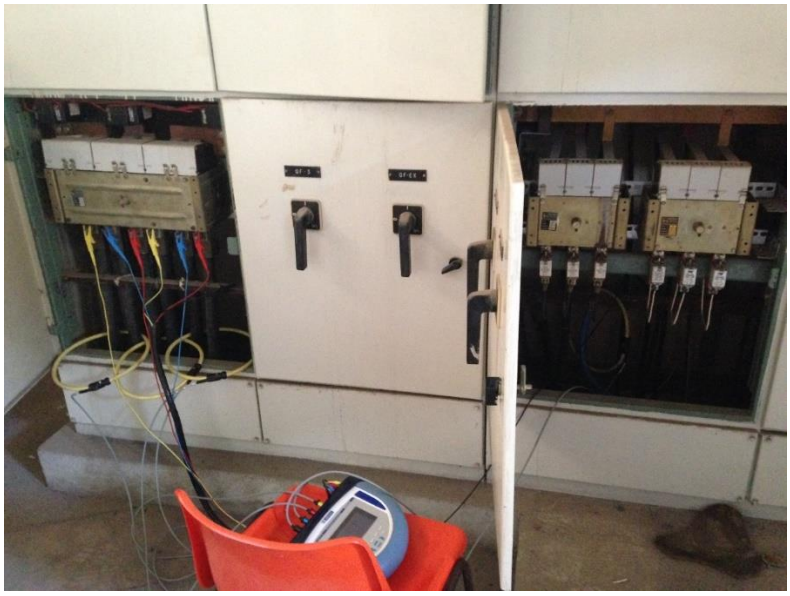
4.1 Demanda energética do RU/UFES

A distribuição de energia elétrica na UFES é realizada via rede aérea em 11,4kV, originária de uma subestação principal de entrada onde há o fornecimento pela concessionária de energia do Espírito Santo, EDP Escelsa, em 34,5kV. Um transformador abaixador é responsável para reduzir a tensão ao valor de distribuição na universidade. Ao longo de todo *Campus* existem subestações localizadas que atendem grupamentos de prédios, transformando de 11,4kV para 220/127V.

A medição de energia é realizada apenas no ponto de entrada, de forma que toda ação de eficiência energética, seja ela em um prédio da universidade ou em todos, tem seu reflexo financeiro no faturamento de todas as instalações. Portanto, para identificar a demanda energética do restaurante afim de permitir uma análise técnica detalhada foi necessário realizar medições no ponto de fornecimento direto do restaurante que é atendido por uma das subestações descentralizadas.

O RU/UFES é atendido por um transformador abaixador (11,4kV/220V) que alimenta um painel de distribuição principal. A partir deste painel foi realizada a medição de energia com um analisador de energia modelo RE6000, fabricante EMBRASUL, que possui entradas trifásicas de tensão e corrente, permitindo a análise de tensões, correntes, potências ativas, reativas e aparentes, fator de potência, desbalanceamentos, distorções harmônicas totais de tensão, corrente e global, frequência, consumos, demandas e interrupções. O equipamento possui comunicação ETHERNET para transferência de dados (EMBRASUL, 2015). O analisador de energia foi parametrizado para integralizar resultados com período de amostragem de 1min, medindo todas as grandezas elétricas disponíveis citadas no catálogo. A Figura 16 mostra o equipamento montado e pronto para medição.

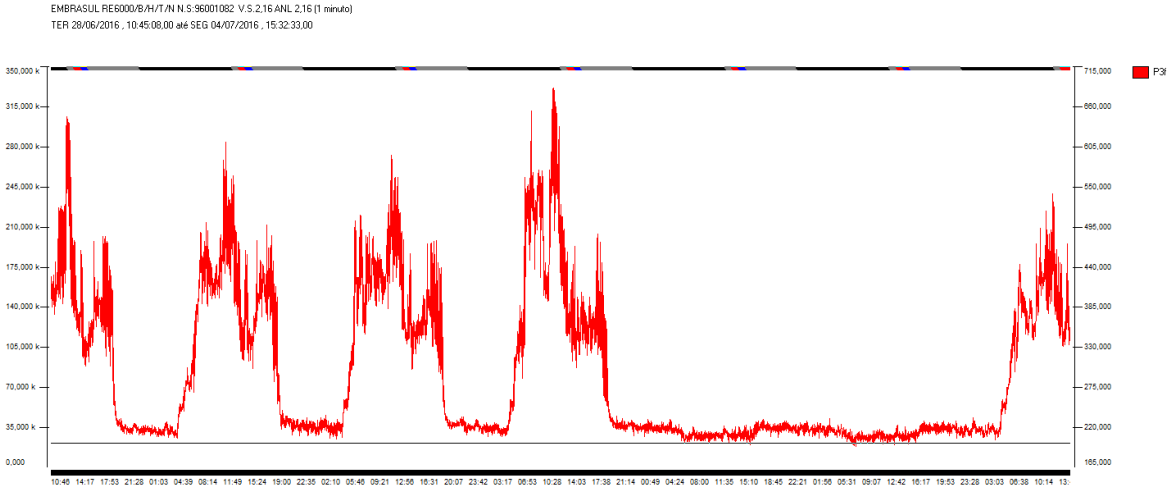
Figura 16 – Montagem do analisador de energia para obtenção da memória de massa do RU/UFES



Fonte: Produção do próprio autor.

As medições foram realizadas por um período de um mês permitindo criar um banco de dados satisfatório para avaliar a curva típica do restaurante. A Figura 17 mostra a curva de carga do restaurante ao longo de 7 dias. É visível que há um comportamento típico, esperado de um restaurante, no qual há picos de demanda durante o horário do almoço e jantar. Verifica-se também que há apenas uma pequena demanda durante os finais de semana, oriundas das câmaras frias que permanecem ligadas.

Figura 17 – Curva de carga do RU/UFES durante os 7 dias da semana



Fonte: Produção do próprio autor.

Foi então traçada a curva de carga de um dia típico de funcionamento do RU/UFES conforme apresentado no Gráfico 07.

Gráfico 7 – Curva de carga de um dia típico de funcionamento do RU/UFES.

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir da curva de carga típica, verifica-se que a demanda máxima no horário fora de ponta é de 331kW e no horário de ponta de 203,79kW. Calcula-se também o consumo de energia fora de ponta e ponta, totalizando 2748,28kWh e 411kWh respectivamente.

4.2 Projeto de geração de energia elétrica a partir de biomassa

O projeto de geração de energia elétrica a partir do biogás, através da decomposição da matéria orgânica, tem como principais elementos do processo o biodigestor, que se trata de um compartimento hermético que impede a entrada de ar favorecendo uma atmosfera anaeróbica, possibilitando então que ocorra a biodigestão. Além do biodigestor, é necessário utilizar alguma tecnologia que permita a conversão do poder calorífico do biogás em energia elétrica. Neste

estudo serão considerados apenas as tecnologias associadas a motogeradores e turbogeradores, nas quais o biogás é utilizado como combustível. É importante salientar que além dos dois componentes citados (biodigestor e moto/turbogerador), um sistema com características industriais requer tubulações, motobombas, instrumentos e automatismo necessário ao controle do processo. Há ainda a necessidade de equipamentos que permitam a interligação, seccionamento e proteção do sistema elétrico isolado e da rede elétrica na qual o sistema será conectado.

4.2.1 Biodigestores

Os biodigestores possuem diversas características construtivas que se diferenciam devido à necessidade do usuário, custos de investimento, material construtivo, tamanho e forma, além de diferentes regimes de operação, podendo ser do tipo batelada e do tipo contínuo.

Biodigestores do tipo batelada são construídos para que, após o ambiente interno ser inertizado, é então depositada a carga inicial que permanecerá ali durante todo o processo de digestão anaeróbica sem que haja interferência externa ou novas cargas. Todo o biogás gerado é utilizado e o biodigestor limpo para que receber uma nova carga dando início a um novo ciclo independente do anterior.

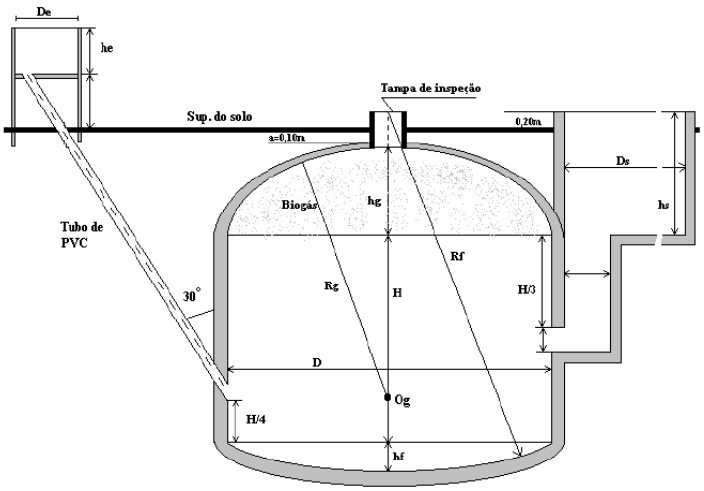
Biodigestores do tipo contínuo seguem o mesmo processo inicial do regime tipo batelada, porém há inserção de novas cargas periodicamente garantindo que haverá matéria a ser decomposta continuamente e consequentemente haverá produção de biogás até que não sejam depositadas novas cargas. O biogás é então extraído, podendo ser diretamente utilizado ou ainda armazenado em gasômetros para uso posterior. É possível citar os três tipos mais encontrados de biodigestores contínuos em instalações onde há o aproveitamento de biomassa: modelo chinês, modelo indiano e lagoa coberta.

O modelo lagoa coberta é tradicionalmente empregado em regiões agrícolas por ser construído na direção horizontal, exigindo áreas construídas maiores que os demais modelos. É de características construtivas simples, se tratando de uma grande caixa tradicionalmente de alvenaria coberta por uma lona plástica impermeável e isolante da possível entrada de ar. A medida que ocorre a formação de biogás esta lona se expande acondicionando ali a produção.

Há uma caixa de entrada de substrato e outra de saída permitindo que a mesma seja utilizando em regimes contínuos.

O modelo chinês é construtivamente formado por uma estrutura cilíndrica vertical, comumente em alvenaria, onde é depositada a carga para que haja o processo anaeróbico. A parte superior é tradicionalmente abobada e impermeável, permitindo que todo gás produzido se deposite nesta região, sendo que com o aumento de pressão no interior do biodigestor ocorrerá deslocamento do efluente para a câmara de saída. Por se tratar de um modelo utilizado no regime contínuo, além da câmara de saída há também a câmara de entrada para que novas cargas possam ser depositadas. Por este modelo ser amplamente constituído de alvenaria e utilizar tubulações de PVC, o custo associado é relativamente baixo, porém exige mão de obra especializada para garantir que não haverá vazamento de gás e o ambiente interno seja adequado ao processo. Uma questão importante neste modelo é a existência de uma câmara menor anexa, conforme Figura 18, que permita ao biodigestor trabalhar com pressões menores que as altas pressões observadas sem esta câmara.

Figura 18 – Biodigestor modelo chinês



Fonte: DEGANUTTI et al., (2002)

Onde,

D - é o diâmetro do corpo cilíndrico;

H - é a altura do corpo cilíndrico;

Hg - é a altura da calota do gasômetro;

hf - é a altura da calota do fundo;

Of - é o centro da calota esférica do fundo;

Og - é o centro da calota esférica do gasômetro;

he - é a altura da caixa de entrada;

De - é o diâmetro da caixa de entrada;

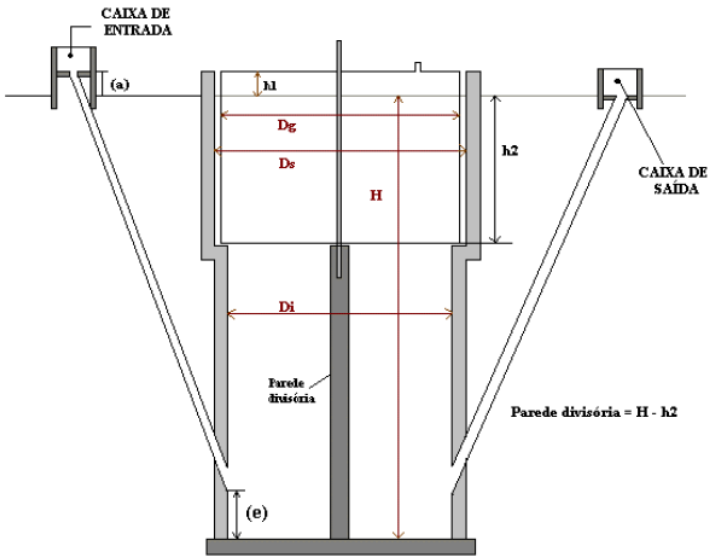
hs - é a altura da caixa de saída;

Ds - é o diâmetro da caixa de saída;

A - é o afundamento do gasômetro;

O modelo indiano se assemelha ao modelo chinês quanto à característica vertical, porém neste observa-se a presença do gasômetro como uma construção independente que normalmente está imersa na biomassa ou separada por um selo, e possui um curso orientado na vertical de forma que se desloque e aumente seu volume à medida que se observa a produção de biogás, garantindo pressão constante no seu interior. Este modelo apresenta ainda uma parede central vertical dividindo o biodigestor internamente em duas câmaras, permitindo o deslocamento interno do efluente, o que promove maior eficiência das bactérias no processo de digestão. Há ainda neste modelo a presença de uma câmara de entrada e outra de saída, porém não sendo necessária a câmara anexa observada no modelo chinês pois este trabalha com pressão constante (conforme Figura 19).

Figura 19 – Biodigestor modelo indiano



Fonte: DEGANUTTI et al., (2002)

Onde,

H - é a altura do nível do substrato;

Di - é o diâmetro interno do biodigestor;

Dg - é o diâmetro do gasômetro;

Ds - é o diâmetro interno da parede superior;

h1 - é a altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - é a altura útil do gasômetro;

a - é a altura da caixa de entrada;

e - é a altura de entrada do cano com o afluente.

4.2.1.1 Biodigestor proposto

Para o caso em avaliação neste projeto e os modelos apresentados, levando em conta que a produção de resíduos no RU/UFES ocorre diariamente (exceto sábados e domingos), o regime contínuo apresenta ser o mais indicado. Para o modelo de biodigestor, o indiano se torna o indicado considerando maior eficiência (JUNQUEIRA, 2014), custos de investimento e disponibilidade de áreas associadas às instalações do restaurante para a construção do biodigestor observando fatores como a facilidade no transporte da biomassa para carga e localização da subestação que atende ao restaurante.

Podemos estimar o volume do biodigestor calculando o volume diário de carga (considerando a diluição necessária para garantir o fluxo interno nas tubulações) pelo período de retenção necessário a digestão anaeróbica. A Equação 14 resume o volume do biodigestor.

$$V_{bio} = V_{carga}\ x\ TR \tag{14}$$

$Vbio$ - é o volume do biodigestor;

$Vcarga$ – é o volume da carga (solução biomassa + água);

TR - é o tempo de retenção no biodigestor.

É característica do biodigestor modelo indiano trabalhar com um percentual médio de 8% de sólidos totais na mistura (JUNQUEIRA, 2014), portanto a concentração deve ser avaliada

diariamente, considerando a diversidade de alimentos que o biodigestor irá receber. Em (FERREIRA,2015) é descrita a avaliação de uma planta de geração de energia elétrica a partir de biogás oriundo de resíduos do restaurante universitário do *Campus* Pampulha da UFMG, na qual cita-se a utilização média de 595L por dia para um total médio de 6000 refeições servidas no restaurante. Em comparação a (FERREIRA, 2015) para cálculo do volume de água a ser adicionado no reator deste projeto, será considerado o valor de 600L, o que infere na proporção 1:1 entre quantidade de resíduos produzidos e quantidade de água adicionada. A Tabela 25 resume os valores calculados, considerando uma distribuição igual de refeições do total mensal pelos dias de funcionamento no mês.

Tabela 25 – Cálculo do volume esperado do biodigestor

Mês com maior número de refeições servidas (Mai-17)	123.794
Número de dias de funcionamento no mês (Mai-17)	22
Refeições/dia	5.627
Geração de resíduos (*kg*)	596
Volume de água (1:1) (L*)*	600
Vcarga = Volume de carga diária estimada (*m³*)	0,8
TR (*dias*)	30
Vbio = Volume Total do Biodigestor (*m³*)	24

Fonte: Produção do próprio autor.

Obtido o volume total que o biodigestor deverá possuir, é necessário definir as medidas do biodigestor modelo indiano que se adeque ao espaço disponível para a instalação guiando-se pelas medidas referência na Figura 19.

4.2.2 Motogeradores e Turbogeradores

Com a finalidade de converter o potencial calorífico do biogás em energia elétrica é necessário utilizar conversores que propiciem este processo, como motogeradores, turbogeradores, microturbinas ou ainda outras tecnologias que não utilizam o biogás diretamente como combustível, mas utilizam em processos de queima para geração de outras substâncias como em caldeiras para produção de vapor. Neste projeto, foi de interesse o estudo somente de máquinas cuja aplicação do biogás seja direta, especificamente motogeradores e turbogeradores.

Os geradores elétricos são máquinas capazes de converter energia mecânica em energia elétrica através do movimento rotativo do rotor, sendo então coletadas as tensões através do estator. A máquina motriz é comumente associada a motores de combustão que utilizam gasolina, diesel ou qualquer outra substância que garanta as características associadas a queima do combustível em cilindros que promovem o movimento de pistões gerando energia cinética (ciclos Otto e Diesel, por exemplo). Já em turbinas a gás a combustão ocorre a partir da mistura do ar com o gás comprimido a pressão constante, promovendo o movimento do rotor através da expansão dos gases resultantes da combustão (ciclo Brayton).

Quando comparados os turbogeradores e os motogeradores, verifica-se que o primeiro é tradicionalmente empregado em aplicações cujas potências são significativamente superiores, podendo chegar a valores próximos de 800kW. Em relação aos custos para projetos de menor porte, motores de ciclo Otto são mais indicados para utilização de gases como combustível por se tratar de um sistema menos sofisticado e mais robusto, favorecendo a redução, inclusive, nos custos associados ao controle da planta (OLIVEIRA, 2013).

4.2.2.1 Sistema de conversão energética proposto

Considerando os custos de investimento menores, a expectativa quantitativa de geração de biogás diária e a robustez e tecnologia amplamente difundida em relação aos motogeradores a gás, esta se torna a escolha mais adequada a este projeto.

É importante salientar que caso sejam utilizados motogeradores que utilizam o ciclo Otto para uso do biogás, estes requerem preparativos adequados para que possam operar com combustível modificado. Deve-se promover alterações que incluem a taxa de compressão, relação ar combustível, ponto de ignição, entre outros, que irão influenciar parâmetros como rendimento total, potência efetiva e consumo específico. (SOUZA, 2016). A razão de compressão é habitualmente alterada para valores entre 12:1 e 13:1, variando conforme concentração de metano no biogás, além do sistema de ignição que deve ser adiantada para cerca de 45° já que o biogás demora mais para detonar (JUNQUEIRA, 2014).

O cálculo da geração de energia elétrica diária pode ser realizado utilizando o conceito de poder calorífico inferior, ao comparar o biogás com outros combustíveis, sendo possível então

determinar o tempo de operação diária do motogerador a plena carga. A Equação de Dulong (aqui repetida na Equação 15) fornece resultados aproximados para o poder calorífico do combustível, desde que se conheça sua composição. Baseia-se na ideia que o poder calorífico de um composto é a soma dos calores desprendidos pela combustão dos elementos que o integram (HALOUA apud BITENCOURT, 2015, p. 33)

$$PCI_{total} = \sum PCI_i \; x \; C_i \tag{15}$$

Utilizando a Equação 15, pode-se então determinar o PCI do biogás, considerando que em torno de 65% de sua composição é metano e 35% gás carbônico (SGC, 2012). Sabendo que o PCI do metano é de 8.530kcal/m³, calcula-se que o PCI do biogás é de 5.544,5kcal/m³, ou equivalente, 23,2MJ/m³. A Tabela 26 estabelece o comparativo entre o biogás e outros combustíveis.

Tabela 26 – Comparativo do potencial energético do biogás com outros combustíveis

Combustível	**PCI**	**1m³ de biogás equivale a**
Metano	*8530kcal/m3*	0,65
Biogás	5544,5 *kcal/m3*	-
Gasolina	8325 *kcal/L*	0,67 L
Diesel	9160 *kcal/L*	0,61 L
Gás Natural	9400 *kcal/m3*	0,59 m³

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir da equivalência do biogás com demais combustíveis pode-se avaliar a geração de energia elétrica a partir do consumo médio dos motogeradores, especificado pelo fabricante. O Quadro 03 mostra um comparativo de motogeradores que poderiam ser utilizados.

Quadro 3 – Comparativo entre motogeradores de baixa potência.

Grupo Gerador	**GENERAC**	**GENERAC**	**TOYAMA**	**MATSUYAMA**	**NAGANO**
Modelo	QT025	7077	TG12000CXNE3D	16HP Matsuyama	NG6100E3
Potência (kW) *(Pot.Gerador)*	25	17	11	7,2	4,4
Tipo de combustível	Gás Natural	Gás Natural	Gasolina	Gasolina	Gasolina
Consumo combustível	12,2 m³/h a plena carga	7,7 m³/h a plena carga	4,6L/h a plena carga	3,1L/h a plena carga	2,5 L/h a plena carga
Tensão (V)	220 Trifásico	220 Trifásico	220 Trifásico	220 Trifásico	220 Trifásico

Fonte: GENERAC, (2018), TOYAMA, (2018) e NAGANO, (2018).

A especificação do motogerador deverá ser feita considerando as possibilidades de regimes de operação permitindo a maximização de custos evitados, como por exemplo, a operação durante todo o horário de ponta no qual a energia possui tarifas maiores, ou ainda por períodos prolongados que garantam o suprimento de energia elétrica para o restaurante oferecendo confiabilidade caso haja instabilidade do sistema elétrico oriundo da distribuidora.

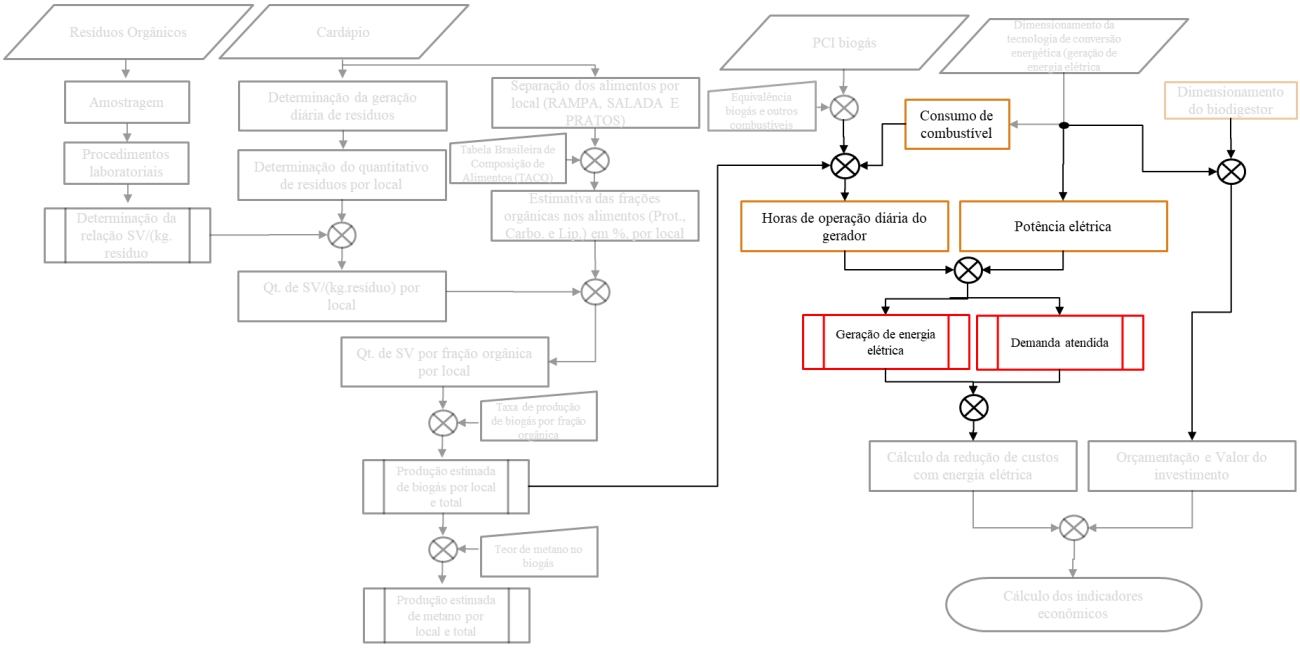
Considerando o Quadro 03 no qual foi realizado o comparativo entre consumo e potência de motogeradores, a escolha do modelo 7077 do fabricante GE (Generac) poderia ser uma opção viável para a operação no horário de ponta, permitindo que o gerador opere durante o período de pico da distribuidora (entre 18h e 21h) representando aproximadamente 10% da demanda do restaurante entre 18h e 19h, 20% entre 19h e 20h e 50% da demanda entre 20h e 21h conforme a curva de carga típica em um dia útil (Gráfico 07). Para os dias não úteis, o gerador escolhido poderia operar atendendo parte da demanda do restaurante em casos de faltas de energia, já que a demanda média nestes dias é de aproximadamente 38kW, conforme curva de carga da Figura 17, equivalente às câmaras frias que são mantidas ligadas durante os sábados e domingos, oferecendo maior confiabilidade ao sistema. A escolha poderia ser também por um gerador de menor potência, com consumo menor de biogás, que garantisse a operação durante todo o dia, como o modelo NG6100E3 do fabricante Nagano, cuja potência é de 4,4 kW, representando percentuais entre 1% e 50% da demanda fora de ponta e 2,2% da demanda máxima registrada no horário de ponta, conforme curva de carga típica de um dia útil do restaurante (Gráfico 07).

O que deverá nortear a escolha do motogerador é a relação consumo de combustível para a maior geração possível, considerando ainda a variação com os custos de manutenção e valor do investimento necessário.

Dimensionado as características do projeto, seguiu-se para a análise técnica, na qual foi inicialmente levantada a curva de carga da Universidade e em seguida foram avaliados 3 cenários diferentes para geração da energia elétrica no que tange aos postos horários e regime de funcionamento do motogerador. Até o capítulo 4, todo o paralelo foi estabelecido com o consumo e demanda apenas do restaurante pois toda a geração de resíduos é oriunda apenas do restaurante. Porém, como o faturamento é coletivo, segue-se no capítulo 5 com a análise técnica do projeto considerando a injeção de energia na rede elétrica da UFES. A Figura 20 mostra em

evidência as atividades descritas no Capítulo 5, posicionando-as em relação ao contexto geral da metodologia.

Figura 20 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de análise técnica



Fonte: Produção do próprio autor.

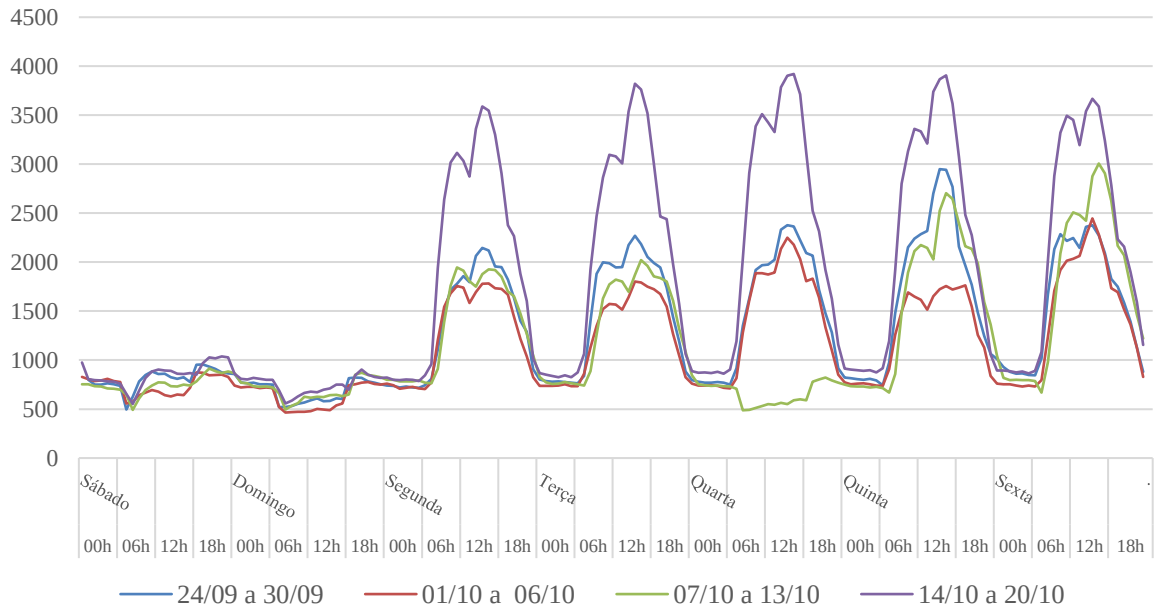
5 ANÁLISE TÉCNICA DA GERAÇÃO RENOVÁVEL

A análise técnica da matriz de geração alternativa proposta deverá ser feita em relação ao consumo e demanda da instalação elétrica para todo o *Campus* da UFES, considerando que o faturamento é realizado de forma coletiva, não existindo medidores individuais, e consequentemente faturas individuais, para cada prédio dentro da Universidade. Portanto deverá ser considerada a curva de carga da instalação, sendo então definidas as possibilidades de geração de energia elétrica a partir da matriz renovável. Foram aqui também considerados os aspectos técnicos relativos à interligação da matriz renovável à rede elétrica da universidade.

5.1 Curva de carga da universidade e capacidade de geração de energia elétrica em relação à demanda e consumo do RU/UFES

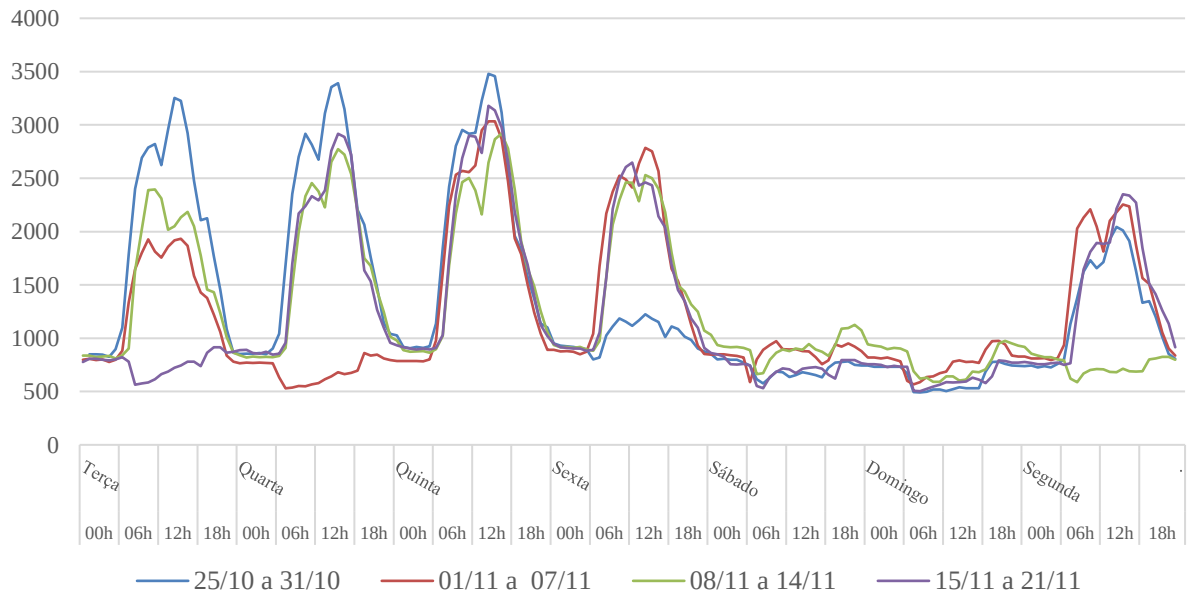
Foram avaliadas as curvas de carga dos meses de Outubro de 2016 a Março de 2017, para que pudesse ser definida a curva típica de carga nos dias úteis e a curva de carga nos finais de semana. Observa-se, a partir dos gráficos (Gráfico 08 a Gráfico 13), que o comportamento da demanda de Segunda a Sexta é característico, bem como nos dias de finais de semana.

Gráfico 8 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Outubro de 2017



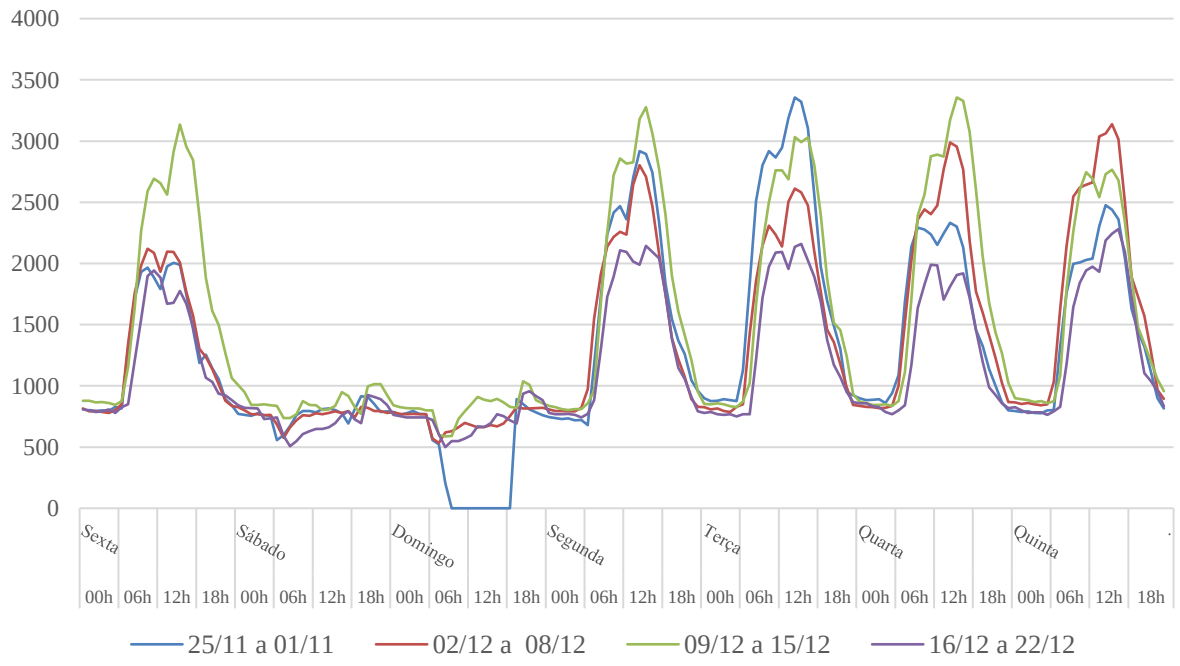
Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 9 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Novembro de 2017



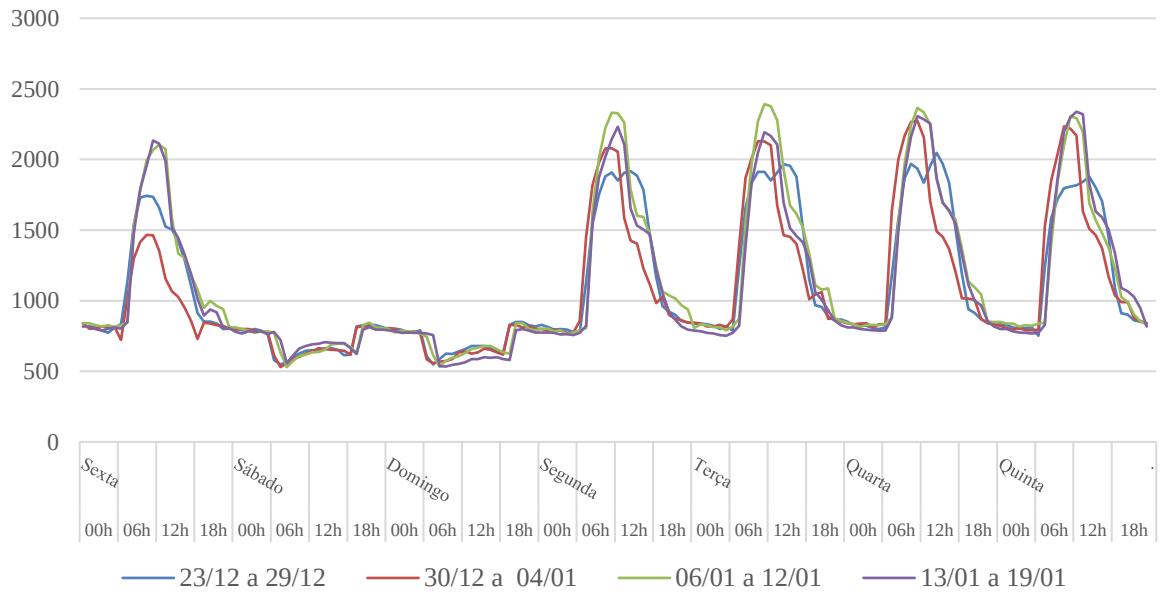
Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 10 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Dezembro de 2017



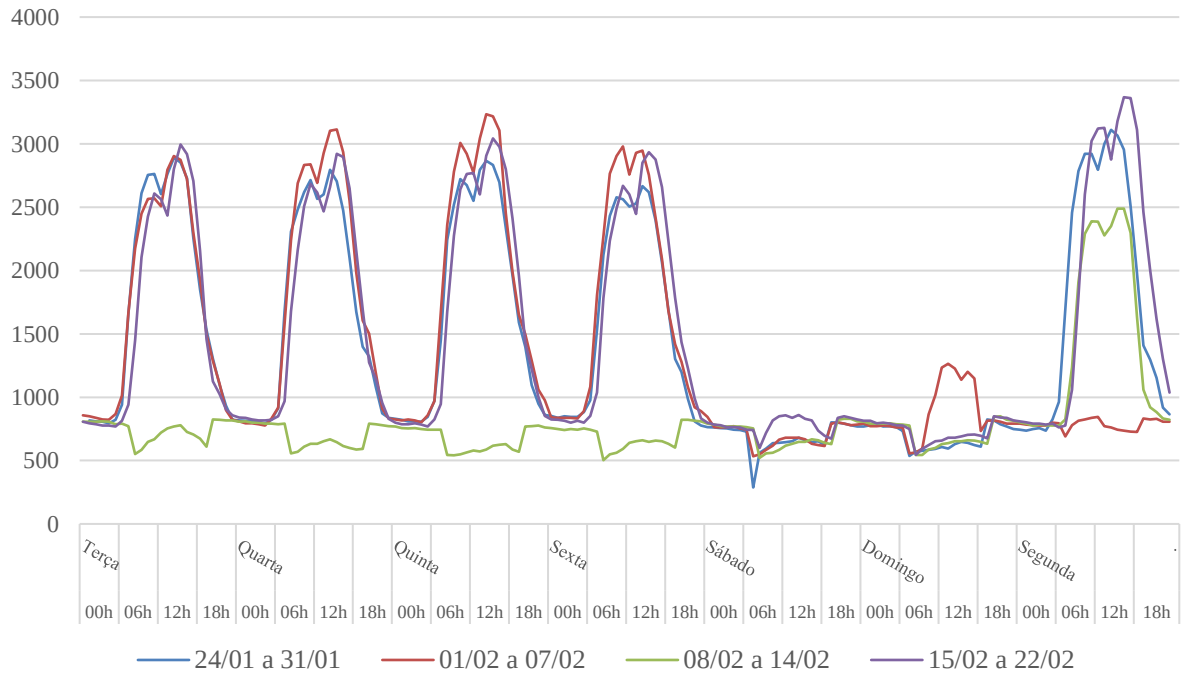
Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 11 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Janeiro de 2018



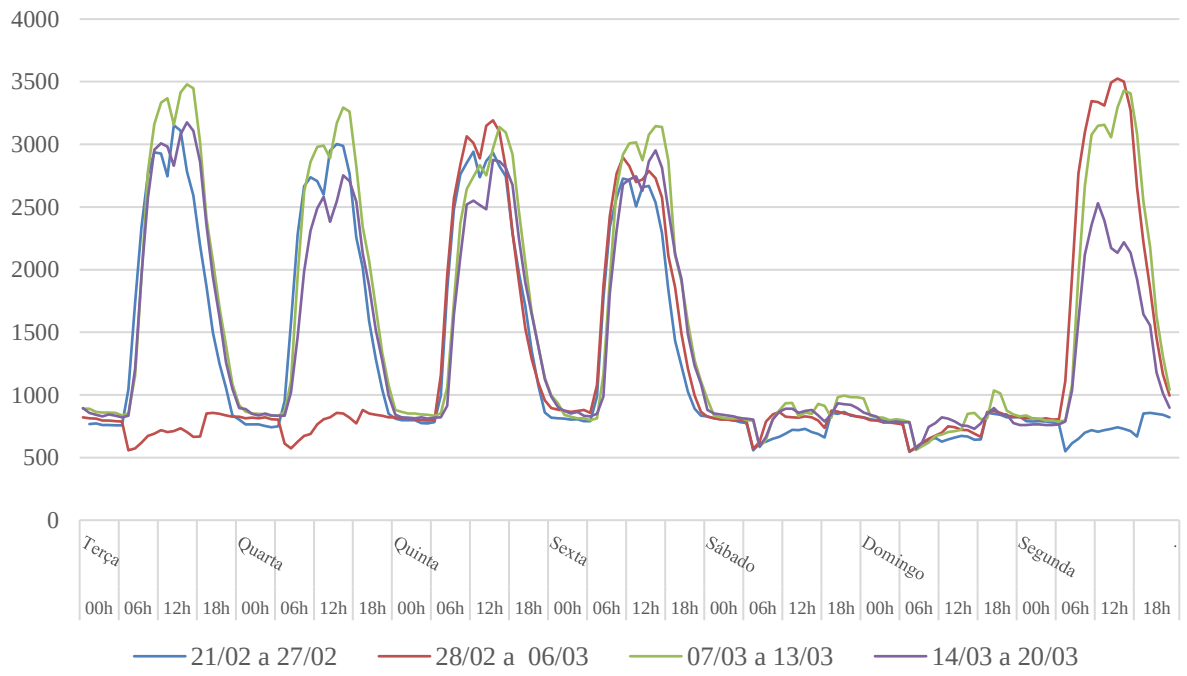
Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 12 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Fevereiro de 2018



Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 13 – Curva de carga da UFES de 4 semanas no mês de Março de 2018



Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando as curvas de cargas, é possível identificar períodos cuja demanda máxima manteve-se entre 2000 e 2500kW (Gráfico 11 e curva “16/12 a 22/12” do Gráfico 10). Tal período é relativo às férias escolares, no qual o movimento de pessoas na Universidade é reduzido, impactando na redução do uso de energia elétrica. Observa-se também que para os dias de finais de semana a demanda é reduzida ao patamar de 1000kW, apresentando comportamento semelhante em todos os gráficos das curvas de carga apresentados. Tal comportamento pode ainda ser observado nos dias de feriados, como no Gráfico 09 (02/11 – finados) e no Gráfico 12 (curva “08/02 a 14/02”, período que abrange o carnaval). No Gráfico 10 verifica-se também uma interrupção no fornecimento de energia no dia 27/11, um domingo, no qual possivelmente houve desligamento da subestação para alguma intervenção.

Para os demais períodos observados, verifica-se que a demanda permanece entre 2500 e 3500kW para os dias de funcionamento normal da Universidade, mantendo comportamento semelhante de Segunda a Sexta. É interessante observar que é comum a todos os dias úteis um ponto de máximo local por volta das 12h, horário em que o RU/UFES demanda maior potência da rede da Universidade, conforme pode ser observado na curva de carga de um dia típico do

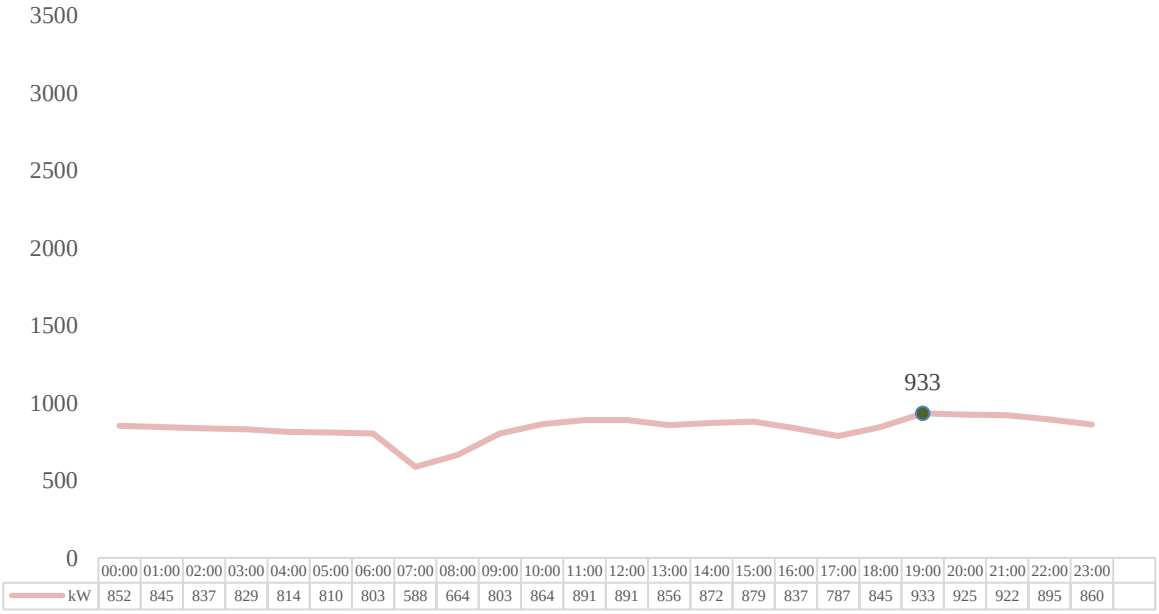
restaurante (Gráfico 07). A demanda máxima do restaurante de 331kW faz com que somente este prédio seja responsável por cerca de 15% da potência demandada da Universidade neste horário.

Portanto, a partir das observações acerca das curvas de carga da Universidade, traçou-se a curva de carga de um dia típico útil (Gráfico 14) a partir da média das demandas dos dias de funcionamento normal, excluindo-se os períodos citados sobre férias escolares e feriados. Traçou-se também a curva de carga de um dia típico não útil (Gráfico 15) a partir das médias de demandas registradas para os finais de semana. Tais curvas serviram de base na análise das possibilidades de operação do grupo motogerador de energia elétrica.

Gráfico 14 – Curva de carga de um dia típico útil da UFES

Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 15 – Curva de carga de um dia típico não útil da UFES



Fonte: Produção do próprio autor.

Conforme avaliado no Item 3.1.1.1, estimou-se a produção mensal de biogás ao longo de 12 meses a partir da sazonalidade da produção de resíduos no restaurante devido à variação de comensais ao longo do ano em função das férias escolares. A disponibilidade diária de biogás é apresentada (devendo considerar o número de dias) na Tabela 27.

Tabela 27 – Disponibilidade diária calculada de biogás e dias de funcionamento do restaurante no mês

	Out/16	Nov/16	Dez/16	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/17	Ago/17	Set/17
Dias úteis $(D_{úteis})$	19	19	17	4	12	22	15	22	18	20	13	19
Disponibilidade diária [m³] $(Disp_{dia\text{-}biogás})$	31	23	11	14	16	17	42	30	35	25	21	31

Fonte: Produção do próprio autor.

A partir do volume diário de biogás disponível podem ser avaliados cenários diferentes de operação, os quais implicarão em possibilidades de motogeradores diferentes. Para caracterização ao longo deste trabalho, foram definidos 3 cenários de operação:

- Cenário 1: Operação 24h por dia;
- Cenário 2: Operação somente no horário de ponta (3h);
- Cenário 3: Operação em horários fora de ponta;

- **Cenário 1:**

No Cenário 1 foi avaliado a máxima geração de energia elétrica possível durante um dia, tanto no horário de ponta como no horário fora ponta mas, sempre atendendo preferencialmente o horário de ponta. Portanto, a escolha do motogerador que possui o menor consumo de combustível garantirá o maior número de horas de geração, permitindo a análise proposta para este cenário. A escolha de um gerador de maior potência trabalhando em regime de carga baixo pode não ser uma boa opção já que forçaria a máquina a trabalhar fora das condições nominais provocando a operação em baixo rendimento. Bem como a escolha de um gerador de menor potência poderia provocar um regime contínuo de operação em sobrecarga da maquina.

Portanto, a escolha do modelo de 7,2kW é uma opção interessante a este cenário, já que possui consumo de 3,1L/h gasolina (equivalente a 4,6m³/h de biogás). A Tabela 28 compila os resultados para este cenário.

Tabela 28 – Geração de energia elétrica diária baseada no Cenário 1

	Out/16	Nov/16	Dez/16	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/17	Ago/17	Set/17
Consumo motogerador [L/h] a gasolina	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Consumo motogerador [m³/h] a biogás $(Cons_{biogás})$	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Horas de operação total [h/dia] $(H_{operaçãototal})$	6,7	5,0	2,4	3,0	3,5	3,7	9,1	6,4	7,5	5,4	4,5	6,6
Horas de operação ponta [h/dia] (H_{ponta})	3,0	3,0	2,4	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Horas de operação fora ponta [h/dia] $(H_{foraponta})$	3,7	2,0	0,0	0,0	0,5	0,7	6,1	3,4	4,5	2,4	1,5	3,6
Geração de energia elétrica ponta[kWh/dia] (Ger_{ponta})	22	22	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Geração de energia elétrica fora ponta [kWh/dia] $(Ger_{foraponta})$	27	14	0	0	3	5	44	25	33	17	11	26

Fonte: Produção do próprio autor.

Foi utilizada da Equação 16 a Equação 19 para calcular os resultados da Tabela 28.

$$H_{operaçãototal} = \frac{Disp_{dia-biogás}}{Cons_{biogás}} \qquad em\ (h/dia) \tag{16}$$

$$H_{foraponta} = \quad H_{operaçãototal} - H_{ponta} \quad em\ (h/dia) \tag{17}$$

$$Ger_{ponta} = \quad H_{ponta} * Pot.Gerador \quad em\ (kWh/dia) \tag{18}$$

$$Ger_{foraponta} = \quad H_{foraponta} * Pot.Gerador \quad em\ (kWh/dia) \tag{19}$$

Como o gerador possui potência nominal de 7,2kW, verifica-se que este seria responsável por atender cerca de 0,4% da demanda fornecida tanto no horário de ponta (demanda máxima 1789kW) e 0,25% no horário fora ponta (demanda máxima de 3034kW). A injeção de energia elétrica na rede da UFES é mostrada na Tabela 29.

Tabela 29 – Geração de energia elétrica mensal baseada no Cenário 1

	Out/16	Nov/16	Dez/16	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/17	Ago/17	Set/17	**TOTAL**
Geração de energia elétrica ponta [kWh/mês] *(Ger.P$_{mês}$)*	410	410	294	86	259	475	324	475	389	432	281	410	4247
Geração de energia elétrica fora ponta [kWh/mês] *(Ger.FP$_{mês}$)*	506	274	0	0	40	103	661	540	588	344	138	494	3688
Geração de energia elétrica TOTAL [kWh/mês] *(Ger.Tot$_{mês}$)*	917	684	294	86	299	578	985	1015	977	776	419	905	7935
Demanda atendida [kW]	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2

Fonte: Produção do próprio autor.

Foi utilizada da Equação 20 a Equação 22 para calcular os resultados da Tabela 29.

$$Ger.P_{mês} = \quad Ger_{ponta} * D_{úteis} \quad em\ (kWh/mês) \tag{20}$$

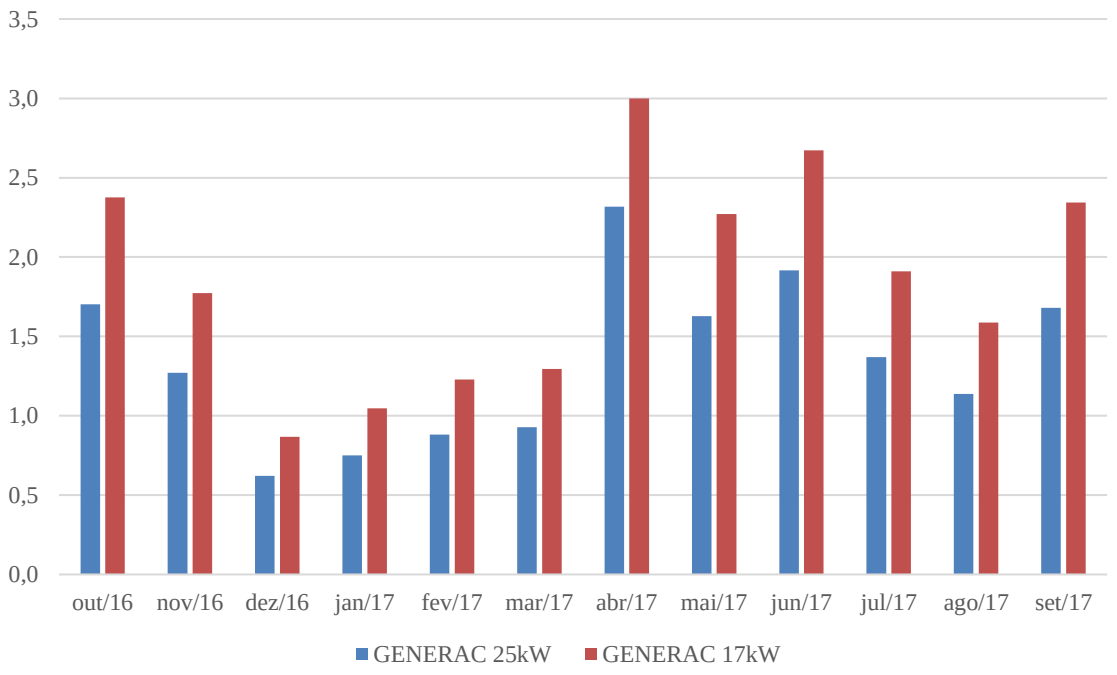
$$Ger.FP_{mês} = \quad Ger_{foraponta} * D_{úteis} \quad em\ (kWh/mês) \tag{21}$$

$$Ger.Tot_{mês} = \quad Ger.P_{mês} + Ger.FP_{mês} \quad em\ (kWh/mês) \tag{22}$$

- **Cenário 2:**

No Cenário 2 foi avaliado a geração de energia elétrica somente no horário de ponta. Para este cenário espera-se um conjunto motogerador que atenda o maior tempo possível para o horário de ponta, ou seja, um motogerador que consuma no máximo 1/3 do biogás gerado diariamente. Do Quadro 03, verifica-se que os geradores de maior potência seriam os mais adequados para avaliar este cenário. O Gráfico 16 mostra o número de horas possíveis para geração no horário de ponta diariamente ao longe de cada mês abrangido nesta pesquisa, norteando a escolha do conjunto motogerador.

Gráfico 16 – Horas de operação diária de motogeradores para a geração de biogás prevista neste projeto.



Fonte: Produção do próprio autor.

Portanto, pode-se estimar a injeção de energia na rede da UFES diariamente, considerando somente a geração no horário de ponta (Tabela 30) para o modelo de 17kW que é uma opção interessante a este cenário, consumindo cerca de 7,7m³/h de gás natural, equivalentes a 13,1m³/h de biogás, e garantindo maior tempo de operação possível na ponta.

Tabela 30 – Geração de energia elétrica diária baseada no Cenário 2

	Out/16	Nov/16	Dez/16	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/17	Ago/17	Set/17
Consumo motogerador com gás natural [m³/h]	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Consumo motogerador adaptado biogás [m³/h] $(Cons_{biogás})$	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
Horas de operação ponta [h/dia] (H_{ponta})	2,4	1,8	0,9	1,0	1,2	1,3	3,0	2,3	2,7	1,9	1,6	2,3
Geração de energia elétrica ponta [kWh/dia] (Ger_{ponta})	40	30	15	18	21	22	51	39	45	32	27	40

Fonte: Produção do próprio autor.

Considerando que a capacidade de geração do conjunto motogerador é de 17kW, verifica-se que este seria responsável por atender cerca de 0,95% da demanda da Universidade no horário de ponta (demanda máxima 1789kW).

Compilando os resultados, calculou-se a possibilidade de redução de demanda no horário de ponta com o atendimento parcial pela geração, bem como a injeção de energia elétrica na rede da UFES ao longo de todos os meses do ano para este gerador neste posto horário (Tabela 31).

Tabela 31 – Geração de energia elétrica mensal baseada no Cenário 2

	Out/16	**Nov/16**	**Dez/16**	**Jan/17**	**Fev/17**	**Mar/17**	**Abr/17**	**Mai/17**	**Jun/17**	**Jul/17**	**Ago/17**	**Set/17**	**TOTAL**
Geração de energia elétrica ponta [kWh/mês] $(Ger.P_{mês})$	767	573	251	71	251	484	765	849	818	650	351	757	6586
Demanda atendida ponta [kW/mês]	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

Fonte: Produção do próprio autor.

- **Cenário 3:**

Neste Cenário foi avaliado a geração somente no horário fora ponta a partir do mesmo gerador dimensionado no Cenário 2, ou seja, de potência que maximiza o número de horas de operação. Os resultados de geração de energia elétrica possível e demanda fornecida são semelhantes aos resultados obtidos no Cenário 2, porém a representatividade para o posto horário se torna diferente. Verifica-se aqui que a demanda de 17kW representa aproximadamente 0,55% da demanda no horário fora de ponta (demanda máxima 3074kW). A Tabela 32 mostra os resultados compilados para este cenário.

Tabela 32 – Geração de energia elétrica diária e mensal baseada no Cenário 3

	Out/16	Nov/16	Dez/16	Jan/17	Fev/17	Mar/17	Abr/17	Mai/17	Jun/17	Jul/17	Ago/17	Set/17	**TOTAL**
Consumo motogerador [m³/h] a gás natural	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	
Consumo motogerador [m³/h] a biogás $(Cons_{biogás})$	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	
Horas de operação fora ponta [h/dia] (H_{ponta})	2,4	1,8	0,9	1,0	1,2	1,3	3,2	2,3	2,7	1,9	1,6	2,3	
Geração de energia elétrica fora ponta [kWh/dia] $(Ger_{foraponta})$	40	30	15	18	21	22	55	39	45	32	27	40	
Geração de energia elétrica fora ponta[kWh/mês] $(Ger.FP_{mês})$	767	573	251	71	251	484	824	849	818	650	351	757	6646
Demanda atendida fora ponta [kW]	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

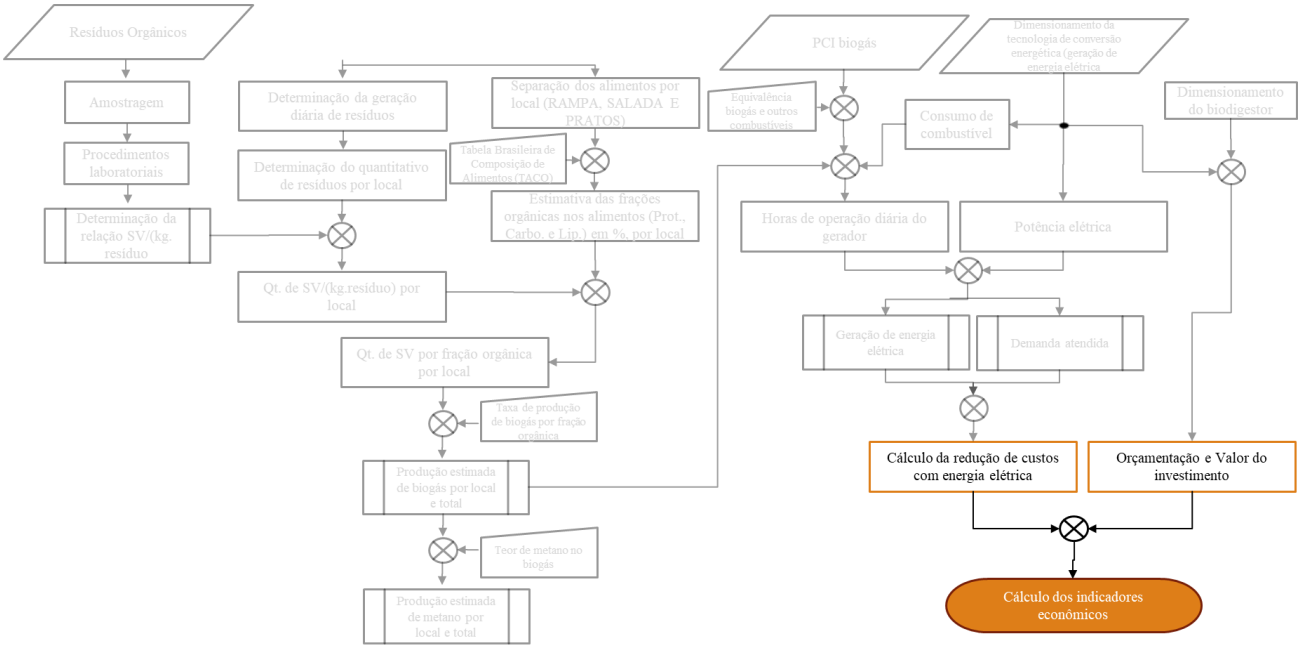
Fonte: Produção do próprio autor.

Considerando então os 3 cenários avaliados, verifica-se que a determinação dos pontos ótimos de despacho da energia elétrica na rede da UFES deverá ser realizada conforme avaliação econômica, já que não há restrições quanto ao funcionamento do conjunto motogerador, podendo operar em qualquer horário do dia.

Deve-se levar em consideração também que esta geração alternativa está muito aquém de suprir a demanda e o consumo de energia da Universidade, o que garante a flexibilidade de operação em qualquer intervalo, sendo a análise do investimento o principal norteador do despacho econômico.

Após a análise técnica do projeto, seguiu-se para a análise econômica, buscando determinar o melhor cenário para geração da energia elétrica. Neste capítulo foi realizado levantamento dos gastos com energia elétrica por um período de 12 meses determinando o Cenário Base para comparação com os demais Cenários, além da orçamentação do projeto. Por fim foram calculados os indicadores de viabilidade econômica (aqui utilizados o *payback*, o VPL e a TIR). A Figura 21 mostra em evidência as atividades descritas no Capítulo 6, posicionando-as em relação ao contexto geral da metodologia.

Figura 21 – Metodologia utilizada na pesquisa em forma de fluxograma, evidenciando a etapa de análise econômica.



Fonte: Produção do próprio autor.

6 ANÁLISE ECONÔMICA DA GERAÇÃO RENOVÁVEL

Afim de avaliar o investimento proposto neste projeto, é necessário analisar o panorama de custos associados a energia elétrica que a universidade realiza e comparar através dos métodos adequados com o valor do investimento.

Seguiu-se a metodologia abaixo para a análise econômica do investimento:

- Análise das faturas de energia elétrica da UFES;
- Nova curva de carga e otimização da demanda contratada para os cenários possíveis de injeção de energia elétrica na rede da UFES;
- Cálculo das reduções de custos mensais;
- Orçamentação dos custos de implantação do projeto;
- Cálculo dos indicadores de qualidade do investimento (*Payback*, TIR, VLP)

6.1 Perfil de consumo e otimização das demandas contratadas para os cenários possíveis de geração de energia elétrica alternativa

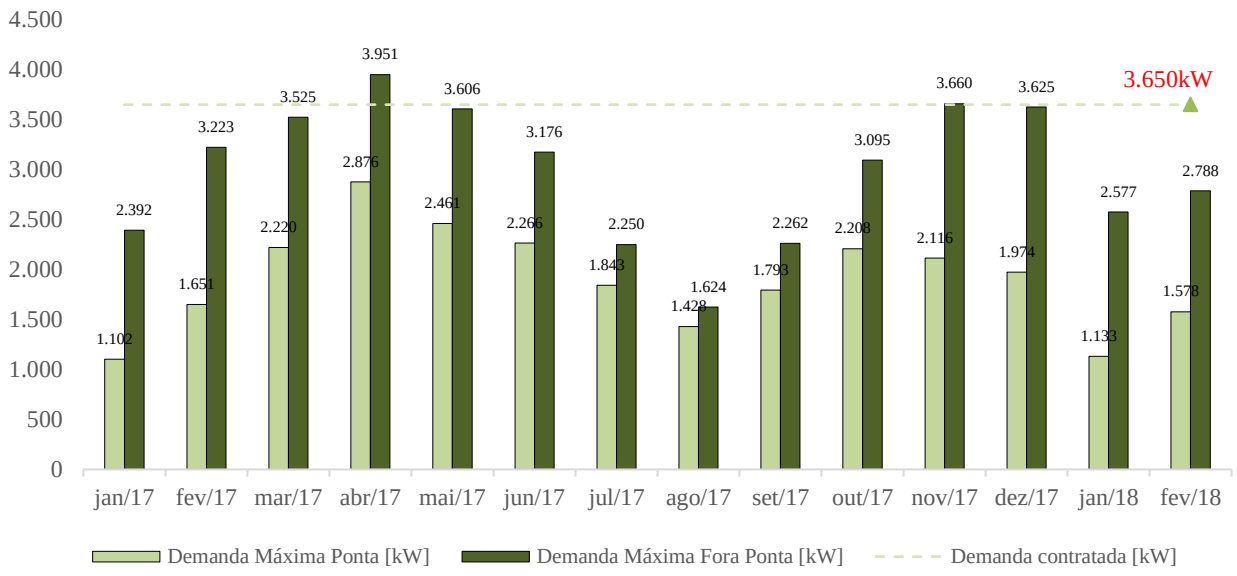
A UFES é pertencente ao Grupo A, caracterizando a utilização de tarifa binômia no cálculo dos custos com energia elétrica, ou seja, é cobrado o montante de energia consumido e demanda de potência ativa fornecida pela concessionária.

Para a análise do perfil de consumo e dos gastos com energia, foram solicitadas junto a Prefeitura Universitária da UFES a memória de massa e as faturas referentes ao período de Outubro de 2016 a Março de 2018, porém só havia disponibilidade das faturas a partir de 2017.

A Universidade é um cliente Cativo, ou seja, compra energia elétrica da própria EDP ESCELSA, pagando pela Tarifa de Energia (TE) e pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). O enquadramento tarifário da Universidade é a Horária Verde, na qual a TUSD não se diferencia por posto horário, ou seja, é o mesmo valor tanto nos horários de ponta como fora ponta. Já para a TE há diferenciação da tarifa por posto horário (ANEEL, 2010). As tarifas utilizadas neste projeto são as existentes na Resolução Homologatória nº 2.118, vigente desde agosto de 2016.

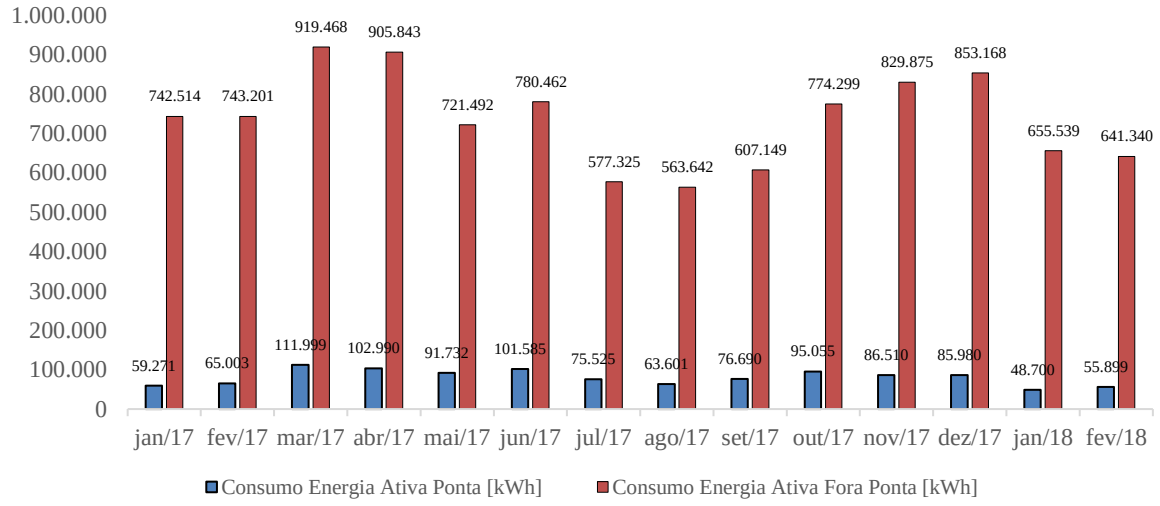
A partir das faturas foi obtido o perfil de demanda (Gráfico 17) e o consumo de energia ativa (Gráfico 18).

Gráfico 17 – Perfil de utilização de demanda ponta e fora ponta da UFES



Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 18 – Consumo de energia ativa ponta e fora ponta da UFES

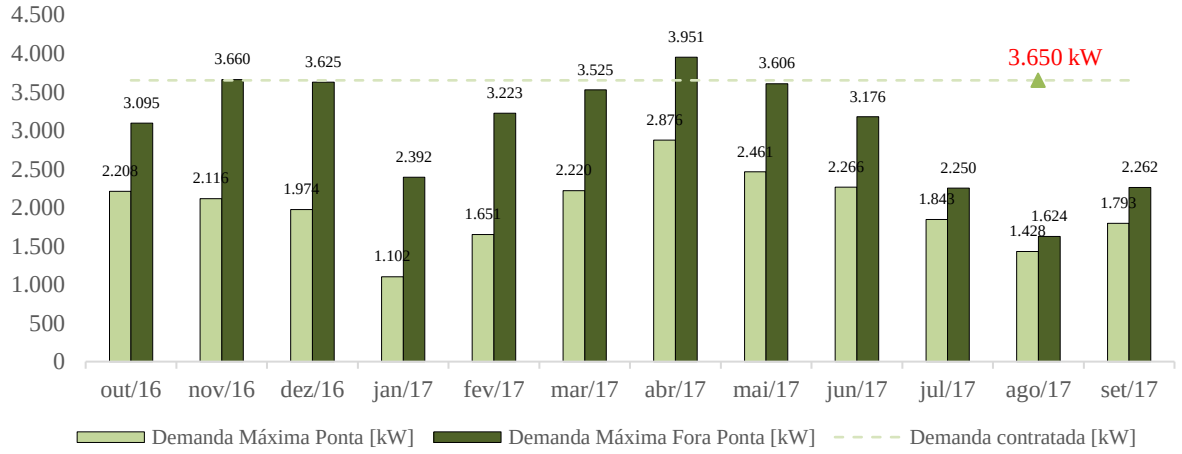


Fonte: Produção do próprio autor.

É possível observar um comportamento periódico para os mesmos meses entre anos subsequentes (ver Janeiro de 2017 e Janeiro de 2018). Portanto, para adequação ao período que está sendo realizada a análise neste projeto, tendo em vista que não foi possível obter os dados anteriores ao ano de 2017, foram considerados os meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2017 para o mesmo período de 2016 (Gráficos 19 e Gráfico 20), de forma que pudesse ser

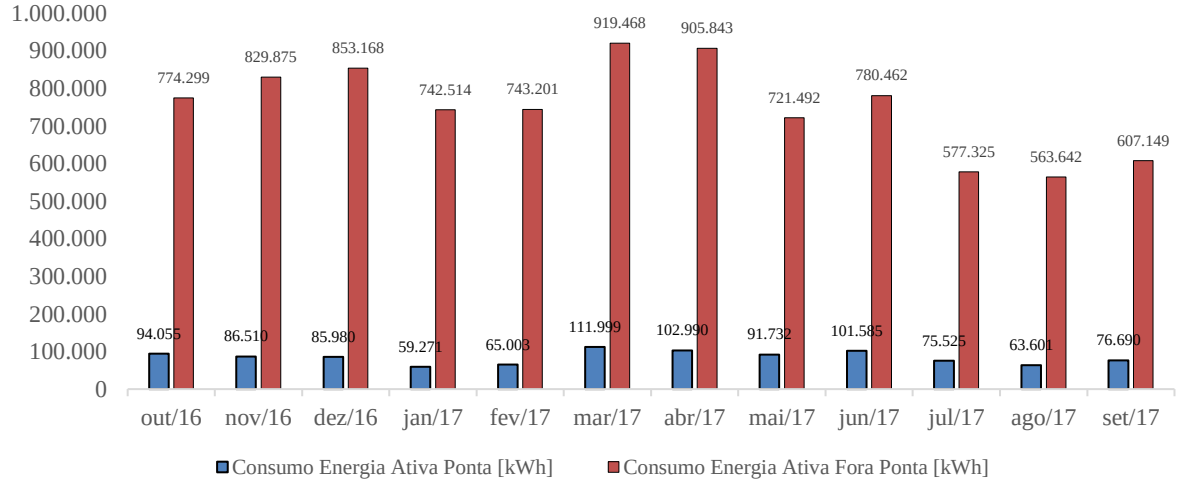
mapeado o consumo de energia ativa e demanda entre os meses de Outubro de 2016 a Setembro de 2017, período tal qual foi analisada a geração de biogás.

Gráfico 19 – Perfil de utilização de demanda ponta e fora ponta da UFES adaptado



Fonte: Produção do próprio autor.

Gráfico 20 – Consumo de energia ativa ponta e fora ponta da UFES adaptado

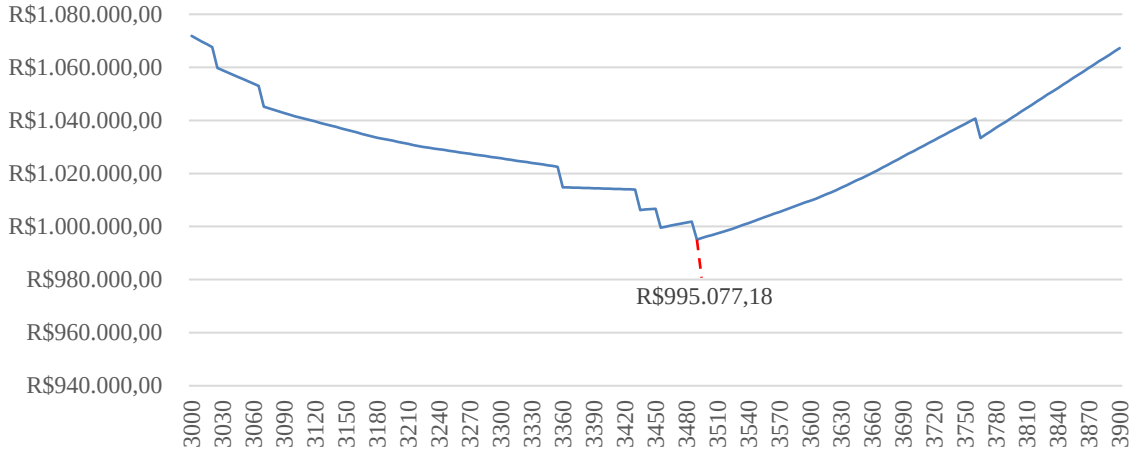


Fonte: Produção do próprio autor.

Para calcular a economia financeira de energia proporcionada pela geração alternativa, pode-se reduzir do consumo de energia o mesmo montante de energia gerado. Já para o cálculo da redução de custos com demanda a avaliação deverá contemplar uma análise mais detalhada com foco na otimização de demanda contratada considerando a geração alternativa em operação e possíveis reduções de custos com demanda excedente, que não é esperada, e, portanto, mais difícil de ser avaliada. Caso a instalação já tenha um histórico de demanda excedente, a otimização da demanda contratada junto à distribuidora de energia é a análise mais adequada a

se fazer, podendo considerar a geração distribuída nesta avaliação, caso haja confiabilidade na operação da mesma. Foram então avaliadas as novas curvas de carga para os 3 Cenários estabelecidos na análise técnica, podendo então serem avaliadas as reduções de custos com energia elétrica. Para evitar erros na avaliação foi inicialmente calculada a demanda ótima para as demandas máximas apresentadas no Gráfico 20 (registro dos 12 meses adaptados entre Outubro de 2016 e Setembro de 2017). O Gráfico 21 compara os custos com demanda para uma variação de demanda contratada entre 3100 a 3900kW afim de identificar o ponto onde os custos são minimizados. Observando os custos descritos na Tabela 33 relativos ao gasto total com energia elétrica da UFES e a Tabela 34 onde foram apresentados os custos com energia elétrica caso a demanda seja otimizada para uma demanda contratada de 3.490kW (demanda atualmente contratada de 3.650kW), haveria uma redução de R$ 23.249,20. Portanto, na análise da redução de custos nos Cenários observados, deverá ser subtraído este montante, já que o mesmo não tem relação com a geração alternativa. Este cenário cuja demanda é otimizada será aqui denominado Cenário Base.

Gráfico 21 – Otimização da demanda contratada para o Caso Base (demanda otimizada em 3.490kW)



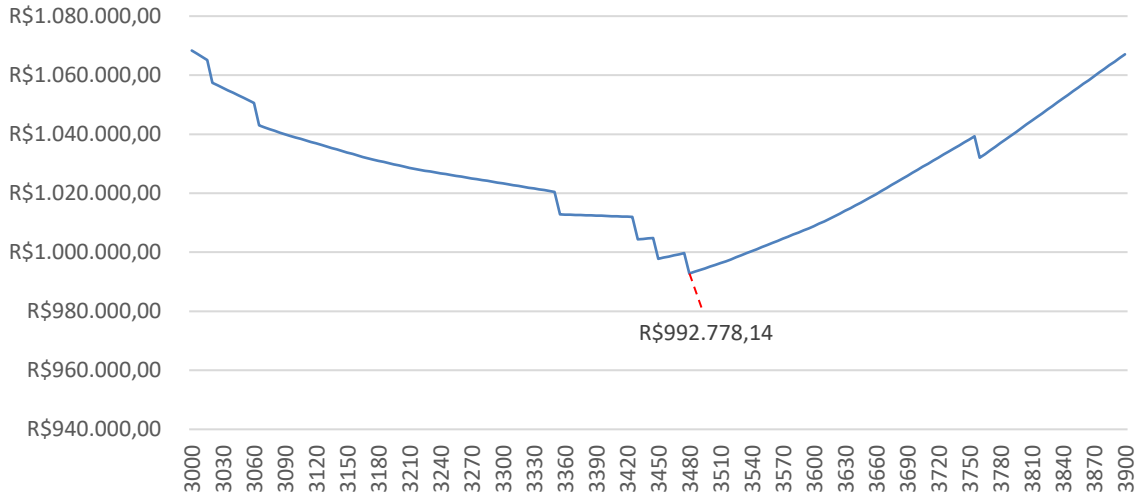
Fonte: Produção do próprio autor.

- **Cenário 1:**

Conforme dados da Tabela 29, pode-se traçar a nova curva de carga para a geração durante o tempo de funcionamento do restaurante, pelo maior tempo possível que será condicionado a disponibilidade de biogás e consumo do conjunto motogerador. Observa-se para este cenário que a geração alternativa teria impacto sobre custos com demanda de ultrapassagem, considerando que as demandas máximas observadas para a universidade coincidem com os horários de funcionamento do restaurante. Logo, caso haja ultrapassagens, haveria redução no

impacto financeiro devido a geração alternativa. O Gráfico 22 apresenta a otimização da demanda da Universidade com a geração alternativa associada.

Gráfico 22 – Otimização da demanda contratada para o Cenário 1 (demanda otimizada em 3.480kW)



Fonte: Produção do próprio autor.

Espera-se então que com a geração no cenário 1, haverá uma economia de R$2.299,04/ano somente relativo a geração de energia elétrica alternativa (sendo alterada a contratação de demanda fornecida para 3.480kW).

- **Cenário 2:**

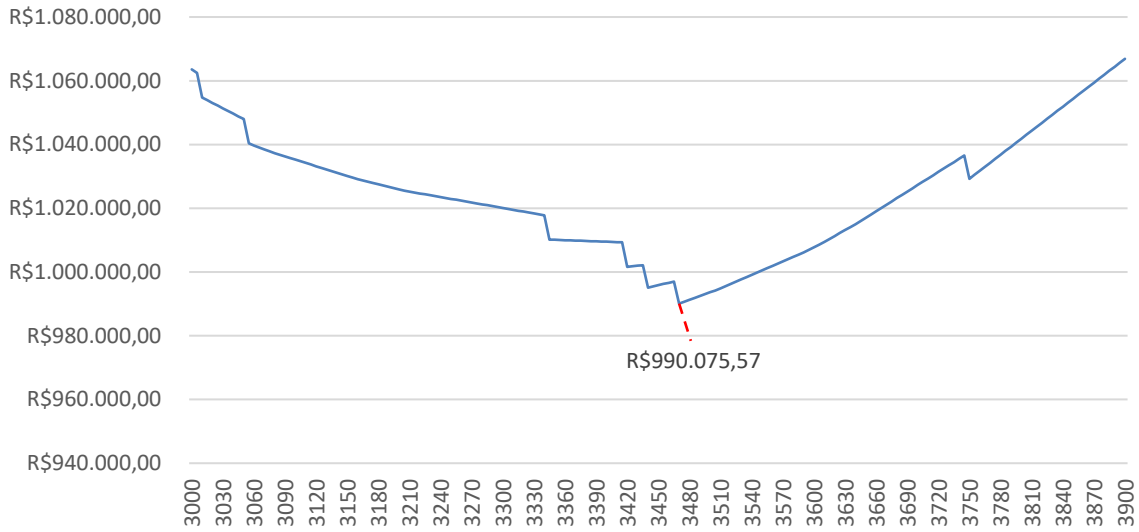
Na avaliação deste cenário, é considerado somente a geração no horário de ponta. Como pode ser observado no Gráfico 19, em nenhum dos meses houve registro da demanda máxima maior no horário de ponta do que no horário fora de ponta. Como na modalidade tarifária Horária Verde é cobrada a demanda máxima, independente do posto horário, então neste cenário não haveria redução de custo com demanda e, portanto, não haveria economia a ser registrada com a geração alternativa.

- **Cenário 3:**

No cenário 3 é avaliada a geração somente no horário fora de ponta a partir do gerador de maior potência (11kW), cujo funcionamento, baseado no consumo de biogás, será entre 2 a 3h diariamente. Portanto, para calcular os custos evitados com demanda excedente seria necessário que a geração de energia elétrica alternativa coincidisse com os períodos de pico de demanda da Universidade, o que, conforme observado entre os gráficos das curvas de carga típicas, não

coincide com o pico de demanda do restaurante (Gráfico 7 e Gráfico 14 respectivamente). Como o faturamento não é realizado, na UFES, por edificação, então uma análise mais assertiva a ser realizada deve considerar a curva de carga da universidade. O período de demanda máxima registrada é bem característico (entre 13h e 16h), conforme observado nos gráficos das curvas de carga semanais da universidade (Gráfico 08 a Gráfico 13), e na curva de demanda de um dia típico (Gráfico 14). Portanto, pode-se calcular a demanda ótima com a geração alternativa seguindo a mesma metodologia de variar a demanda, observando o ponto que ocorrem os menores custos. Traçou-se então o Gráfico 23, no qual verifica-se que, para a geração com o conjunto motogerador de 17kW, é esperada a redução de custos com demanda de R$5.001,60 /ano (sendo alterada a contratação de demanda fornecida para 3.470kW).

Gráfico 23 – Otimização da demanda contratada para o Cenário 3 (demanda otimizada em 3.470kW)



Fonte: Produção do próprio autor.

6.2 Custos com energia elétrica da UFES e cálculo de custos evitados com a geração alternativa

A partir das faturas de energia elétrica da UFES, foi apurado os custos para o período aqui avaliado para que posteriormente pudessem ser avaliados todos os custos evitados com a geração alternativa. A Tabela 33 resume os custos reais da Universidade entre Outubro de 2016 e Setembro de 2017 (importante salientar que como foram adaptados os meses finais de 2016, os custos foram calculados refletindo a tarifa vigente para este mesmo período).

Tabela 33 – Custos com energia elétrica da UFES para o período de Outubro de 2016 a Setembro de 2017

Mês/Ano	Energia Faturada (kWh)		Gastos Energia s/impostos		Demanda máxima registrada (kW)	Demanda contratada (kW)	Gastos Demanda s/impostos	Total sem Imposto	Impostos (PIS, COFINS e ICMS)	Total com impostos
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta						
out/16	94.055	774.299	R$ 151.014,77	R$ 238.693,02	3.095	3.650	R$ 55.553,00	R$ 445.260,79	28,65%	R$ 624.051,56
nov/16	86.510	829.875	R$ 138.901,10	R$ 255.825,53	3.660	3.650	R$ 55.697,89	R$ 450.424,52	28,13%	R$ 626.721,19
dez/16	85.980	853.168	R$ 138.050,26	R$ 263.006,20	3.625	3.650	R$ 55.553,00	R$ 456.609,46	29,02%	R$ 643.293,12
jan/17	59.271	742.514	R$ 88.827,62	R$ 219.643,04	2.392	3.650	R$ 55.553,00	R$ 364.023,66	31,59%	R$ 532.120,54
fev/17	65.003	743.201	R$ 97.416,74	R$ 219.846,37	3.223	3.650	R$ 55.553,00	R$ 372.816,11	32,50%	R$ 552.320,16
mar/17	111.999	919.468	R$ 167.848,96	R$ 271.987,78	3.525	3.650	R$ 55.553,00	R$ 495.389,74	32,38%	R$ 732.608,32
abr/17	102.990	905.843	R$ 150.262,83	R$ 232.038,37	3.951	3.650	R$ 69.313,10	R$ 451.614,30	32,41%	R$ 668.167,33
mai/17	91.732	721.492	R$ 136.057,46	R$ 202.276,46	3.606	3.650	R$ 55.553,00	R$ 393.886,91	32,42%	R$ 582.845,39
jun/17	101.585	780.462	R$ 151.663,78	R$ 226.427,57	3.176	3.650	R$ 55.553,00	R$ 433.644,34	32,48%	R$ 642.245,77
jul/17	75.525	577.325	R$ 112.756,74	R$ 167.493,47	2.250	3.650	R$ 55.553,00	R$ 335.803,21	32,47%	R$ 497.265,23
ago/17	63.601	563.642	R$ 98.420,48	R$ 168.473,84	1.624	3.650	R$ 61.133,97	R$ 328.028,29	32,41%	R$ 485.320,74
set/17	76.690	607.149	R$ 123.132,82	R$ 187.165,86	2.262	3.650	R$ 67.087,00	R$ 377.385,68	32,44%	R$ 558.593,37
TOTAL			**R$ 1.554.353,54**	**R$ 2.652.877,50**			**R$ 697.655,96**	**R$ 4.904.887,00**		**R$ 7.145.552,70**

Fonte: Produção do próprio autor.

Após a instalação da geração alternativa a partir de biogás, pode-se avaliar os cenários até aqui propostos em relação aos custos evitados com a demanda otimizada a partir do caso base além da injeção de energia elétrica na rede da UFES. Portanto, na Tabela 34 está a estimativa de custos evitados com o Cenário Base adequado, ou seja, demanda ótima em 3.490kW.

Tabela 34 – Custos com energia elétrica da UFES com a demanda otimizada

Mês/Ano	Energia Faturada (kWh)		Gastos Energia s/impostos		Demanda máxima registrada (kW)	Demanda contratada (kW)	Gastos Demanda s/impostos	Total sem Imposto	Impostos (PIS, COFINS e ICMS)	Total com impostos
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta						
out/16	94.055	774.299	R$ 151.014,77	R$ 238.693,02	3.095	3.490	R$ 53.117,80	R$ 442.825,59	28,65%	R$ 620.638,53
nov/16	86.510	829.875	R$ 138.901,10	R$ 255.825,53	3.660	3.490	R$ 55.697,89	R$ 450.424,52	28,13%	R$ 626.721,19
dez/16	85.980	853.168	R$ 138.050,26	R$ 263.006,20	3.625	3.490	R$ 55.171,89	R$ 456.228,35	29,02%	R$ 642.756,20
jan/17	59.271	742.514	R$ 88.827,62	R$ 219.643,04	2.392	3.490	R$ 53.117,80	R$ 361.588,46	31,59%	R$ 528.560,82
fev/17	65.003	743.201	R$ 97.416,74	R$ 219.846,37	3.223	3.490	R$ 53.117,80	R$ 370.380,91	32,50%	R$ 548.712,46
mar/17	111.999	919.468	R$ 167.848,96	R$ 271.987,78	3.525	3.490	R$ 53.652,33	R$ 493.489,07	32,38%	R$ 729.797,50
abr/17	102.990	905.843	R$ 150.262,83	R$ 232.038,37	3.951	3.490	R$ 74.183,50	R$ 456.484,70	32,41%	R$ 675.373,13
mai/17	91.732	721.492	R$ 136.057,46	R$ 202.276,46	3.606	3.490	R$ 54.879,67	R$ 393.213,58	32,42%	R$ 581.849,04
jun/17	101.585	780.462	R$ 151.663,78	R$ 226.427,57	3.176	3.490	R$ 53.117,80	R$ 431.209,14	32,48%	R$ 638.639,13
jul/17	75.525	577.325	R$ 112.756,74	R$ 167.493,47	2.250	3.490	R$ 53.117,80	R$ 333.368,01	32,47%	R$ 493.659,13
ago/17	63.601	563.642	R$ 98.420,48	R$ 168.473,84	1.624	3.490	R$ 58.454,12	R$ 325.348,44	32,41%	R$ 481.355,88
set/17	76.690	607.149	R$ 123.132,82	R$ 187.165,86	2.262	3.490	R$ 64.146,20	R$ 374.444,88	32,44%	R$ 554.240,50
TOTAL			**R$ 1.554.353,54**	**R$ 2.652.877,50**			**R$ 681.774,60**	**R$ 4.889.005,64**		**R$ 7.122.303,50**

Fonte: Produção do próprio autor.

- **Cenário 1:**

A partir do levantamento realizado de energia elétrica gerada mensalmente e custos evitados com demanda, foram avaliadas as reduções de energia faturada na ponta e fora de ponta, bem como a possível alteração na demanda contratada. A Tabela 35 resume os resultados obtidos.

Tabela 35 – Utilização de demanda e consumo de energia ponta e fora ponta previstos para o cenário 1

Mês/Ano	Energia Registrada (kWh)		Energia Gerada (kWh)		Energia Faturada (kWh)		Demanda máxima registrada (kW)		Demanda máxima com geração alternativa (kW)		Demanda contratada atualmente (kW)	Demanda otimizada Cenário1 (kW)
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta		
out/16	94.055	774.299	410	506	93.645	773.792	2.208	3.095	2.201	3.088	3.650	3.480
nov/16	86.510	829.875	410	274	86.100	829.601	2.116	3.660	2.109	3.652	3.650	3.480
dez/16	85.980	853.168	294	0	85.687	853.168	1.974	3.625	1.967	3.618	3.650	3.480
jan/17	59.271	742.514	86	0	59.185	742.514	1.102	2.392	1.095	2.385	3.650	3.480
fev/17	65.003	743.201	259	40	64.743	743.161	1.651	3.223	1.644	3.216	3.650	3.480
mar/17	111.999	919.468	475	103	111.524	919.365	2.220	3.525	2.212	3.518	3.650	3.480
abr/17	102.990	905.843	324	661	102.666	905.182	2.876	3.951	2.869	3.944	3.650	3.480
mai/17	91.732	721.492	475	540	91.257	720.952	2.461	3.606	2.454	3.599	3.650	3.480
jun/17	101.585	780.462	389	588	101.196	779.873	2.266	3.176	2.258	3.168	3.650	3.480
jul/17	75.525	577.325	432	344	75.093	576.981	1.843	2.250	1.836	2.243	3.650	3.480
ago/17	63.601	563.642	281	138	63.320	563.504	1.428	1.624	1.421	1.617	3.650	3.480
set/17	76.690	607.149	410	494	76.279	606.655	1.793	2.262	1.786	2.255	3.650	3.480
TOTAL	**1.014.942**	**9.018.437**	**4.247**	**3.688**	**1.010.695**	**9.014.749**						

Fonte: Produção do próprio autor.

Considerando então as reduções esperadas de energia e demanda, pode-se avaliar o custo anual com energia neste cenário (Tabela 36). Observa-se que é esperado um custo anual com energia de R$ 7.108.946,03, ou seja, uma redução de R$ 13.357,47 em relação ao caso base (0,19% de redução de custos).

Tabela 36 – Custos com energia elétrica da UFES para o cenário 1

Mês/Ano	Energia Faturada (kWh)		Gastos Energia s/impostos		Demanda máxima registrada (kW)	Demanda contratada (kW)	Gastos Demanda s/impostos	Total sem Imposto	Impostos (PIS, COFINS e ICMS)	Total com impostos
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta						
out/16	93.645	773.792	R$ 150.355,83	R$ 238.536,99	3.088	3.480	R$ 52.965,60	R$ 441.858,42	28,65%	R$ 619.283,00
nov/16	86.100	829.601	R$ 138.242,16	R$ 255.741,15	3.652	3.480	R$ 55.588,31	R$ 449.571,62	28,13%	R$ 625.534,47
dez/16	85.687	853.168	R$ 137.578,60	R$ 263.006,20	3.618	3.480	R$ 55.062,31	R$ 455.647,10	29,02%	R$ 641.937,31
jan/17	59.185	742.514	R$ 88.698,13	R$ 219.643,04	2.385	3.480	R$ 52.965,60	R$ 361.306,77	31,59%	R$ 528.149,06
fev/17	64.743	743.161	R$ 97.028,28	R$ 219.834,45	3.216	3.480	R$ 52.965,60	R$ 369.828,33	32,50%	R$ 547.893,83
mar/17	111.524	919.365	R$ 167.136,80	R$ 271.957,31	3.518	3.480	R$ 53.542,74	R$ 492.636,85	32,38%	R$ 728.537,19
abr/17	102.666	905.182	R$ 149.790,11	R$ 231.869,14	3.944	3.480	R$ 74.159,15	R$ 455.818,40	32,41%	R$ 674.387,34
mai/17	91.257	720.952	R$ 135.352,64	R$ 202.125,17	3.599	3.480	R$ 54.770,08	R$ 392.247,89	32,42%	R$ 580.420,08
jun/17	101.196	779.873	R$ 151.083,31	R$ 226.256,85	3.168	3.480	R$ 52.965,60	R$ 430.305,76	32,48%	R$ 637.301,19
jul/17	75.093	576.981	R$ 112.111,78	R$ 167.393,64	2.243	3.480	R$ 52.965,60	R$ 332.471,02	32,47%	R$ 492.330,84
ago/17	63.320	563.504	R$ 97.985,95	R$ 168.432,56	1.617	3.480	R$ 58.286,63	R$ 324.705,13	32,41%	R$ 480.404,10
set/17	76.279	606.655	R$ 122.473,88	R$ 187.013,51	2.255	3.480	R$ 63.962,40	R$ 373.449,80	32,44%	R$ 552.767,61
TOTAL			**R$ 1.547.837,47**	**R$ 2.651.810,02**			**R$ 680.199,62**	**R$ 4.879.847,11**		**R$ 7.108.946,03**

Fonte: Produção do próprio autor.

- **Cenário 2:**

Neste cenário observa-se que a coluna relativa a geração no horário fora de ponta está zerada, conforme esperado (Tabela 37).

Tabela 37 – Utilização de demanda e consumo de energia ponta e fora ponta previstos para o cenário 2

Mês/Ano	Energia Registrada (kWh)		Energia Gerada (kWh)		Energia Faturada (kWh)		Demanda máxima registrada (kW)		Demanda máxima com geração alternativa (kW)		Demanda contratada (kW)	Demanda otimizada (kW)
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta		
out/16	94.055	774.299	767	0	93.288	774.299	2.208	3.095	2.191	3.095	3.650	3.490
nov/16	86.510	829.875	573	0	85.938	829.875	2.116	3.660	2.099	3.660	3.650	3.490
dez/16	85.980	853.168	251	0	85.730	853.168	1.974	3.625	1.957	3.625	3.650	3.490
jan/17	59.271	742.514	71	0	59.200	742.514	1.102	2.392	1.085	2.392	3.650	3.490
fev/17	65.003	743.201	251	0	64.752	743.201	1.651	3.223	1.634	3.223	3.650	3.490
mar/17	111.999	919.468	484	0	111.515	919.468	2.220	3.525	2.203	3.525	3.650	3.490
abr/17	102.990	905.843	765	0	102.225	905.843	2.876	3.951	2.859	3.951	3.650	3.490
mai/17	91.732	721.492	849	0	90.882	721.492	2.461	3.606	2.444	3.606	3.650	3.490
jun/17	101.585	780.462	818	0	100.767	780.462	2.266	3.176	2.249	3.176	3.650	3.490
jul/17	75.525	577.325	650	0	74.875	577.325	1.843	2.250	1.826	2.250	3.650	3.490
ago/17	63.601	563.642	351	0	63.250	563.642	1.428	1.624	1.411	1.624	3.650	3.490
set/17	76.690	607.149	757	0	75.932	607.149	1.793	2.262	1.776	2.262	3.650	3.490
TOTAL	**1.014.942**	**9.018.437**	**6.586**	**0**	**1.008.355**	**9.018.437**						

Fonte: Produção do próprio autor.

Neste cenário observa-se que não há redução nos custos com demanda pelos fatores já citados anteriormente, verificando-se então somente reduções nos custos com energia no horário de ponta (Tabela 38). Observa-se que é esperado um custo anual com energia de R$ 7.107.582,57 , ou seja, uma redução de R$ 14.720,93 em relação ao caso base (0,21% de redução de custos).

Tabela 38 – Custos com energia elétrica da UFES para o cenário 2

Mês/Ano	Energia Faturada (kWh)		Gastos Energia s/impostos		Demanda máxima registrada (kW)	Demanda contratada (kW)	Gastos Demanda s/impostos	Total sem Imposto	Impostos (PIS, COFINS e ICMS)	Total com impostos
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta						
out/16	93.288	774.299	R$ 149.782,93	R$ 238.693,02	3.095	3.490	R$ 53.117,80	R$ 441.593,75	28,65%	R$ 618.912,05
nov/16	85.938	829.875	R$ 137.981,65	R$ 255.825,53	3.660	3.490	R$ 55.697,89	R$ 449.505,07	28,13%	R$ 625.441,87
dez/16	85.730	853.168	R$ 137.647,99	R$ 263.006,20	3.625	3.490	R$ 55.171,89	R$ 455.826,08	29,02%	R$ 642.189,46
jan/17	59.200	742.514	R$ 88.720,96	R$ 219.643,04	2.392	3.490	R$ 53.117,80	R$ 361.481,80	31,59%	R$ 528.404,91
fev/17	64.752	743.201	R$ 97.041,02	R$ 219.846,37	3.223	3.490	R$ 53.117,80	R$ 370.005,19	32,50%	R$ 548.155,84
mar/17	111.515	919.468	R$ 167.123,60	R$ 271.987,78	3.525	3.490	R$ 53.652,33	R$ 492.763,71	32,38%	R$ 728.724,80
abr/17	102.225	905.843	R$ 149.146,69	R$ 232.038,37	3.951	3.490	R$ 74.183,50	R$ 455.368,55	32,41%	R$ 673.721,79
mai/17	90.882	721.492	R$ 134.797,50	R$ 202.276,46	3.606	3.490	R$ 54.879,67	R$ 391.953,62	32,42%	R$ 579.984,65
jun/17	100.767	780.462	R$ 150.442,51	R$ 226.427,57	3.176	3.490	R$ 53.117,80	R$ 429.987,88	32,48%	R$ 636.830,39
jul/17	74.875	577.325	R$ 111.786,84	R$ 167.493,47	2.250	3.490	R$ 53.117,80	R$ 332.398,11	32,47%	R$ 492.222,87
ago/17	63.250	563.642	R$ 97.877,81	R$ 168.473,84	1.624	3.490	R$ 58.454,12	R$ 324.805,78	32,41%	R$ 480.553,00
set/17	75.932	607.149	R$ 121.917,04	R$ 187.165,86	2.262	3.490	R$ 64.146,20	R$ 373.229,09	32,44%	R$ 552.440,93
TOTAL			**R$ 1.544.266,54**	**R$ 2.652.877,50**			**R$ 681.774,60**	**R$ 4.878.918,64**		**R$ 7.107.582,57**

- **Cenário 3:**

No cenário 3 há somente redução de energia faturada para o horário fora ponta, conforme observado na Tabela 39.

Tabela 39 – Utilização de demanda e consumo de energia ponta e fora ponta previstos para o cenário 3

Mês/Ano	Energia Registrada (kWh)		Energia Gerada (kWh)		Energia Faturada (kWh)		Demanda máxima registrada (kW)		Demanda máxima com geração alternativa (kW)		Demanda contratada (kW)	Demanda otimizada (kW)
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta		
out/16	94.055	774.299	0	767	94.055	773.531	2.208	3.095	2.208	3.078	3.650	3.470
nov/16	86.510	829.875	0	573	86.510	829.302	2.116	3.660	2.116	3.643	3.650	3.470
dez/16	85.980	853.168	0	251	85.980	852.918	1.974	3.625	1.974	3.608	3.650	3.470
jan/17	59.271	742.514	0	71	59.271	742.443	1.102	2.392	1.102	2.375	3.650	3.470
fev/17	65.003	743.201	0	251	65.003	742.951	1.651	3.223	1.651	3.206	3.650	3.470
mar/17	111.999	919.468	0	484	111.999	918.984	2.220	3.525	2.220	3.508	3.650	3.470
abr/17	102.990	905.843	0	824	102.990	905.018	2.876	3.951	2.876	3.934	3.650	3.470
mai/17	91.732	721.492	0	849	91.732	720.642	2.461	3.606	2.461	3.589	3.650	3.470
jun/17	101.585	780.462	0	818	101.585	779.644	2.266	3.176	2.266	3.159	3.650	3.470
jul/17	75.525	577.325	0	650	75.525	576.675	1.843	2.250	1.843	2.233	3.650	3.470
ago/17	63.601	563.642	0	351	63.601	563.291	1.428	1.624	1.428	1.607	3.650	3.470
set/17	76.690	607.149	0	757	76.690	606.392	1.793	2.262	1.793	2.245	3.650	3.470
TOTAL	**1.014.942**	**9.018.437**	**0**	**6.646**	**1.014.942**	**9.011.791**						

Fonte: Produção do próprio autor.

Neste cenário verifica-se a redução de custos com energia fora de ponta bem como redução com custos de demanda contratada, já que é esperada a geração nos horários que são registradas as máximas demandas no mês (Tabela 40). Observa-se que é esperado um custo anual com energia de R$ 7.114.467,67, ou seja, uma redução de R$ 7.835,83 em relação ao caso base (0,11% de redução de custos).

Tabela 40 – Custos com energia elétrica da UFES para o cenário 3

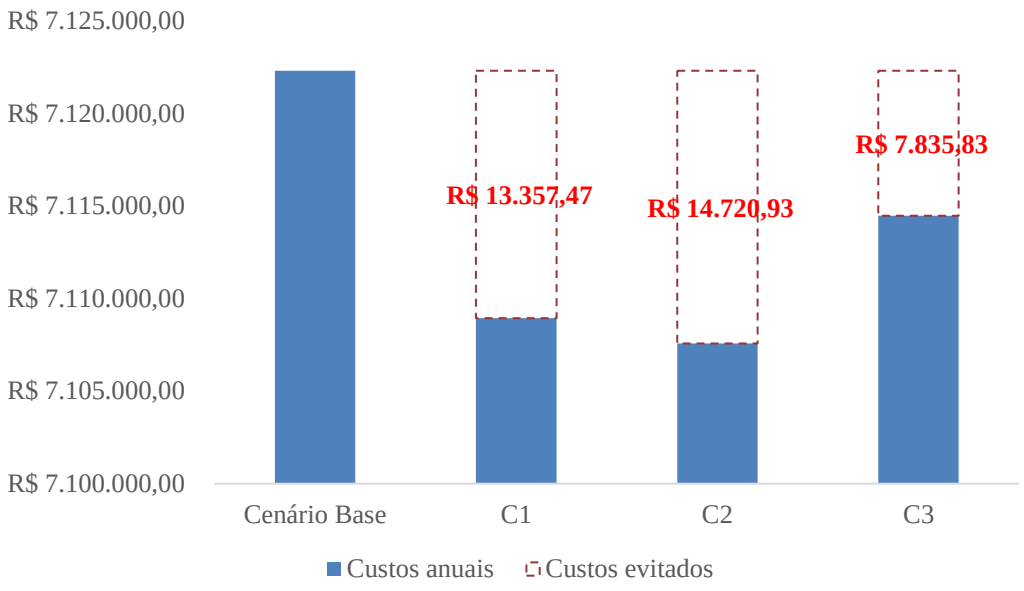
Mês/Ano	Energia Faturada (kWh)		Gastos Energia s/impostos		Demanda máxima registrada (kW)	Demanda contratada (kW)	Gastos Demanda s/impostos	Total sem Imposto	Impostos (PIS, COFINS e ICMS)	Total com impostos
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta						
out/16	94.055	773.531	R$ 151.014,77	R$ 238.456,51	3.078	3.470	R$ 52.813,40	R$ 442.284,68	28,65%	R$ 619.880,42
nov/16	86.510	829.302	R$ 138.901,10	R$ 255.649,00	3.643	3.470	R$ 55.439,15	R$ 449.989,25	28,13%	R$ 626.115,56
dez/16	85.980	852.918	R$ 138.050,26	R$ 262.928,96	3.608	3.470	R$ 54.913,15	R$ 455.892,37	29,02%	R$ 642.282,86
jan/17	59.271	742.443	R$ 88.827,62	R$ 219.621,99	2.375	3.470	R$ 52.813,40	R$ 361.263,01	31,59%	R$ 528.085,08
fev/17	65.003	742.951	R$ 97.416,74	R$ 219.772,21	3.206	3.470	R$ 52.813,40	R$ 370.002,35	32,50%	R$ 548.151,63
mar/17	111.999	918.984	R$ 167.848,96	R$ 271.844,61	3.508	3.470	R$ 53.393,59	R$ 493.087,15	32,38%	R$ 729.203,13
abr/17	102.990	905.018	R$ 150.262,83	R$ 231.827,24	3.934	3.470	R$ 74.016,08	R$ 456.106,15	32,41%	R$ 674.813,07
mai/17	91.732	720.642	R$ 136.057,46	R$ 202.038,30	3.589	3.470	R$ 54.620,93	R$ 392.716,68	32,42%	R$ 581.113,76
jun/17	101.585	779.644	R$ 151.663,78	R$ 226.190,25	3.159	3.470	R$ 52.813,40	R$ 430.667,42	32,48%	R$ 637.836,82
jul/17	75.525	576.675	R$ 112.756,74	R$ 167.305,00	2.233	3.470	R$ 52.813,40	R$ 332.875,13	32,47%	R$ 492.929,27
ago/17	63.601	563.291	R$ 98.420,48	R$ 168.369,02	1.607	3.470	R$ 58.119,14	R$ 324.908,64	32,41%	R$ 480.705,20
set/17	76.690	606.392	R$ 123.132,82	R$ 186.932,43	2.245	3.470	R$ 63.778,60	R$ 373.843,85	32,44%	R$ 553.350,88
TOTAL			**R$ 1.554.353,54**	**R$ 2.650.935,52**			**R$ 678.347,64**	**R$ 4.883.636,70**		**R$ 7.114.467,67**

Fonte: Produção do próprio autor.

- **Avaliação geral**

Compilando os dados obtidos de redução de custos, é possível afirmar que a geração concentrada no horário de ponta maximiza a redução de custos com energia elétrica no ano. O Gráfico 24 resume o montante esperado de redução financeira para cada cenário avaliado. Ressaltando que o Cenário Base é o cenário das faturas de Outubro de 2016 a Setembro de 2017 com a demanda contratada já otimizada.

Gráfico 24 – Estimativa de redução anual de custos com energia e demanda contratada para os 3 cenários avaliados



Fonte: Produção do próprio autor.

6.3 Investimento na matriz de fontes alternativas

Foram realizados os levantamentos de custos de sistemas de geração de energia elétrica que utilizam biogás em artigos, monografias, dissertações e ofertas via meios eletrônicos, que permitiram levantar uma estimativa de custo inicial e custos de manutenção e operação. A Tabela 41 apresenta a síntese dos resultados a partir de 4 autores diferentes.

Tabela 41 – Comparativo de custos com projetos de geração de energia a partir de biogás

Descrição dos custos	(SANTANA E COHIM, 2010)		(JUNQUEIRA,2014)		(OLIVEIRA,2013)		(SECCHI,2014)	
	Observações	Custos	Observações	Custos	Observações	Custos	Observações	Custos
Equipamentos e outros								
Conjunto motogerador	62kW	R$ 78.250,00	14kW	R$ 9.000,00	50kW	-	40kW	
Adaptação para utilizar biogás		-		R$ 1.240,00		-		R$ 60.000,00
Isolamento térmico do escapamento		R$ 3.000,00		R$ 4.725,00		-		
Tubulações		R$ 3.000,00		R$ 460,00		-		
Obras civis e construções		R$ 5.000,00		R$ 3.560,00		-		R$ 49.686,57
Material e instalação elétrica		R$ 1.500,00		-		-		
Total		R$ 90.750,00		R$ 18.985,00		R$ 93.500,00		R$ 93.500,00
O&M								
Manutenção preventiva	Velas, Óleo e filtros	R$ 8.124,90	Velas, Óleo e filtros	R$ 2.000,00	Velas, Óleo e filtros	-	Velas, Óleo e filtros	R$ 15.000,00
Overhauling motor/gerador	-	R$ 7.117,50	-	R$ 4.725,00	-	-	-	
Total		R$ 15.242,40		R$ 6.725,00		R$ 23.000,00		R$ 15.000,00
Depreciação Considerada	10 anos		10 a 15 anos		10 anos		10 anos	

Fonte: Produção do próprio autor.

Baseado na média dos dados da Tabela 42, foram então definidos os valores do investimento para a implantação do conjunto motogerador de 7,2W e de 17kW.

Tabela 42 – Orçamento dos projetos propostos para os cenários 1, 2 e 3

	Cenário 1 – 7,2kW		Cenário 2 e 3 - 17kW	
Descrição dos custos	Custos		Custos	
Equipamentos e Infraestrutura				
Conjunto motogerador	R$	10.000,00	R$	18.000,00
Adaptação para utilizar biogás	R$	1.000,00	R$	1.500,00
Isolamento térmico do escapamento	R$	1.000,00	R$	1.500,00
Tubulações e bombas	R$	3.000,00	R$	3.000,00
Obras civis e construções	R$	4.000,00	R$	5.000,00
Material e instalação elétrica	R$	5.000,00	R$	8.000,00
Subtotal INVESTIMENTO	**R$**	**24.000,00**	**R$**	**37.000,00**
Margem de Incerteza (20%)	**R$**	**4.800,00**	**R$**	**7.400,00**
TOTAL INVESTIMENTO	**R$**	**28.800,00**	**R$**	**44.400,00**

Fonte: Produção do próprio autor.

Os custos de operação e manutenção (O&M) foram avaliados considerando os regimes de funcionamento descritos para cada cenário. Espera-se que o motogerador de 7,2kW se mantenha em operação por um tempo maior que o motogerador de 17kW, logo a frequência de manutenções preventivas será maior incorrendo em maiores custos com manutenção. A Tabela 43 compila os custos com operação e manutenção ao longo de toda vida útil dos motogeradores.

Tabela 43 – Custos com O&M previstos para os projetos nos cenários 1, 2 e 3

	Cenário 1 - 7,2kW		Cenário 2 e 3 - 25kW	
Descrição dos custos	Custos		Custos	
Operação e Manutenção (O&M)				
Total de horas de operação no ano	1700		400	
Total de horas de operação no ano	R$	300,00	R$	500,00
Manutenção preventiva (1000h)	R$	800,00	R$	1.500,00
Overhaul motor/gerador (4000h)	R$	4.200,00	R$	2.000,00
Subtotal 1000h	R$	2.400,00	R$	1.500,00
TOTAL O&M 10 anos	**R$**	**6.600,00**	**R$**	**3.500,00**
Depreciação Considerada	**R$**	**35.400,00**	**R$**	**47.900,00**

Fonte: Produção do próprio autor.

6.4 Análise do investimento

A verificação da viabilidade econômica do projeto foi realizada através das análises do *payback*, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR).

Através do *payback* é possível avaliar o investimento através do tempo necessário para retorno do investimento. Porém, esta análise deve ser realizada junto com outras análises como o VPL ou a TIR, já que não considera questões como o valor do dinheiro no tempo e o custo do capital. A Equação 23 expressa a forma de cálculo do *payback*, cujo valor deverá ser menor que o estipulado pelo investidor.

$$payback = \frac{investimento}{retorno} \tag{23}$$

Já com o VPL, considera-se a valorização do dinheiro com o tempo. É uma representação matemática que considera o fluxo de caixa de todo o tempo de depreciação do projeto para o instante presente, corrigidos por uma taxa de juros que é conhecida como taxa mínima de atratividade (TMA). A TMA corresponde a taxa na qual um possível investidor avalia ser mais atrativo o projeto em relação a outras alternativas de investimento. A Equação 24 expressa a forma de cálculo do VPL, cujo valor deverá ser positivo para indicar que o projeto é viável.

$$VPL = \sum \frac{Fluxo\ de\ caixa}{(1+i)^j} - Investimento \tag{24}$$

Tal que,

Fluxo de caixa = valor da parcela;

i = taxa de juros;

j = número de parcelas;

Com a TIR é indicada a taxa na qual o fluxo de caixa é zerado, ou seja, as entradas do projeto se igualam às saídas. A TIR deverá ser maior que a TMA, denotando que o projeto terá rentabilidade. A forma de calcular a TIR poderá ser feita utilizando a Equação 24 do VPL, que deverá ser 0, sendo então a TIR o valor a ser calculado de *i*, como na Equação 25.

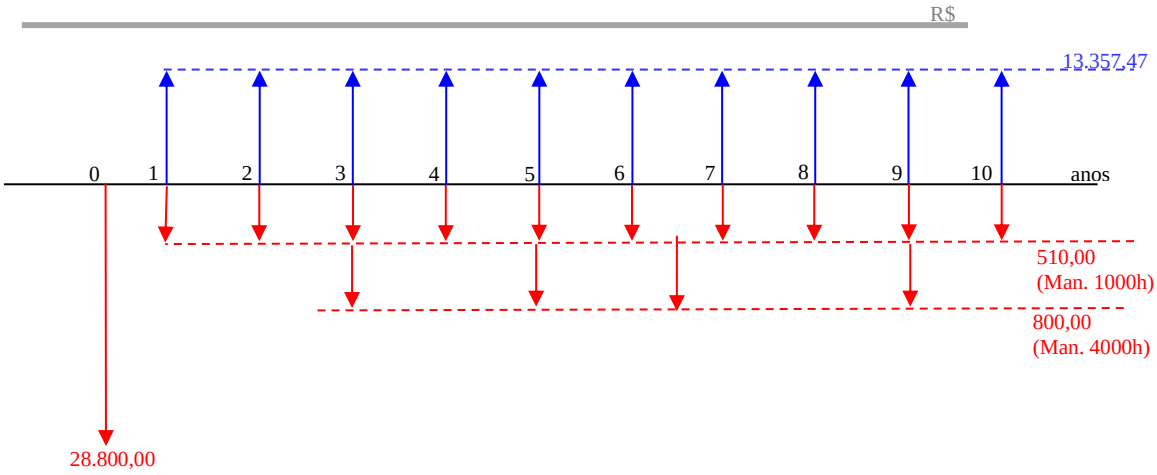
$$0 = \sum \frac{Fluxo\ de\ caixa}{(1+i)^j} - Investimento \tag{25}$$

Utilizando o investimento e os custos com operação e manutenção previsto no Item 6.3, bem como os custos evitados com energia elétrica previstos no Item 6.2, pode-se calcular os indicadores de viabilidade do projeto, considerando as seguintes premissas e observações:

- A depreciação do principal equipamento do projeto, o motogerador, foi considerada como tempo de vida do projeto, igual a 10 anos;
- Os custos evitados com energia foram considerados como receita do projeto e extrapolados para o tempo de vida estimado (10 anos), já que a universidade apresenta a mesma característica de funcionamento ao longo dos anos;
- A taxa básica de juros utilizada foi a SELIC registrada para o mês de Maio de 2018, no valor de 6,4% ao ano;
- A taxa mínima de atratividade (TMA) considerada neste projeto foi de 10% ao ano;
- Não há custos com imposto de renda devido à natureza do projeto.

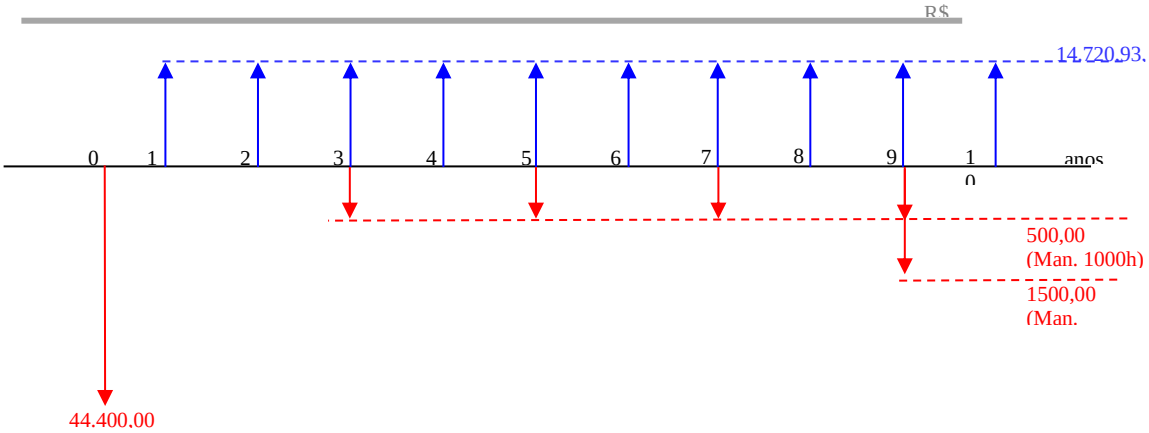
Utilizando do diagrama de fluxo de caixa para os cenários 1 (Figura 22), 2 (Figura 23) e 3 (Figura 24), calculou-se o payback, VPL e a TIR mostradas na Tabela 44, para cada cenário avaliado. Não foi inserido o custo do investimento (os juros sobre o valor do investimento) nos diagramas, mas nos cálculos ele foi inserido como saída anual.

Figura 22 – Diagrama de fluxo de caixa previsto para o cenário 1



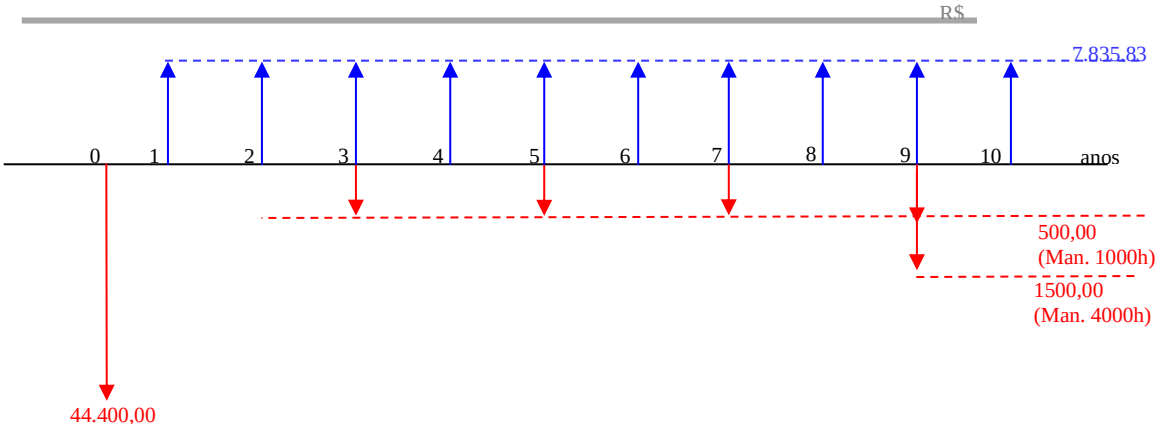
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 23 – Diagrama de fluxo de caixa previsto para o cenário 2



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 24 – Diagrama de fluxo de caixa previsto para o cenário 3



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 44 – Indicadores de viabilidade econômica dos projetos para os cenários 1, 2 e 3

Indicadores Econômicos	**Cenário 1**		**Cenário 2**		**Cenário 3**	
	Quant.	**unid.**	**Quant.**	**unid**	**Quant.**	**unid**
Produção de biogás	5.102	m³/ano	5.102	m³/ano	5.102	m³/ano
Geração de energia elétrica	7.935	kWh/ano	6.586	kWh/ano	6.646	kWh/ano
Valor do investimento	28.800,00	R$	44.400,00	R$	44.400,00	R$
Custo do investimento	3.987,49	R$/ano	6.147,38	R$/ano	6.147,38	R$/ano
Receita Bruta	13.357,47	R$/ano	14.720,93	R$/ano	7.835,83	R$/ano
Receita com O&M	*	R$/ano	*	R$/ano	*	R$/ano
Tempo de Operação	10	anos	10	anos	10	anos
TMA	10,00%	a.a	10,00%	a.a	10,00%	a.a
Taxa de juros (SELIC mai-18)	6,40%	a.a	6,40%	a.a	6,40%	a.a
Payback	2,11	anos	3,02	anos	5,13	anos
VPL	23.793,16	R$	6.774,68	R$	-35.531,28	R$
TIR	27,16%	a.a	13,50%	a.a	-18,00%	a.a

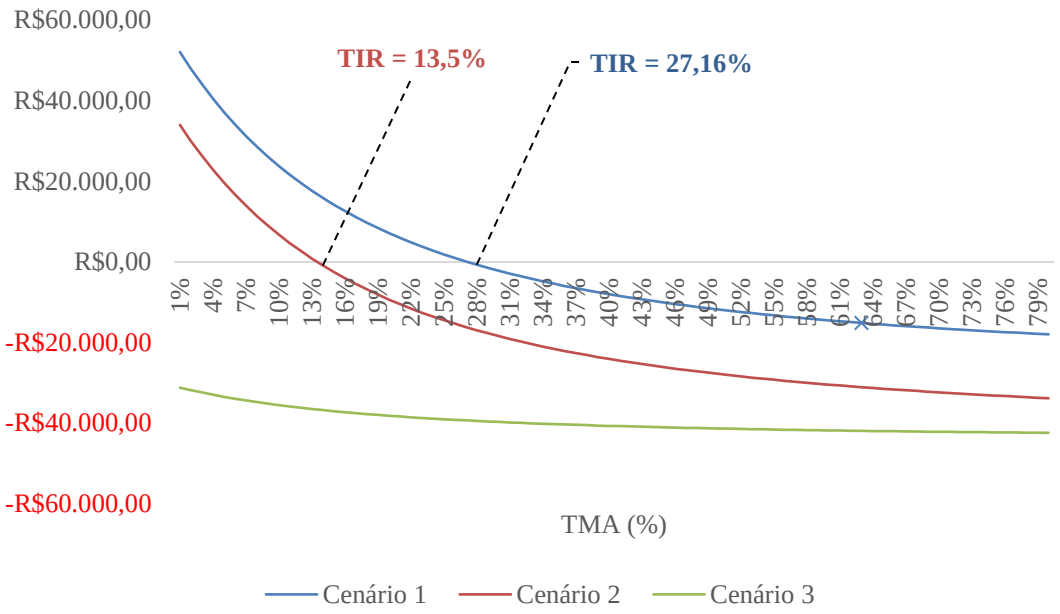
* Os custos com manutenção e operação não seguem uma série uniforme e podem ser melhor visualizados nos diagramas de fluxo de caixa.
Fonte: Produção do próprio autor.

Avaliando os indicadores econômicos, observa-se que o método do *payback* indica que a geração conforme Cenário 1 é a que terá o menor tempo de retorno do investimento em relação aos demais projetos. Porém, neste método não é considerado o custo do investimento, diferentemente do método do VPL. Quando contabilizado também este custo, verifica-se que o valor presente líquido (VPL) para a alternativa de geração no Cenário 3 indica rejeição para este projeto, enquanto evidencia que o projeto no Cenário 1 é de fato o mais adequado a ser implementado. Quando avaliada a TIR, a escolha pelo projeto no Cenário 1 apresenta menor risco que o projeto no Cenário 2.

Avaliando os 3 indicadores, conclui-se que todos os Cenários 1 e 2 avaliados podem ser utilizados, garantindo viabilidade do projeto. Para o projeto do Cenário 3 deve ser indicada a rejeição.

Foi analisada também a sensibilidade do investimento, a partir da variação da TMA. O Gráfico 25 mostra o resultado desta sensibilidade.

Gráfico 25 – Sensibilidade dos investimentos nos projetos dos cenários 1, 2 e 3



Fonte: Produção do próprio autor.

7 CONCLUSÕES

Acerca da biometanização dos resíduos orgânicos alimentares produzidos no RU/UFES avaliados nesta pesquisa:

- Os resíduos alimentares produzidos pelo Restaurante Universitário se mostraram adequados ao tratamento por biodigestor, apresentando a concentração média de sólidos voláteis de 6% para os resíduos provenientes do ambiente SALADA, enquanto que os resíduos provenientes dos ambientes RAMPA e PRATOS apresentaram a concentração média de 30% de sólidos voláteis. Quando misturados todos os resíduos para compor a carga diária, a concentração mais baixa dos alimentos do ambiente SALADA tenderá a reduzir a concentração de sólidos voláteis na mistura, que deverá ser analisada diariamente, implicando em variações no volume de água a ser adicionado para garantir a concentração adequada;

- A metodologia para determinação da produção de biogás se mostrou eficiente quando aplicada ao procedimento experimental de geração de biogás em laboratório. Foi estimada a produção de 5.102m³ de biogás anualmente provenientes dos resíduos alimentares do RU/UFES, sendo 3.105m³ de metano;

Acerca do uso de energia elétrica da Universidade:

- Foi identificada a curva de carga típica do restaurante através de medições com um analisador de energia na subestação do RU, registrando a demanda máxima de 331kW em torno de 12h. Foi identificada também a curva de carga típica da Universidade através da memória de massa obtida, na qual é observada a máxima demanda de 3074kW entre 14h e 16h (média das máximas demandas para os dias de funcionamento normal do RU, excetuando dias não típicos como feriados e férias escolares);

- Os custos com energia elétrica calculados para a Universidade no período de Outubro de 2016 a Setembro de 2017 foram de R$ 7.145.552,70, totalizando o consumo de energia ativa ponta e fora ponta no valor de 10.033.379 kWh, sendo a demanda contratada de 3.650kW. Caso a demanda contratada fosse otimizada para 3.490kW,

obter-se-ia a redução de R$ 23.249,20. A análise técnica e econômica deste projeto desconsiderou esta redução de custos por se tratar de uma questão administrativa, na qual a Universidade pode solicitar alteração contratual junto a concessionária para a contratação da demanda otimizada;

Acerca da análise técnica e econômica deste projeto de geração renovável, considerando os cenários avaliados e os elementos dimensionados nesta pesquisa:

- A produção diária de biogás é satisfatória para promover a geração distribuída na Universidade, porém, no melhor cenário, o atendimento a demanda seria inferior a 1%, sendo gerado o total de 7.935kWh no ano. Novas tecnologias de conjuntos motogeradores de maiores potências e mais eficientes quanto ao consumo de combustíveis máxima a geração anual de energia, devendo ser sempre avaliados os melhores pontos de operação do sistema;

- A implantação de um projeto de geração renovável a partir do biogás gerado no RU/UFES promoveria a redução de custos com energia elétrica na ordem de 0,2%, que em valor absoluto representa o valor bruto de R$13.347,57 ao ano, para os cenários ;

- Na análise econômica, obteve-se um VPL de R$23.793,16 e um tempo de retorno do investimento pelo método do *payback* de aproximadamente 2 anos. Estes indicadores representam a viabilidade do projeto.

De maneira geral, a pesquisa identificou um método válido de análise da produção do biogás a partir de resíduos alimentares, importante indicador para nortear o desenvolvimento de sistemas de geração de energia elétrica utilizando fontes renováveis. Demonstrou ainda que a implantação deste projeto surge como uma alternativa para a redução de custos com energia elétrica da Universidade, além de permitir uma destinação adequada aos resíduos orgânicos alimentares do restaurante.

Para projetos posteriores sugere-se o aprofundamento na caracterização dos resíduos alimentares do RU bem como a maximização da produção de biogás a partir da inserção de demais resíduos orgânicos do *Campus* como os efluentes sanitários e resíduos de podas de

árvores e outras vegetações que recobrem toda a área da Universidade. Pode-se ainda desenvolver estudos relacionados a compostagem, o que agregaria retorno financeiro ao projeto em detrimento de custos evitados com compra de adubos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010. **Condições gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**, Brasília, 09 set. 2010.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. **Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**, Brasília, 17 abr. 2012.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. **Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST**, Brasília, 24 nov. 2015.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Banco de Informações de Geração: BIG.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm >. Acesso em: 11 jul. 2018.

AQUINO, S. et al. **Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbicos.** Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

BITENCOURT, R.C. **Proposta de geração de energia elétrica com biomassa residual do restaurante universitário da UFES**. 2015. 52f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2015.

BRASIL, MME [Ministério de Minas e Energia], EPE [Empresa de Pesquisa Energética**]. Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Brasília: MME/EPE, 2014a. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/pdee/forms/epeestudo.aspx>. Acesso em 16 out. 2016.

BRASIL, MME [Ministério de Minas e Energia], EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **NOTA TÉCNICA DEA 18/14: Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília: MME/EPE, 2014b. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2018%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos.pdf>. Acesso em 28 out. 2017.

BRASIL, MME [Ministério de Minas e Energia], EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanço Energético Nacional 1992 – Ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL, MME [Ministério de Minas e Energia]. **Resenha Energética Brasileira:** Exercício de 2015. Brasília: MME, 2016. Disponível em: <http://www.aben.com.br/noticias/resenha-energetica-brasileira-2016>. Acesso em: 18 out. 2017.

DIAS, A.C. **Análise da viabilidade técnica e financeira da implantação de sistema de geração de energia através de painéis fotovoltaicos para o restaurante do centro tecnológico**. 2015. 99f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2015

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada.** In: 40º encontro de energia meio rural. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São Paulo, 2002. p.3

EMBRASUL [Embrasul Indústria Eletrônica LTDA]. **Catálogo do analisador de energia RE6000**. Rio Grande do Sul, 2015. 5 v. 9 p. Disponível em: <www.embrasul.com.br>. Acesso em: 27 Abr. 2017.

FERREIRA, C. P. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás**. 2015. 124f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

FIRME, A.P. **Mapeamento do potencial de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Campus de Goiabeiras da UFES**. Vitória: UFES. 2016. 15p.

GENERAC. **Catálogos de geradores**. Disponível em: <http://www.generacbrasil.com.br/downloads>. Acesso em: 05 mai. 2018.

GREENPEACE BRASIL. **[R]evolução Energética**. São Paulo, 2016. Disponível em: < http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/image/2015/Dezembro/2016/Revolu%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica%202016.%20Greenpeace%20Brasil.pdf>. Acesso em: 29 out. 2017.

GREENPRO. **Bioenergia: manual sobre tecnologias, projecto e instalação**, 2004. Disponível em: < http://www.greenpro.de/po/bioenergia.pdf >. Acesso em: 26 out. 2016.

JUNQUEIRA, S.L.C.D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado.** 2014. 55f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

LOPES, A.C.C. **Avaliação do desperdício alimentar num Restaurante Universitário no Brasil. 2011**. 39f. Monografia (Graduação em Ciência da Nutrição), Universidade Atlântica, Barcarena. 2011.

NAGANO. **Gerador a Gasolina**. Disponível em: <http://www.naganoprodutos.com.br/novosite/canais/produtos/vitrine.asp?codProduto=483>. Acesso em: 05 mai. 2018.

NEPA [Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação]. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. 4. Ed. Campinas, 2011.

OLIVEIRA, F.S. **Avaliação do potencial de utilização do biogás gerado em estação de tratamento de esgoto para conversão em energia elétrica**. 2013. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SGC [Swedish Gas Technology Centre Ltd]. **Basic data on biogas**. 2 ed. Suécia: SGC , 2012. ISBN 978-91-85207-7.

SOUZA, S.N.M. **Manual de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás no Meio Rural**. 1. ed. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016.

TOLMASQUIM, M.T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452p. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf> Acesso em: 18 out. 2017.

TOYAMA POWER PRODUCTS. **Catálogo de motogeradores a gasolina**. Disponível em: < http://www.toyama.com.br/>. Acesso em: 05 mai. 2018.