

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA APFELGRÜN
LUCAS SCHUEDA FARIAS

ESTUDO E SIMULAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR NA REDE
DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CURITIBA
2019

JULIANA APFELGRÜN
LUCAS SCHUEDA FARIAS

ESTUDO E SIMULAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR NA REDE
DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Paraná, como requisito à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Cleverson Luiz da Silva Pinto

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIANA APFELGRÜN

LUCAS SCHUEDA FARIAS

ESTUDO E SIMULAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso Aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiros Eletricistas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Cleverson Luiz da Silva Pinto (Orientador)
Departamento de Engenharia Elétrica (DELT)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Prof. Dr. Vilson Roiz Gonçalves Rebelo da Silva
Departamento de Engenharia Elétrica (DELT)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Doutorando Cristiano Osinski
Departamento de Engenharia Elétrica (DELT)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Curitiba, 05 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que, após muito trabalho e dedicação, puderem me fornecer o privilégio de estudar nas melhores instituições às quais eles podiam prover e, por isso, consegui entrar em uma das melhores universidades públicas do país. Mãe, você é minha inspiração e meu exemplo de mulher.

À minha irmã Beatrice por estar sempre ao meu lado, tanto nas lamentações quanto nas conquistas. Agradeço também por ter sempre emprestado suas habilidades criativas quando precisei, facilitando meus trabalhos e os deixando muito mais bonitos.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos comigo, desde o ensino básico à graduação. Da mesma forma aos meus colegas de trabalho da Copel e da Schneider, que contribuíram com meu crescimento profissional.

Aos inúmeros colegas e amigos que passaram por minha vida durante esses anos de Universidade e a todos que me ajudaram de alguma forma, ora com informações a respeito de disciplina bem como com materiais de estudo para provas. Em especial à Andressa, Marcelle, Matheus, Mayara, Morgana, Luisa e Thais, aqueles que estiveram ao meu lado até o final e possuem uma grande influência para que fosse possível terminar esse curso.

Ao Lucas por sempre ter sido o meu parceiro em tudo. Desde o começo dessa jornada você esteve ao meu lado e não havia outra forma de terminar além dessa: juntos.

O handebol sempre foi parte importantíssima em minha vida desde que entrei na Universidade. O esporte me ensinou muito. Não apenas durante a trajetória ou nas derrotas, mas, acima de tudo, nas vitórias, às quais as chamo de amigos. Vocês se tornaram meu porto seguro e meu escape de felicidade.

E, por fim, a você Victor, que deveria estar vivendo essa etapa junto conosco. Onde quer que você esteja.

Juliana

Aos meus pais, por todo apoio e suporte dado desde o início da minha vida, se sou o que sou e cheguei onde cheguei, foi graças a vocês, exemplos maiores de minha vida.

Ao meu irmão, pois sem ele nunca teria trilhado o caminho do SENAI e muito menos da engenharia, conhecendo esse mundo fantástico.

Meus tios Marilei e Júnior, por sempre acreditarem em mim, me apoiarem, animarem e claro, deixar viver com eles por 7 anos maravilhosos, dando toda estrutura para minha vida em Curitiba.

Amigos e colegas, de diversos grupos distintos, com características totalmente diferentes, mas que sempre me apoiaram e ajudaram nos momentos bons e ruins, com quem vivi e compartilhei todas as emoções envolvidas durante minha graduação, sejam elas passadas em salas de aula, fora delas, nos treinos, nas festas, nos engharíadas, nas reuniões, em qualquer lugar, vocês sempre estiveram presentes, obrigado, do fundo do meu coração, Manolos, Gender, AC7, Handebol, Time, SBHC, Guerreiros e Vassoras.

Aos meus amigos de São Bento do Sul, Ricardo e Guilherme em especial.

A todos os professores que passaram por minha formação, todo conhecimento técnico que tenho hoje, devo a vocês e aos demais profissionais de engenharia com quem tive oportunidade de trabalhar, nas instituições que confiaram em meu trabalho, Excell, Vectra e Oikos.

A Juliana, minha melhor amiga, com quem partilhei de todos os momentos da minha graduação, desde sua entrada na faculdade e em minha vida, as coisas só melhoraram e estaremos juntos até o final.

A Yasmin, minha namorada e companheira, me apoiando em todas as horas e momentos, com muito amor e carinho, me motivando a sempre crescer mais.

Sales, de onde estiver, sempre estará conosco e em nossos corações.

Lucas

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Dr. Cleverson Luiz da Silva Pinto por ter abraçado nossa ideia e sempre ter sido solícito e compreensível, ao mesmo tempo em que nos orientava, nos corrigia e nos incentivava.

Juliana e Lucas

“O mais importante não é saber fazer, é conhecer quem sabe...”
(Autor desconhecido)

*“We’ve all got both light and dark inside us.
What matters is the part we choose to act on.
That’s who we really are.”*
(J.K. Rowling)

RESUMO

A necessidade de aliar o desenvolvimento tecnológico com questões ambientais têm sido uma das principais questões globais ao longo da década. Dentro desta política, destacam-se as alternativas de geração de energia de forma limpa e sustentável. Além da geração fotovoltaica, presente de forma mais conhecida em residências, o biogás tem recebido mais investimento nos últimos anos a fim de ser uma referência na geração de energia limpa. O presente trabalho tem como objetivo informar o processo de geração de energia a partir de biodigestores e analisar sua viabilidade econômica para implementação. Além disso, utilizando o software ANAREDE, serão simulados cenários diferentes de geração de energia em um alimentador que representa um ambiente rural conforme modelos da Copel. O intuito das simulações é a verificação da influência que um projeto envolvendo biodigestores pode causar na rede de distribuição da concessionária.

Palavras-chave: biodigestor, geração de energia elétrica, biogás

ABSTRACT

The need to combine technological development with environmental issues is one of the major global subjects throughout the decade. Within this policy stand out the alternatives for clean and sustainable energy generation. In addition to photovoltaic generation, commons in residential areas, biogas has received more investments in recent years in order to be a reference in the generation of clean energy. The main objective of this work is to inform the process of energy generation from biodigesters and to analyze their economic viability for implementation. In addition, using ANAREDE software, differences scenarios of power generation will be simulated in a feeder that represents a rural environmental, according to Copel's model. The purpose of the simulations is to verify the influence that a project involving biodigesters can have on the concession distribution network.

Key-words: biodigesters, electricity generation, biogas

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PERCENTUAL DE DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES COM REDE GERAL OU FOSSA LIGADA A REDE GERAL, POR GRANDES REGIÕES, 2016/2018	19
FIGURA 2: DIVERSAS APLICAÇÕES DO BIOGÁS	25
FIGURA 3: ESQUEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR.....	27
FIGURA 4: BIODIGESTOR CHINÊS.	29
FIGURA 5: BIODIGESTOR INDIANO	30
FIGURA 6: BIODIGESTOR CANADENSE	30
FIGURA 7: BIODIGESTOR INSTALADO NA GRANJA COLOMBARI.....	35
FIGURA 8: RESUMO DO PROBLEMA DE SUB E SOBRETENSÃO	36
FIGURA 9: MODELO BASE PARA DETERMINAÇÃO DO CIRCUITO.....	40
FIGURA 10 MODELO DE 33 BARRAS UTILIZADO COMO REFERÊNCIA.	41
FIGURA 11: MODELO SIMULADO NO ANAREDE (VISTA GERAL).	41
FIGURA 12: VISÃO DA BARRA DA SUBESTAÇÃO DO MODELO SIMULADO NO ANAREDE	42
FIGURA 13: VISÃO DA ÁREA URBANA DO MODELO SIMULADO NO ANAREDE.	42
FIGURA 14: VISÃO DA TRANSIÇÃO DA ÁREA URBANA PARA A ÁREA RURAL DO MODELO SIMULADO NO ANAREDE.....	43
FIGURA 15: VISÃO DA ÁREA RURAL DO MODELO SIMULADO NO ANAREDE. .	43
FIGURA 16: CIRCUITO COM GERADOR DE 0,1 MVA ACOPLADO NA BARRA 29.	45
FIGURA 17: CIRCUITO COM GERADOR DE 0,2 MVA ACOPLADO NA BARRA 29.	46
FIGURA 18: CIRCUITO COM DOIS GERADORES DE 0,2 MVA ACOPLADOS NAS BARRAS 29 E 32	47
FIGURA 19: CIRCUITO COM TRÊS GERADORES DE 0,2 MVA ACOPLADOS NAS BARRAS 29, 32 E 33.	48
FIGURA 20: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA LEVE SEM GERAÇÃO DE ENERGIA.....	49

FIGURA 21: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA LEVE COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,1 MVA NA BARRA 29.	50
FIGURA 22: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA LEVE COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NA BARRA 29.	50
FIGURA 23: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA LEVE COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NAS BARRAS 29 E 32.	51
FIGURA 24: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA MÉDIA SEM GERAÇÃO DE ENERGIA.....	52
FIGURA 25: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA MÉDIA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,1 MVA NA BARRA 29.	52
FIGURA 26: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA MÉDIA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NA BARRA 29.	53
FIGURA 27: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA MÉDIA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NAS BARRAS 29 E 32.	53
FIGURA 28: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA PESADA SEM GERAÇÃO DE ENERGIA. ...	54
FIGURA 29: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA PESADA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,1 MVA NA BARRA 29.	54
FIGURA 30: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA PESADA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NA BARRA 29.	55
FIGURA 31: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA PESADA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NAS BARRAS 29 E 32.	55
FIGURA 32: VALORES DE TENSÃO EM PU EM CADA BARRA DO CIRCUITO CONSIDERANDO CARGA PESADA COM GERAÇÃO DE ENERGIA DE 0,2 MVA NAS BARRAS 29, 32 E 33.	56

FIGURA 33: DIFERENÇA DE TENSÕES EM CENÁRIO DE CARGA PESADA.	59
FIGURA 34: DIFERENÇA DE TENSÕES EM CENÁRIO DE CARGA MÉDIA.....	60
FIGURA 35: DIFERENÇA DE TENSÕES EM CENÁRIO DE CARGA LEVE.....	61
FIGURA 36: DIFERENÇA DE TENSÕES EM CENÁRIO DE MEIA CARGA LEVE ..	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: NOTAS ATRIBUÍDAS AS CIDADES	20
TABELA 2: OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	21
TABELA 3: DADOS UTILIZADOS COMO REFERÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DE CONDUTORES.	44
TABELA 4: VALORES DE LODO COLETADOS POR MÊS E JÁ TRANSFORMADOS EM BIOGÁS.....	57
TABELA 5: CRITÉRIOS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO PAYBACK.....	58
TABELA 6: CÁLCULO DO PAYBACK.	58

LISTA DE SIGLAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABiogás – Associação Brasileira de Biogás e Biometano

ANAREDE – Análise de Redes

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNEF – BloombergNEF

BRT – Banco Regulador de Tensão

CO₂ – Dióxido de carbono

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MME – Ministério de Minas e Energia

OIEE - Oferta Interna de Energia Elétrica

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

ONU – Organização das Nações Unidas

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNAD-C – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua

TIR – Taxa Interna de Retorno

TV – Turbinas a Vapor

Unicef – Fundo das Nações Unidas para a Infância

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	SANEAMENTO NO BRASIL: SITUAÇÃO ATUAL.....	19
2.2	MATRIZ ELÉTRICA.....	20
2.2.1	Matriz Elétrica Brasileira	21
2.3	BIOGÁS.....	21
2.3.1	Histórico.....	21
2.3.2	Produção	23
2.3.3	Aplicações	25
2.4	BIODIGESTOR.....	26
2.4.1	Funcionamento	26
2.4.2	Modelos	28
2.5	CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA	31
2.5.1	Tecnologias disponíveis para conversão	31
2.6	CASE DE SUCESSO.....	34
2.7	NORMAS, ORGÃOS REGULAMENTADORES E ANAREDE.....	35
2.7.1	ANEEL.....	35
2.7.2	COPEL.....	36
2.7.3	ANAREDE	37
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	SIMULAÇÕES	40
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	49
4.1	IMPACTO NA REDE ELÉTRICA	49
4.1.1	Carga Leve	49
4.1.2	Carga Média	51
4.1.3	Carga Pesada.....	54
4.2	AVALIAÇÃO FINANCEIRA.....	56
4.2.1	Indicadores de viabilidade econômica	56

4.2.2 Base de dados.....	57
5 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	63
ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

Após anos de uso desenfreado dos recursos do meio ambiente, a sociedade vem se conscientizando a respeito de seus atos e exigindo de governos e empresas uma reformulação na maneira em que se fabricam produtos, se utilizam bens naturais e, até mesmo, na forma em que é produzida a energia elétrica.

Conforme notícia publicada no site da Organização das Nações Unidas (ONU), um levantamento de dados produzido pela BloombergNEF (BNEF) revela que “*o investimento global em energias renováveis superou o apoio financeiro à geração de energia a partir de combustíveis fósseis*”¹. Ainda, segundo esse estudo, a energia eólica é o carro chefe das fontes renováveis, tendo mais de 134 bilhões de dólares investidos no ano de 2018. Apesar de um número menos expressivo, a biomassa aumentou o seu investimento em 54%, totalizando 8,7 bilhões de dólares.

Se por um lado o Brasil também investe em fontes alternativas de geração de energia, de outra parte ainda possui mais de 100 milhões de brasileiros sem acesso à coleta de esgoto, conforme pesquisa da gestora Miles Capital, com dados do Instituto Trata Brasil, do Unicef e da Organização Mundial da Saúde (OMS) reproduzidos em notícia publicada pela revista Exame².

Levando esses dados em consideração, o presente trabalho fornece conhecimento teórico a respeito dos biodigestores e seu funcionamento, assim como analisa a implementação de um, considerando que sua biomassa é provinda de resíduos humanos, sob uma perspectiva da influência de sua variação de tensão e da sua viabilidade econômica.

1.1 JUSTIFICATIVA

Após a pesquisa e a apresentação de um trabalho referente à biodigestores para a disciplina de Tópicos Especiais em Energia Elétrica, surgiu o interesse de

¹ **REVISTA EXAME.** Cobertura de água e esgoto no Brasil é pior que no Iraque. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/cobertura-de-agua-e-esgoto-no-brasil-e-pior-que-no-iraque/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

aprofundar sobre o assunto e estudar a viabilidade de implementar um sistema de geração de energia elétrica a partir da biomassa.

Para isso, este projeto visa analisar às alterações de tensão que um biodigestor pode ocasionar em uma rede elétrica de distribuição, pois é de conhecimento que a sobretensão é um dos maiores limitantes para conexão de geração distribuída, principalmente em áreas rurais por conta de suas linhas extensas. Com intuito de mostrar que, assim como a energia solar, a biomassa pode ser uma excelente alternativa para geração de energia própria do consumidor, será realizada também uma análise financeira, utilizando conceitos aprendidos na disciplina de Fundamentos de Economia para Engenheiros para justificar ou não a implementação da mesma.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar a influência no sistema de distribuição de energia quando se insere biodigestores na rede, variando a potência do sistema. Analisar a viabilidade de implementação sob a perspectiva de subtensão e sobretensão, assim como concluir, a partir de cálculos, se é viável financeiramente.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

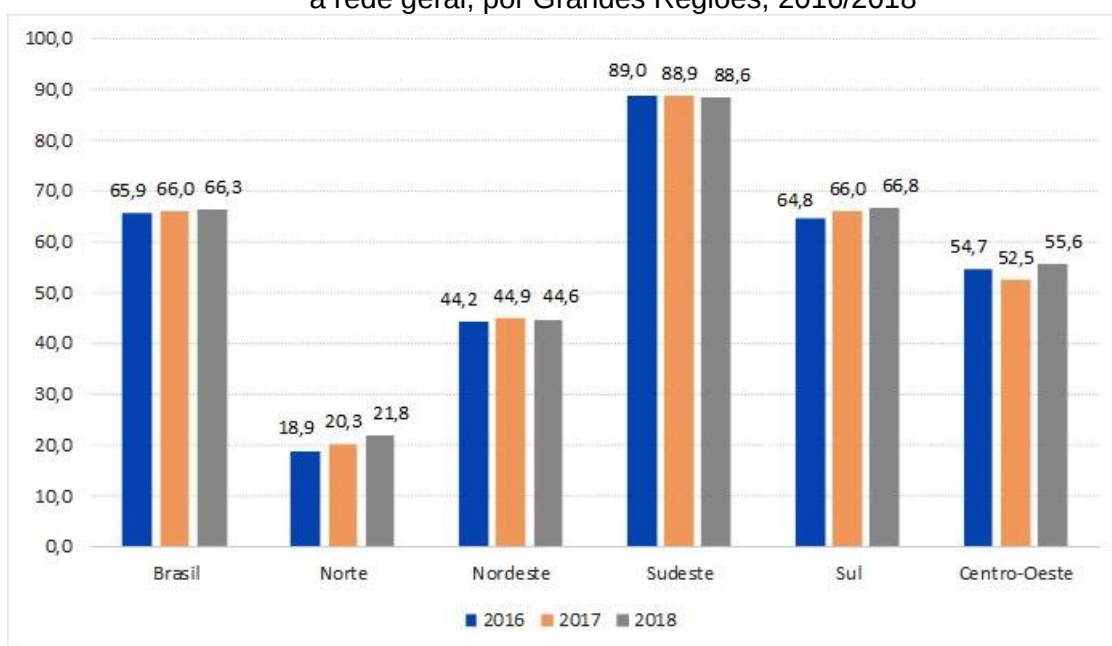
- a) Aprofundar os conhecimentos teóricos a respeito do funcionamento de um biodigestor;
- b) Realizar simulações no software ANAREDE, variando a quantidade de biodigestores e sua potência, assim como a carga do sistema;
- c) Identificar impactos causados no perfil da tensão do alimentador;
- d) Realizar análise financeira do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SANEAMENTO NO BRASIL: SITUAÇÃO ATUAL

A pesquisa Características Gerais dos Domicílios e Moradores 2018³, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base em informações coletadas pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (Pnad-C), revela que mais de 72 milhões de pessoas residem em domicílios sem acesso à rede geral coletora de esgoto. A Figura 1 elucida o percentual de residências particulares com rede geral ou fossa ligada à rede geral por região do país entre os anos de 2016 a 2018.

Figura 1: Percentual de domicílios particulares permanentes com rede geral ou fossa ligada a rede geral, por Grandes Regiões, 2016/2018



FONTE: Agência de Notícias do IBGE.

³ IBGE. AGÊNCIA DE NOTÍCIAS. PNAD Contínua: abastecimento de água aumenta no Centro-Oeste em 2018, mas se mantém abaixo do patamar de 2016. Disponível em <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24532-pnad-continua-abastecimento-de-agua-aumenta-no-centro-oeste-em-2018-mas-se-mantem-abaixo-do-patamar-de-2016>>. Acesso em 12 abril 2019.

Desde 2017, o Ranking ABES da Universalização do Saneamento contribui para a análise do cenário atual brasileiro. O estudo de 2019 abrange 68% da população do país, ranqueando 1868 municípios nos seguintes indicadores:

- Abastecimento de água: índice de atendimento da população total com rede de água;
- Coleta de esgoto: índice de atendimento da população total com rede de esgoto;
- Tratamento de esgoto: índice de esgoto tratado referido à água consumida
- Coleta de resíduos sólidos: taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares em relação à população total do município;
- Destinação adequada de resíduos sólidos: percentual de resíduos sólidos gerados pelos municípios destinados adequadamente.

Considerando notas dentro de uma escala de 0 a 100 para cada parâmetro, a Tabela 1 abaixo, através de dados disponibilizados pelo Ranking da ABES, destaca as notas de algumas cidades.

Tabela 1: Notas atribuídas as cidades

MUNICÍPIO	UF	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	COLETA DE ESGOTO	TRATAMENTO DE ESGOTO	COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS	DESTINAÇÃO ADEQUADA	PONTUAÇÃO TOTAL
PIRACICABA	SP	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	500,00
CURITIBA	PR	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	499,99
CASCADEL	PR	99,99	99,99	100,00	98,83	100,00	498,81
SÃO PAULO	SP	99,30	96,30	77,30	99,10	100,00	472,00
RIO DE JANEIRO	RJ	99,16	85,98	57,50	100,00	100,00	442,64
SÃO BENTO DO SUL	SC	98,29	22,81	28,30	95,23	100,00	344,63
ITAREMA	CE	24,55	5,00	19,39	16,54	2,44	67,92

FONTE: Adaptado do ranking ABES.

2.2 MATRIZ ELÉTRICA

2.2.1 Matriz Elétrica Brasileira

Conforme Tabela 2, que reproduz os dados da Oferta Interna de Energia Elétrica do Brasil dos anos de 2017 e 2018⁴, a oferta hidráulica cresceu quase 5% de um ano para o outro, com quase 389 mil GWh produzidos, representando mais de 60% do total da matriz. Mesmo com uma alta de investimento, a energia solar não representa 1% do total no país, gerando em torno de 3,5 mil GWh. O biogás, em conjunto com outras fontes renováveis, representa 3% da matriz brasileira, produzindo quase 19 mil GWh no ano de 2018.

Tabela 2: Oferta Interna de Energia Elétrica

ESPECIFICAÇÃO	GWh		18/17 %	Estrutura (%)	
	2017	2018		2017	2018
HIDRÁULICA	370.906	388.971	4,9	59,3	61,1
BAGAÇO DE CANA	35.656	35.435	-0,6	5,7	5,6
EÓLICA	42.373	48.475	14,4	6,8	7,6
SOLAR	832	3.461	316,1	0,13	0,54
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	17.257	18.947	9,8	2,8	3,0
ÓLEO	12.458	9.293	-25,4	2,0	1,5
GÁS NATURAL	65.593	54.622	-16,7	10,5	8,6
CARVÃO	16.257	14.204	-12,6	2,6	2,2
NUCLEAR	15.739	15.674	-0,4	2,5	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.257	12.314	0,5	2,0	1,9
IMPORTAÇÃO	36.355	34.979	-3,8	5,8	5,5
TOTAL (c)	625.682	636.375	1,7	100,0	100,0
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>503.378</i>	<i>530.269</i>	<i>5,3</i>	<i>80,5</i>	<i>83,3</i>

(a) Lixívia, biogás, casca de arroz, capim elefante, resíduos de madeira e gás de c. vegeta; (b) Gás de alto forno, de aciaria, de coqueria, de refinaria e de enxofre; e alcatrão; (c) Inclui autoprodutor cativo (que não usa a rede básica).

FONTE: Resenha Energética Brasileira do Ministério de Minas e Energia.

2.3 BIOGÁS

2.3.1 Histórico

⁴ **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**. Oferta Interna de Energia Elétrica do Brasil dos anos de 2017 e 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2019+v2.pdf/66a837a8-4164-4b37-be4a-59a5ad270c50?version=1.0%20>>. Acesso em 13 agosto 2019.

Assim como as células fotovoltaicas, o biogás também foi utilizado com finalidade energética a partir da década de 50 pela Índia e pela China, países que ainda desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores.

Porém, sua data de descoberta é do ano de 1667 (CLASSEN; LIER; STAMRS, 1999) e apenas no século XIX, Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por metro cúbico de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que essa fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação (NOGUEIRA, 1986).

O Brasil teve acesso à essa tecnologia após a crise de petróleo da década de 70, em que foram implantados na região nordeste do país diversos programas de difusão dos biodigestores e a expectativa era grande, porém os benefícios obtidos a partir do biogás e do biofertilizante não foram suficientes para dar continuidade aos programas e os resultados não foram muito satisfatórios (BOLETIM ENFOQUE, 1999).

O segundo ciclo dos biodigestores no Brasil teve início em meados dos anos 2000 com o advento do mercado de créditos de carbono que mobilizou recursos para a construção de biodigestores, em especial em propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte, visando à coleta e combustão do biogás. No contexto do mercado de créditos de carbono, os gases gerados pelos dejetos expostos, em geral em lagoas ou esterqueiras abertas, e não coletados, quando emitidos para atmosfera contribuem negativamente para o aumento do efeito estufa ou aumento da temperatura da Terra. Neste caso, os recursos dos créditos de carbono são aplicados em tecnologias capazes de minimizar este efeito sendo o biodigestor uma destas tecnologias. Estima-se que entre 2005 e 2013 foram instalados no Brasil cerca de 1.000 biodigestores considerando os incentivos financeiros dos créditos de carbono⁵.

No ano de 2016 o setor do biogás cresceu e se destacou como boa opção de negócio e como fonte de energia capaz de garantir a segurança energética brasileira graças à ação incisiva da Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás). Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a produção do energético para geração de energia elétrica saltou de 0,0572% no início do ano para

⁵ **BGS**. História do biogás. Disponível em: <<https://www.bgsequipamentos.com.br/historia-do-biogas/>> Acesso em: 22 setembro 2019.

0,0748% em dezembro, um acréscimo de 30,76%, chegando aos atuais 118,6 megawatts (MVA) de energia instalada⁶.

2.3.2 Produção

2.3.2.1 Fatores que influenciam

A eficiência da produção de biogás está diretamente relacionada à diversos fatores, dos quais destacam-se:

I. Composição dos Resíduos: Quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás. Os principais nutrientes dos microrganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. A principal fonte de nitrogênio está nas dejeções humanas e de animais, enquanto os polímeros presentes nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

II. Natureza do Substrato: Os substratos nutritivos devem prover as fontes de alimento aos microrganismos, elementos químicos constituindo o material celular os necessários às atividades enzimáticas. Os elementos majoritários como o carbono, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre, têm uma importância fundamental no rendimento dos gases de fermentação (PECORA, 2006 apud PRATI 2010, p. 16).

III. Impermeabilidade ao ar: As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) irá produzir apenas dióxido de carbono (CO₂) (JUNIOR, 2000).

IV. Teor de água: Deve-se variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total (JUNIOR, 2000).

⁶ PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. O biogás se consolida como uma commodity ambiental. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/2016-foi-o-melhor-ano-da-historia-do-biogas-no-brasil/>. Acesso em: 18/09/2019

V. Temperatura: A atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em torno de 10 °C essa atividade é muito reduzida e acima de 65 °C as enzimas são destruídas pelo calor. Portanto, a faixa ideal para a produção de biogás é de 32 °C a 37 °C (bactérias mesofílicas) e de 50 °C a 60 °C (bactérias termofílicas) (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

VI. PH: A concentração em íons OH⁻ no meio exterior tem uma grande influência sobre o crescimento dos microrganismos. Na digestão anaeróbia, observam-se duas fases sucessivas: a primeira se caracteriza por uma diminuição do pH em patamares próximos de 5,0 e a segunda por um aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade. A redução do pH é devida à ação das bactérias acidogênicas, as quais liberam rapidamente ácidos graxos voláteis. As bactérias metanogênicas, que têm taxas de crescimento mais fracas que as primeiras, se instalam progressivamente e induzem a elevação do pH através da catálise do ácido acético. No caso de tratamento anaeróbio em biodigestores de processos contínuos, o pH permanece neutro, aproximadamente 7 (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

Para aumentar o poder calorífico, rendimento térmico e eliminar a característica corrosiva devido à presença de gás sulfídrico e água, é preciso tratar e purificar o biogás produzido (OLIVEIRA, 2005). A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente uma vez que, presentes na combustão absorvem parte da energia gerada. Na medida em que se eleva a concentração de impurezas, o poder calorífico do biogás torna-se menor (ALVES, 2000), interferindo na sua atuação nas máquinas geradoras de energia.

2.3.2.2 Propriedades físicas e químicas

A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY, 2000).

O gás sulfídrico, aparece em uma concentração aproximada de 10g/m³ no biogás. Portanto, existe a necessidade de o mesmo passar por um filtro purificador para evitar o mau cheiro gerado, mas principalmente para retirar seu efeito corrosivo, devendo aparecer com uma concentração abaixo de 1,5g/m³ (OLIVEIRAS, 1993).

2.3.3 Aplicações

O biogás pode ser empregado em diversas situações, conforme ilustrado pela figura 2.

Figura 2: Diversas aplicações do biogás



FONTE: Guia de Referência de Cobertura Jornalística de Energias Renováveis

2.3.3.1 Produção de vapor

Este é o caso de indústrias que tratam seus resíduos através do processo de digestão anaeróbia e utilizam o biogás gerado para geração de vapor nas caldeiras,

economizando com isso óleo combustível, carvão mineral, carvão vegetal ou lenha (PATRI, 2010)

2.3.3.2 Geração de energia elétrica

Este é o caso de indústrias que tratam seus resíduos através do processo de digestão anaeróbia e utilizam o biogás gerado para geração de vapor nas caldeiras, economizando com isso óleo combustível, carvão mineral, carvão vegetal ou lenha (OLVEIRA, 2005).

Na seção de Análise de Resultados deste trabalho será apresentada a conversão de metro cúbico de biogás em kWh de energia elétrica que será utilizada para calcular a viabilidade econômica da implementação de um biodigestor.

2.3.3.3 Combustível veicular

Conforme Rafael Deleo e Oliveira (2005), para essa aplicação é necessário realizar a purificação do biogás retirando-se tanto o gás carbônico quanto o gás sulfídrico, este por ser corrosivo e aquele para aumentar o poder calorífico do gás, trazendo uma maior autonomia ao veículo.

2.4 BIODIGESTOR

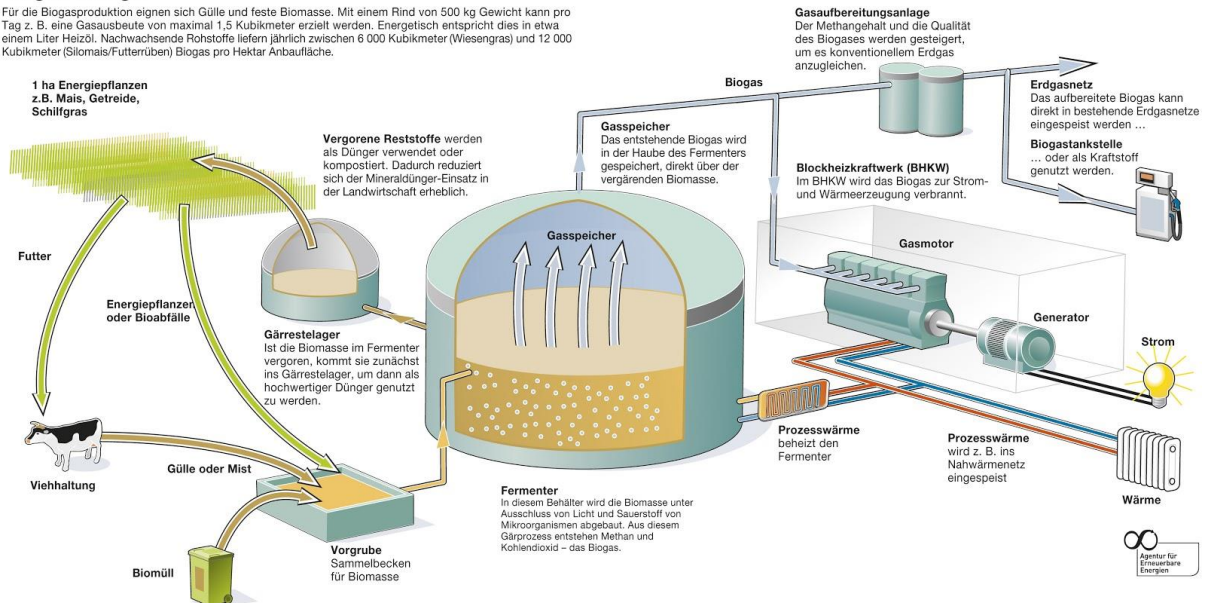
2.4.1 Funcionamento

O processo de funcionamento de um biodigestor pode ser observado através da Figura 3 e explicado em tradução literal em seguida.

Figura 3: Esquemática do processo de funcionamento de um biodigestor

Biogas-Anlage

Für die Biogasproduktion eignen sich Gülle und feste Biomasse. Mit einem Rind von 500 kg Gewicht kann pro Tag z. B. eine Gasausbeute von maximal 1,5 Kubikmeter erzielt werden. Energetisch entspricht dies in etwa einem Liter Heizöl. Nachwachsende Rohstoffe liefern jährlich zwischen 6 000 Kubikmeter (Wiesengras) und 12 000 Kubikmeter (Silomais/Futterrüben) Biogas pro Hektar Anbaufläche.



FONTE: TRSÓLIDOS

O tanque de mistura (Vorgrube) é o recipiente que armazena e tritura a biomassa do sistema. Esse material pode provir de diversas fontes como lixo orgânico, dejetos (bovinos, suínos e humanos), restos de comida e até mesmo de plantas energizadoras.

Após esse processo o resíduo é movido para uma câmara onde ocorre a fermentação da matéria-prima. Neste recipiente (Fermenter) a biomassa é degradada por microrganismos na ausência de luz e oxigênio, resultando na produção de metano e dióxido de carbono. Esse processo costuma ser feito acima da superfície da terra para ajudar as bactérias a realizarem a decomposição. É necessária uma temperatura adequada, assim como o controle do pH da mistura. O biogás gerado é armazenado no próprio exaustor do fermentador (Gasspeicher), diretamente acima da biomassa fermentada.

O resultado dessa etapa divide-se em outros dois estágios. O resto da biomassa fermentada passa para uma câmara de digestão (Gärrestelager), para expelir qualquer resquício de metano que ainda contenha e tornar-se um biofertilizante de alta qualidade.

Por outro lado, o biogás segue adiante diretamente para um motor elétrico, que queima esse gás, gerando um campo elétrico que produz a energia elétrica (mesmo

princípio de funcionamento de um carro movido à gás) ou desloca-se para a planta de processamento de biogás (Gesaufbereitungsanlage) com o intuito de melhorar-se o teor de metano para o biogás servir como gás natural ou em abastecimento de veículos.

Ainda durante esse processo, o calor gerado pode ser reutilizado no aquecimento de água ou no próprio controle de temperatura do Fermentador.

2.4.2 Modelos

Existem diversos modelos de biodigestores, os quais se destacam o Chinês, o Indiano e o Canadense.

2.4.2.1 Chinês

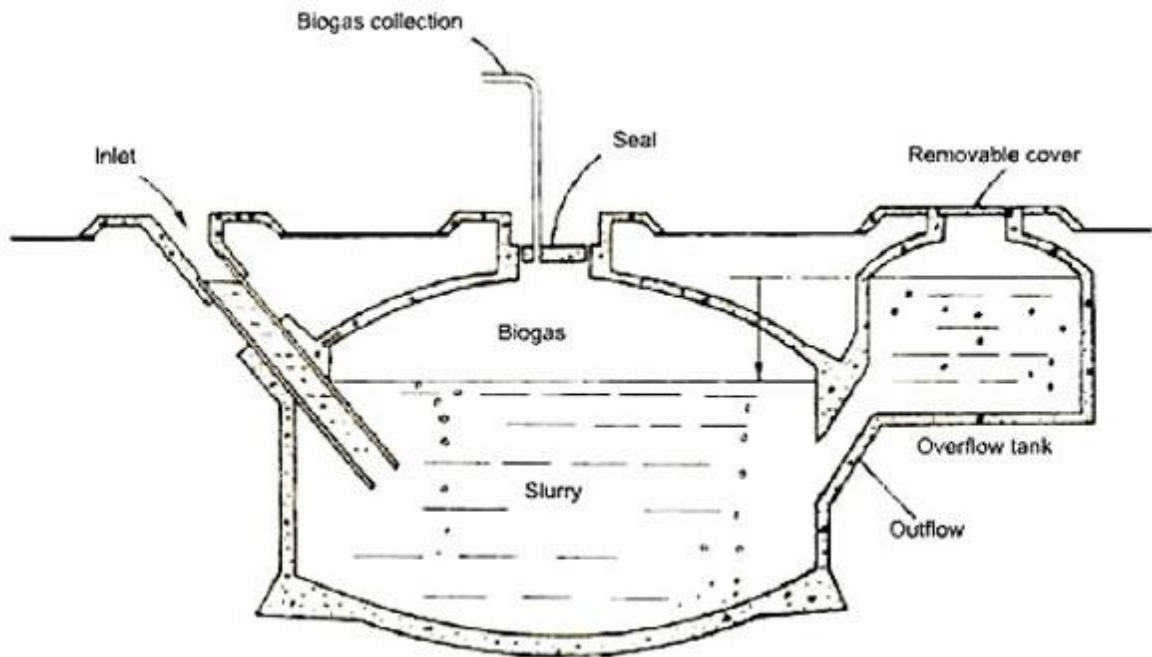
O biodigestor modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002).

O modelo Chinês é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos, contudo pode ocorrer problemas com vazamento de biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor, uma parcela de gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Por este motivo às construções de biodigestores modelo Chinês não são utilizadas para instalações de grande porte (DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002).

O substrato deve ser fornecido continuamente, com a concentração de ST em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI; TAVARES, 2002).

A Figura 4 apresenta o esquemático de um biodigestor desse modelo.

Figura 4: Biodigestor chinês.



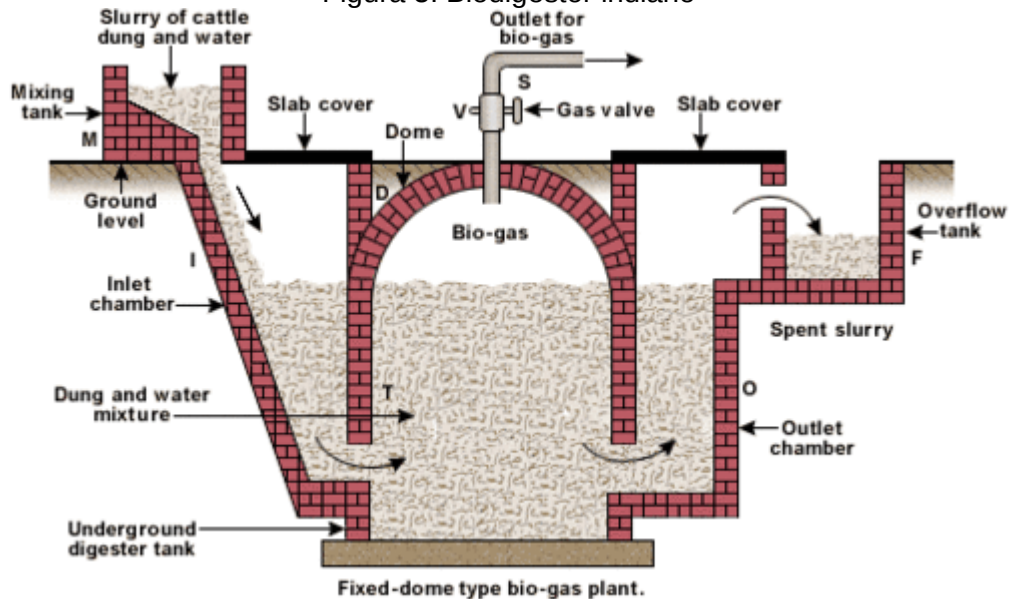
FONTE: Ecotippingpoints

2.4.2.2 Indiano

O biodigestor indiano deve ser utilizado quando se necessita de um fornecimento contínuo de biogás. Consiste de uma câmara de digestão, construída em geral abaixo do nível do solo, tendo em sua parte superior o acoplamento de uma campânula móvel de material impermeável e rígido que serve de tanque de biogás (gasômetro). O gasômetro pode ser construído em chapas de ferro ou em fibra de vidro. A vantagem de construir o gasômetro em fibra de vidro é que este material não sofre a ação de agentes corrosivos como o gás sulfídrico presente na mistura gasosa. Caso o mesmo seja construído em fibra de vidro devem-se adicionar pesos sobre o mesmo a fim de aumentar a pressão do biogás (OLIVEIRA, 2005).

O modelo Indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantém a pressão em seu interior constante. O fato do gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água, reduz as perdas durante o processo de produção de gás (DEGANUTTI et. al., 2002).

Figura 5: Biodigestor indiano



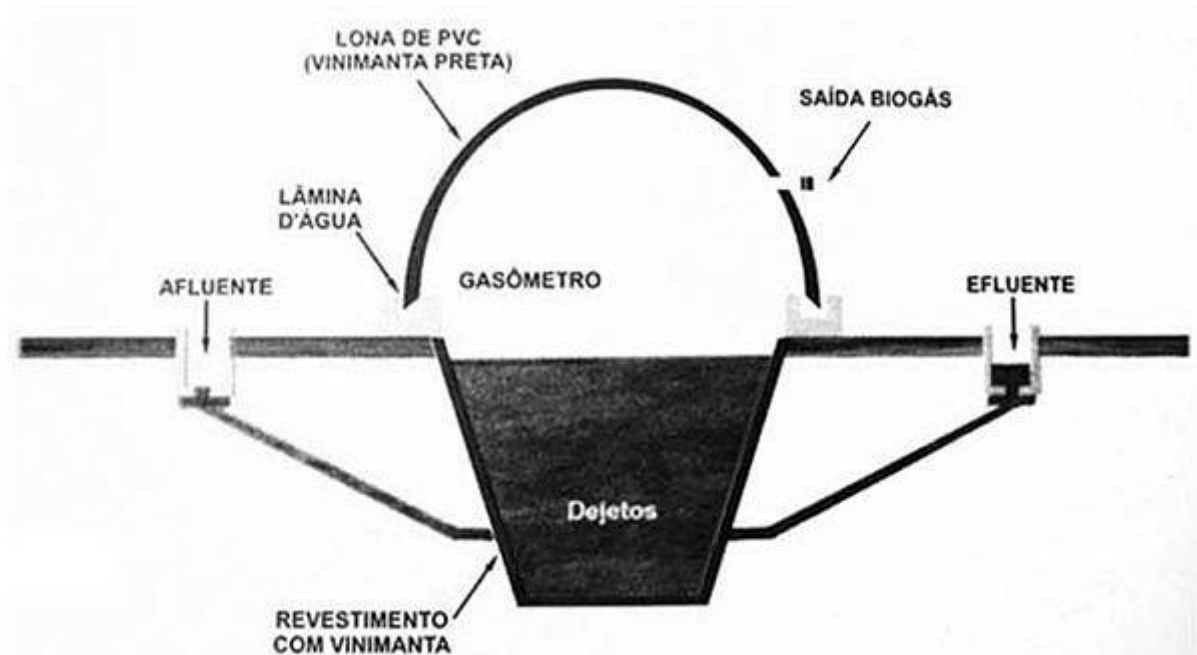
FONTE: Indiamart

2.4.2.3 Canadense

Também conhecido como “*modelo da Marinha Brasileira*”, é um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita uma grande produção de biogás, evitando-se entupimento (EMBRAPA, 1995 apud BARICHELO, 2010).

Esse modelo é o mais indicado para projetos industriais e agroindustriais por ser versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos e ser capaz de armazenar grande quantidade de resíduos passíveis a sobre fermentação anaeróbica, produzindo assim uma grande quantidade de biogás e estabilizando os dejetos que podem ser utilizados como biofertilizantes (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Figura 6: Biodigestor canadense



FONTE: CH4 Agroenergia

2.5 CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

2.5.1 Tecnologias disponíveis para conversão

A energia química do biogás pode ser transformada em energia elétrica através de algumas tecnologias disponíveis para essa conversão, relacionadas a seguir.

2.5.1.1 Turbinas a gás

As turbinas a gás são equipamentos constituídos por compressor, câmara de combustão e a turbina de expansão (ciclo Brayton). O ar comprimido é injetado na câmara de combustão fornecendo o oxigênio para a queima do combustível. Esta reação exotérmica à alta pressão, transfere a energia química do combustível para os gases, elevando sua temperatura. O gás resultante é expandido na turbina, de onde se extrai a energia mecânica para acionamento do compressor e da carga acoplada ao eixo. Nas turbinas usadas em aviões a jato, os gases quentes são exauridos através de bocais que transformam a energia dos gases em empuxo (COSTA, 2006).

A carga acoplada ao eixo (ou eixos) da turbina, além do compressor de ar do conjunto, pode ser constituída por gerador de energia elétrica, bombas, compressores ou um eixo motor qualquer. As turbinas de pequena e média potência giram a rotações mais elevadas. Dependendo da carga, pode ser necessário inserir um redutor de velocidade entre a turbina e sua carga. Algumas turbinas possuem mais de um eixo: neste caso, cada eixo acionado por um conjunto de pás de turbina, gira a velocidade diferente (COSTA, 2006).

Por razões de limitação de temperatura suportável pelos materiais utilizados na construção das turbinas, a massa de ar injetada na câmara da combustão é muito superior à quantidade requerida para se estabelecer a reação estequiométrica da combustão. Assim, os gases de exaustão da turbina contêm ainda uma quantidade significativa de oxigênio (COSTA, 2006).

Quanto mais elevada for a temperatura e a pressão dos gases na entrada do primeiro estágio da turbina, e quanto mais reduzida for a temperatura dos gases de exaustão, maior será a eficiência da turbina a gás. A evolução tecnológica dos fatores que afetam estes parâmetros tem promovido, nos últimos anos, o contínuo aperfeiçoamento destas máquinas. O compressor de ar consome uma parcela significativa da energia mecânica resultante da conversão da energia térmica dos combustíveis (COSTA, 2006).

As turbinas a gás estão disponíveis desde a potência de poucas centenas de kW até quase 300 MVA (COSTA, 2006).

2.5.1.2 Microturbinas a gás

As microturbinas para geração de energia elétrica são derivadas da tecnologia utilizada nas APU's (Airborne Power Unit). Estas unidades são utilizadas para fornecer energia elétrica para os sistemas centrais dos aviões quando estes estão no solo e com as turbinas principais desativadas. São pequenas turbinas, na faixa de 30 kW, operando com o ciclo Brayton, ou seja, utilizando o mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás de maior porte (COSTA, 2006).

O ar atmosférico entra no compressor, onde sua pressão é elevada. A seguir, o ar comprimido segue para a câmara de combustão, onde o combustível é injetado e se mistura com o ar. A mistura é então inflamada por meio de queimadores. Os

gases aquecidos e em alta pressão são então expandidos através das pás de uma turbina, fazendo com que esta gire em alta velocidade. A turbina de expansão é montada no mesmo eixo do compressor e do gerador elétrico. Assim, quando o ciclo se completa, a turbina de expansão é responsável por fornecer a energia necessária para girar o compressor e o gerador elétrico (COSTA, 2006).

No caso dos sistemas estacionários os gases, depois da expansão na turbina, ainda contêm grande quantidade de energia térmica. Esta energia pode ser utilizada em trocadores de calor para, dependendo do sistema, produzir frio ou vapor de processo. Estes sistemas caracterizam um ciclo de co-geração (COSTA, 2006).

2.5.1.3 Motores de combustão interna

São motores que se aproximam do ciclo de combustão interna de ignição por centelha. Seu rendimento é função apenas da relação de compressão (VAN WYLEN, 1998). Aplicam-se tanto para geração de energia elétrica, pelo acoplamento de um gerador ao motor, quanto à geração de energia mecânica, que pode ser empregada no acionamento de bomba hidráulica, compressor ou veículo.

A diferença básica entre o ciclo Otto e Diesel está na forma em que ocorre a combustão. No ciclo Diesel, a combustão ocorre pela compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto no ciclo Otto, a combustão ocorre pela explosão do combustível por meio de uma fagulha na câmara de combustão.

O ciclo de Otto consiste em expansão/resfriamento adiabática, seguida de resfriamento a volume constante, aquecimento/compressão adiabático, e aquecimento a volume constante.

A válvula de entrada de ar abre no tempo preciso para permitir a entrada de ar (misturada ao combustível) no cilindro. A válvula de escape abre no tempo preciso para permitir que os gases deixem o cilindro. A vela dá ignição da mistura no cilindro, o que cria a explosão. A força da explosão é transferida ao pistão. O pistão desce e sobe em um movimento periódico. A força do pistão é transferida através da manivela para o eixo de transmissão.

2.5.1.4 Turbinas a vapor

As Turbinas a Vapor (TV) são máquinas de combustão externa (os gases resultantes da queima do combustível não entram em contato com o fluido de trabalho que escoar no interior da máquina e realiza os processos de conversão da energia do combustível em potência de eixo). Devido a este fato, apresentam uma flexibilidade em relação ao combustível a ser utilizado, podendo usar inclusive aqueles que produzem resíduos sólidos (cinzas) durante a queima.

Na Turbina a vapor, o fluido de trabalho é vapor de água sob pressão e a alta temperatura. Como as turbinas a vapor são máquinas de combustão externa então o calor necessário para a ebulição do condensado e para o superaquecimento posterior deve ser transferido dos produtos de combustão ao fluido de trabalho através das serpentinas no interior da caldeira.

As turbinas a vapor podem ser fabricadas sob uma extensa gama de configurações, para diversas pressões, diferentes números de estágios, de condensação, de extração simples e controlada, simples e múltiplas entradas, etc. São produzidas na faixa de potência desde poucos kW até pouco mais de 1.000 MVA.

2.6 CASE DE SUCESSO

1.1.1 Colombari

Colombari (Figura 7) é um dos pioneiros do auto abastecimento energético no país e sua propriedade - a Granja Colombari - faz parte da Plataforma Itaipu de Energias Renováveis. Ele gera sua própria energia desde 2006 e, desde janeiro de 2009, está ligado à rede pública de distribuição de eletricidade (Copel).

Conforme Patri (2005, p.) expõe em seu trabalho, a produção diária estimada de biomassa residual em Colombari é de aproximadamente 40m³, estimando-se uma produção de 600 m³ diários de biogás durante as estações mais quentes do ano e nas estações frias uma produção média de diária de 450 m³. Considera-se que em um mês são gerados aproximadamente 1.200 m³ de biofertilizante.

O biodigestor instalado é do tipo canadense, operando em sistema contínuo e apresentando uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 1.290 m³ de dejetos. O gerador empregado na geração de energia elétrica tem a capacidade de gerar 30 kW/h. Diariamente são produzidos 360 kWh de energia elétrica, sendo que

60% da energia elétrica gerada, correspondente a 216 kWh, é consumida na propriedade e os 40% de energia elétrica, 144 kWh, são vendidos para companhia elétrica.

Figura 7: Biodigestor instalado na Granja Colombari



FONTE: CIBlogás

2.7 LEGISLAÇÕES, NORMAS, ORGÃOS REGULAMENTADORES E ANAREDE

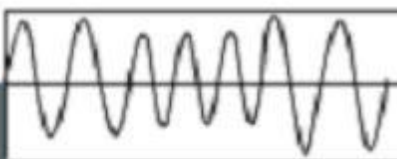
2.7.1 ANEEL

A Agência Nacional de Engenharia Elétrica tem como finalidade regularizar e fiscalizar a qualidade da energia elétrica comercializada pelas concessionárias locais de energia. Ela também é responsável por implementar diretrizes federais e estabelecer as tarifas de energia.

Através da REFERÊNCIA, ela determina que o valor máximo de consumo, que é denominado de carga pesada, constitui a chamada ponta de carga, com cerca de 2 a 3 horas de duração; o valor mínimo de consumo, denominado de carga leve, ocorre em horas da madrugada; tem-se também um período de carga média ou intermediária. Podem ocorrer variações nos períodos de tempo de ocorrência da carga pesada e da carga leve de acordo com a região, os dias da semana e as estações do ano.

Dentre os vários distúrbios de energia que podem afetar a qualidade da mesma, estão a sub e a sobretensão – o problema mais comum entre todas as interferências. Elas ocorrem durante a variação de tensão de um sistema, sendo as sobtensões mais comuns por serem produzidas após a partida de motores, geradores, entre outras máquinas. A figura 8 traz um breve resumo a respeito desses distúrbios.

Figura 8: Resumo do problema de sub e sobretensão



Descrição	Declínio e aumento de voltagem
Duração	De milissegundos a alguns segundos.
Causa	- Inicialização ou desligamento de equipamentos - Curtos-circuitos (falhas) no dimensionamento da rede elétrica
Efeito	Perda de conteúdo da memória, erros de dados, desligamento do equipamento, falhas intermitentes levando a queima.
Solução possível	Reposicionar o equipamento em outro circuito elétrico, utilizar regulador de voltagem ou condicionador de energia.

FONTE: SLIDE (PROF. JOSÉ MAURICIO S PINHEIRO), 2010

Conforme determinado pela ANEEL, a cidade de Curitiba possui uma tensão nominal de 220/127 V. Considerando que os níveis de tensão adequados estão entre 93 e 105% desse valor esse valor varia-se de 205/118 a 231/133 V⁷.

2.7.2 COPEL

A Companhia Paranaense de Energia Elétrica é a principal distribuidora de energia elétrica do estado do Paraná. Opera um abrangente e eficaz sistema elétrico com parque gerador próprio de usinas, linhas de transmissão, subestações, linhas e redes elétricas do sistema de distribuição e um moderno e poderoso sistema óptico de telecomunicações que integra todas as cidades do Estado. Efetua em média, mais

⁷ ANEEL. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_1_Retificacao_1.pdf
>, Acesso em 20.10.2019.

de 70 mil novas ligações a cada ano, atendendo praticamente 100% dos domicílios nas áreas urbanas e passa de 90% nas regiões rurais⁸.

A respeito de geração própria do consumidor, a COPEL possui a NTC905200 para reger as normas. Segue o objetivo da mesma:

“Esta norma aplica-se ao acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição da Copel abrangidos pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, ou seja, que acessem o sistema elétrico através de unidades consumidoras e que façam a adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica, com potência instalada de geração até 5 MVA para cogeração qualificada, nos termos da Resolução ANEEL nº 235/2006, ou demais fontes renováveis (Conforme redação dada pela ReN ANEEL nº 786/2017, que altera a ReN ANEEL 482 de abril de 2012).”

2.7.3 ANAREDE

Para realizar as simulações previamente determinadas para execução deste trabalho, optou-se por trabalhar com o ANAREDE. Para utilizar o programa, foi solicitado o acesso de estudante à Prof. Dra. Elizete Maria Lourenço, docente do Departamento de Engenharia Elétrica de Universidade Federal do Paraná.

O software ANAREDE é o mais utilizado no Brasil para análise de Sistemas Elétricos de Potência em regime permanente. Reúne programas de fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão e de fluxo, e análise de segurança de tensão.

O programa desenvolvido pela CEPEL⁹, possui uma interface gráfica aliada aos programas FormCepel (que combina dados de entrada e resultados que podem ser filtrados para seleção de trechos de interesse) e EditCepel (editor de texto customizado). Entre os principais usuários do ANAREDE estão: entidades setoriais, como Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME); empresas Eletrobras; agentes de geração, transmissão e distribuição; grandes consumidores industriais;

⁸ COPEL. Sobre a COPEL. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ffacopel%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F01C009432D735E57032573FA00687CC4>>. Acesso em: 23/10/2019

⁹ CEPEL. ANAREDE: Análise das redes elétricas. 2019. Disponível em: <http://www.cepel.br/pt_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm 10/09/2019>. Acesso em 23/10/2019

produtores independentes; universidades (versões acadêmicas); empresas de consultoria.

2.7.4 Banco Reguladores de Tensão

O uso de reguladores de tensão nos sistemas de distribuição de energia elétrica teve início a partir dos anos 40 nos países desenvolvidos, principalmente nos Estados Unidos, em função de sua grande extensão territorial, onde os centros de consumo estão espalhados por vastas áreas. Por conta disso, hoje se encontram instalados em vários pontos daquele país, dezenas de milhares de reguladores, fornecendo aos pontos de consumo uma regulação de tensão adequada e conferindo qualidade ao fornecimento de energia. O Brasil apresenta certa similaridade com os Estados Unidos no que se refere ao espaço territorial, no qual também se faz necessária a utilização dos reguladores de tensão. Estes têm grande aceitação por parte das concessionárias, por razões econômicas, de simplicidade e versatilidade. Além disso, atualmente existem vários modelos de reguladores de tensão totalmente fabricados no Brasil, o que elimina os problemas de obtenção de peças de reposição verificados até 1986, quando tais equipamentos eram total ou parcialmente (comutador sob carga) importados dos Estados Unidos (FELBER).

O Regulador de Tensão RT é um equipamento destinado a manter um determinado nível de tensão na rede de distribuição, são usados frequentemente em redes urbana ou rural, para regular a tensão em cada fase da rede separadamente, visando com isso manter a tensão dentro de uma faixa de valores pré-estabelecidos, respeitando os limites seguros de operação nos pontos de carga. É importante salientar que o RT é um dos equipamentos mais úteis nas concessionárias de energia elétrica para obter e manter uma boa qualidade no fornecimento de energia elétrica (SZUVOVIVSKI, 2008).

Um regulador de tensão é mais conhecido como um autotransformador com muitos TAP's e sua configuração de operação pode ser tanto elevador de tensão como abaixador de tensão, pelo meio da inversão das bobinas no secundário. Existe um circuito específico que faz o controle dessa comutação ajustando de acordo os TAP's, quando violar a tensão de saída do regulador alterando os limites predeterminados.

Geralmente as distribuidoras de energia utilizam os reguladores agrupados em três unidades monofásicas ligadas em Δ ou Y formando um banco trifásico. Este

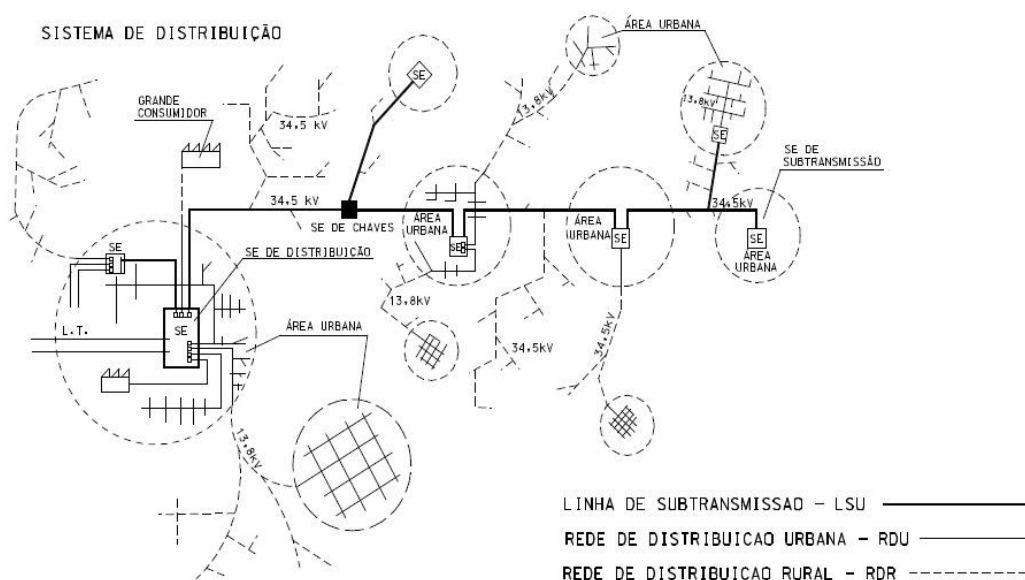
agrupamento é que permite a regulação independente de cada uma das fases. (PEREIRA, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 SIMULAÇÕES

A escolha do circuito a ser utilizado é a primeira etapa para realizar as simulações propostas. Para isso, tendo a COPEL como fonte, utilizou-se o modelo da Figura 09, disponibilizada na NTC 841001, a fim de trazer veracidade para o trabalho. Esta figura representa um circuito típico de distribuição, envolvendo linhas urbanas e rurais.

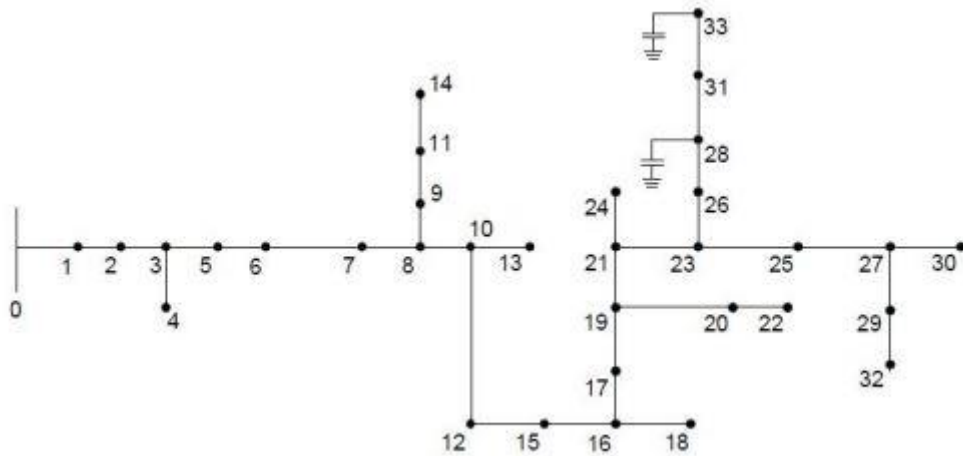
Figura 9: Modelo base para determinação do circuito



FONTE: NTC 841001

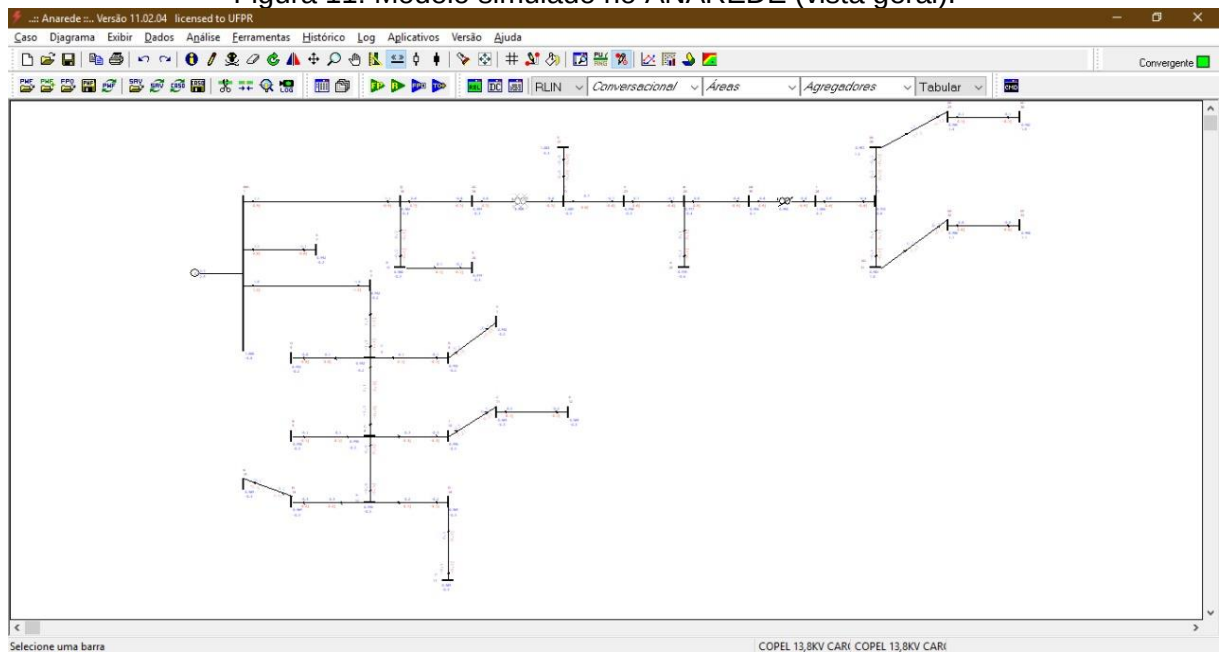
Considerando que biodigestores estão comumente localizados em propriedades rurais, o modelo utilizado como referência retrata essa situação. Além do alimentador atender uma região rural e, nesta parte do circuito, possuir cargas distantes umas das outras e do próprio alimentador, ele também atende a região urbana, em que as cargas ficam localizadas próximas às outras, retratando conglomerados urbanos. Para representação do circuito foi utilizado o modelo IEEE de 33 barras, representado pela figura 10. Após definição do modelo, o mesmo foi desenhado no software ANAREDE, conforme mostram as figuras 11 a 15.

Figura 10 Modelo de 33 barras utilizado como referência.



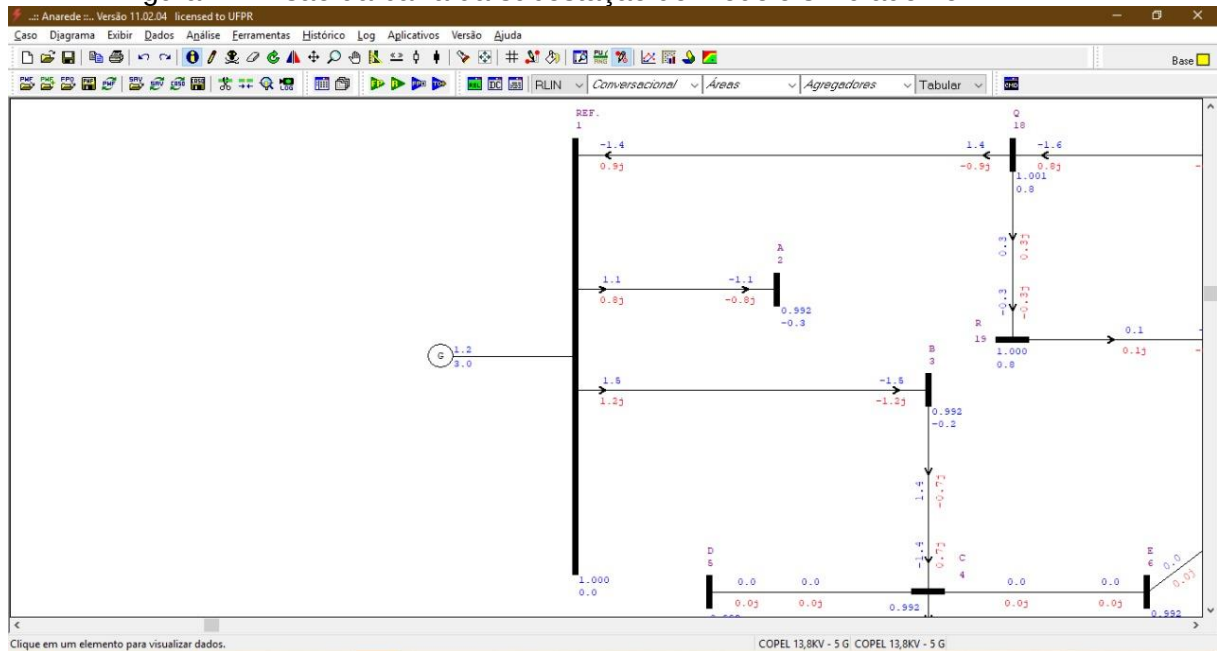
FONTE: IEEE.

Figura 11: Modelo simulado no ANAREDE (vista geral).



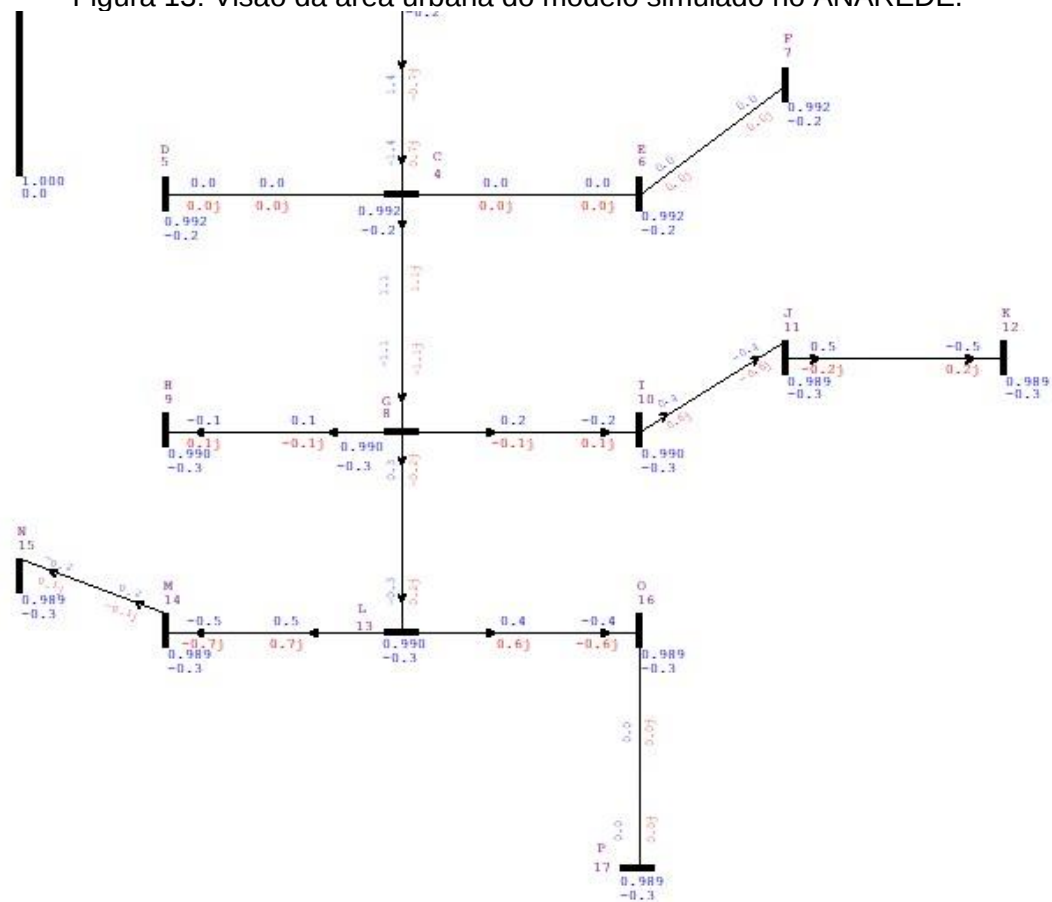
FONTE: Autores

Figura 12: Visão da barra da subestação do modelo simulado no ANAREDE



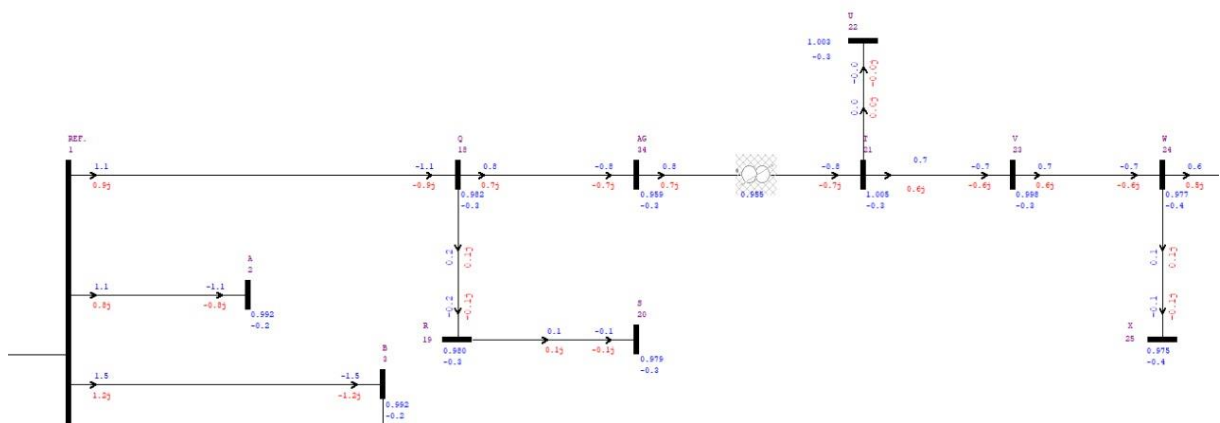
FONTE: Autores

Figura 13: Visão da área urbana do modelo simulado no ANAREDE.



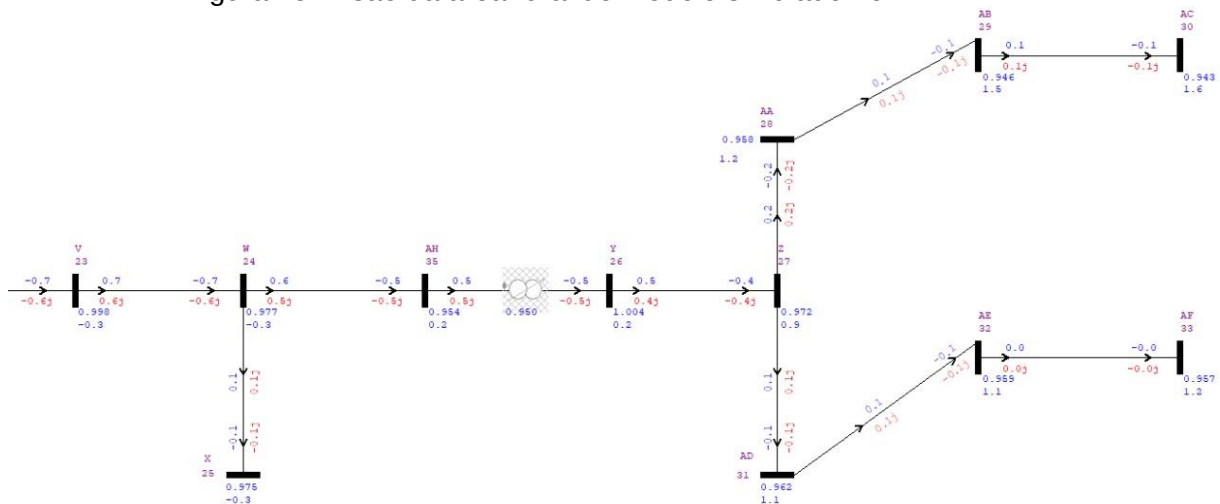
FONTE: Autores

Figura 14: Visão da transição da área urbana para a área rural do modelo simulado no ANAREDE.



FONTE: Autores

Figura 15: Visão da área rural do modelo simulado no ANAREDE.



FONTE: Autores

Para determinar os valores dos condutores provenientes da barra da subestação de 13,8 kV e das cargas utilizadas no sistema, retirou-se também da NTC Projeto de Redes de Distribuição Urbana, os dados da tabela 2, expostos pela Tabela 3, com os valores práticos de reatância e resistência, assim como da própria linha de distribuição.

Tabela 3: Dados utilizados como referência para determinação de condutores.

NTC	BITOLA AWG/MCM	RAIO MÉDIO GEOMÉT. A 60 Hz	RESISTÊNCIA		REATÂNCIA INDUTIVA A 60 Hz em Ω/km para Deq (Tab.01) em mm					
			A 25°C 60 Hz MÁXIMA	A 50°C 60 Hz MÁXIMA	MONOFÁSICO		TRIFÁSICO			
					2 FIOS					
		G (mm)	R 25°C (Ω/km)	R 50°C (Ω/km)	NORMAL N1-N2	NORMAL N3-N4	NORMAL N1-N2	NORMAL N3-N4	BECO B1-B2	BECO B3-B4
0553	02 CA	2,69	0,870	0,958	1800	1700	1090	1071	756	787
0555	2/0 CA	3,81	0,434	0,478	0,464	0,460	0,426	0,425	0,399	0,402
0556	4/0 CA	4,81	0,273	0,301	0,447	0,442	0,409	0,408	0,381	0,384
0558	336,4CA	6,40	0,173	0,190	0,425	0,421	0,387	0,386	0,360	0,363
0572	04 CAA	1,39	1,354	1,490	0,540	0,536	0,502	0,501	0,475	0,478
1	2	3	4	5	6					

FONTE: NTC 841001

Utilizando conhecimentos teóricos adquiridos em disciplinas cursadas durante a integralização do currículo do curso, assim como experiências profissionais, considerou-se que, na parte urbana do circuito, as cargas possuem uma distância de em torno de duzentos metros uma da outra e consideravelmente próximas à subestação da concessionária. Por outro lado, a região rural, além de estar situada mais longínqua da barra alimentadora, possui suas cargas mais afastadas entre si. A tabela 3 da seção Anexo deste trabalho, traz todos os valores utilizados.

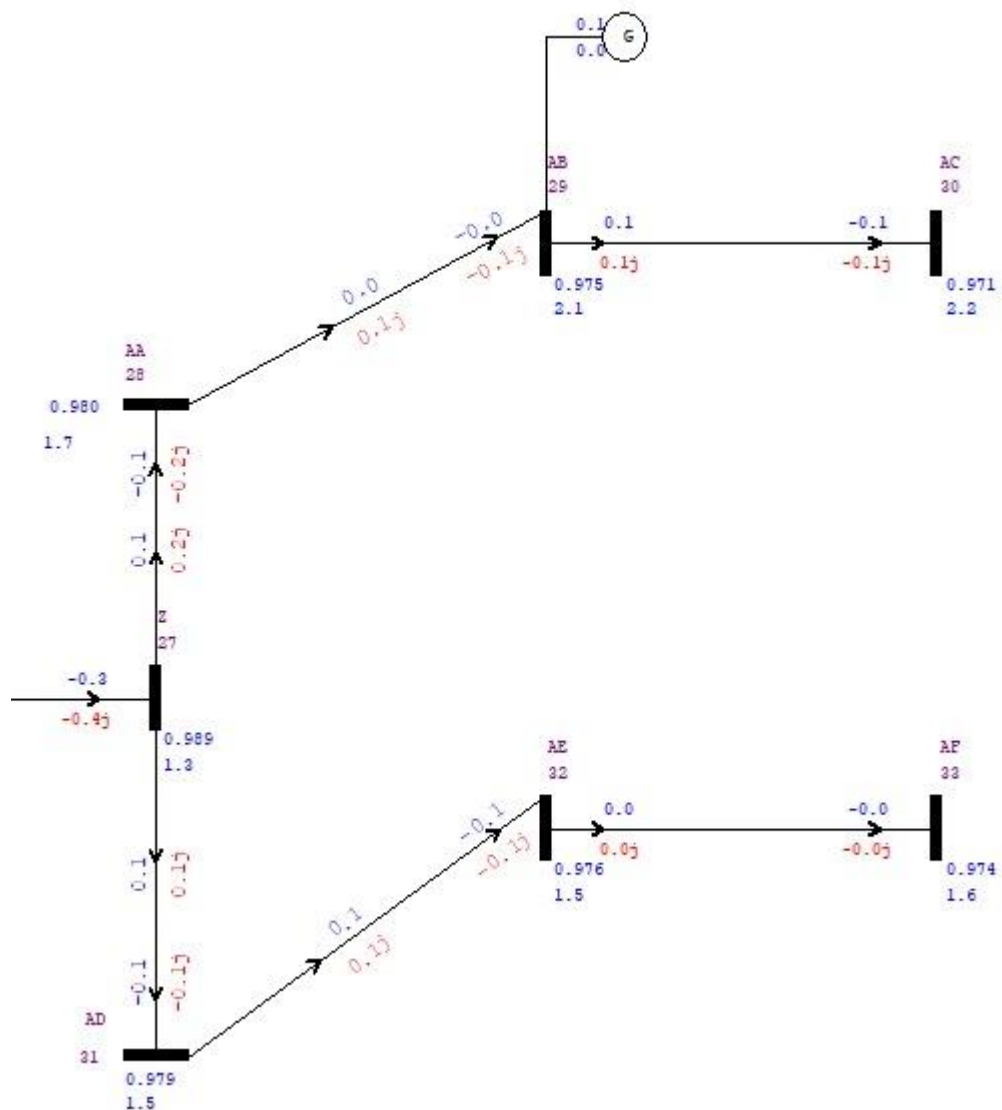
Para a definição dos parâmetros de cargas considerou-se três cenários:

1. Carga Leve: em horários de menor consumo. A somatória de todas as cargas é igual a 0,7 MVA;
2. Carga Média: Os valores de carga totalizam 2 MVA;
3. Carga Pesada: em horários de maior consumo de energia elétrica a somatória total considerada foi de 4 MVA.

Com intuito de trazer variedade de possíveis situações com um biodigestor implementado, simulou-se o circuito considerando uma variação na potência do sistema, realizando simulações com o gerador possuindo 0,1 e 0,2 MVA. A princípio o gerador do biodigestor foi implementado na barra 29, localizado na área rural do circuito, tendo suas cargas afastadas da barra da subestação. Porém, ao notar-se que

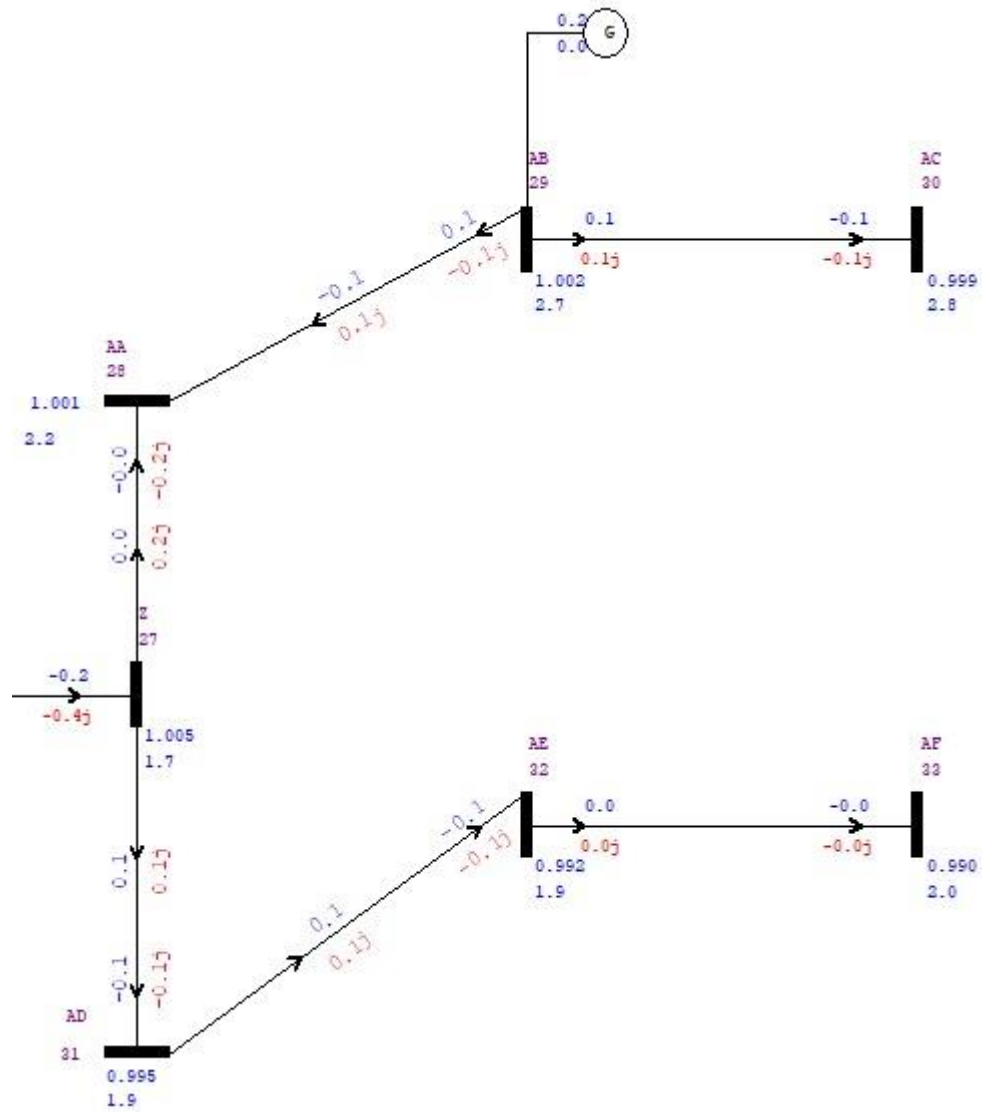
não ocorria uma variação de tensão suficiente para uma análise mais aprofundada, acrescentou-se mais um gerador de 0,2 MVA na barra 32 nos cenários de cargas leve e média, além de outros dois geradores de 0,2 MVA nas barras 32 e 33 para carga pesada – as figuras 16 a 19 mostram de forma aproximada como ficou o circuito com essas geradores acoplados. Após essas implementações, foi possível notar os efeitos das máquinas na rede elétrica. A inclusão destes outros geradores pode ser percebida na prática quando ocorre a instalação de geradores em propriedades rurais.

Figura 16: Circuito com gerador de 0,1 MVA acoplado na barra 29.



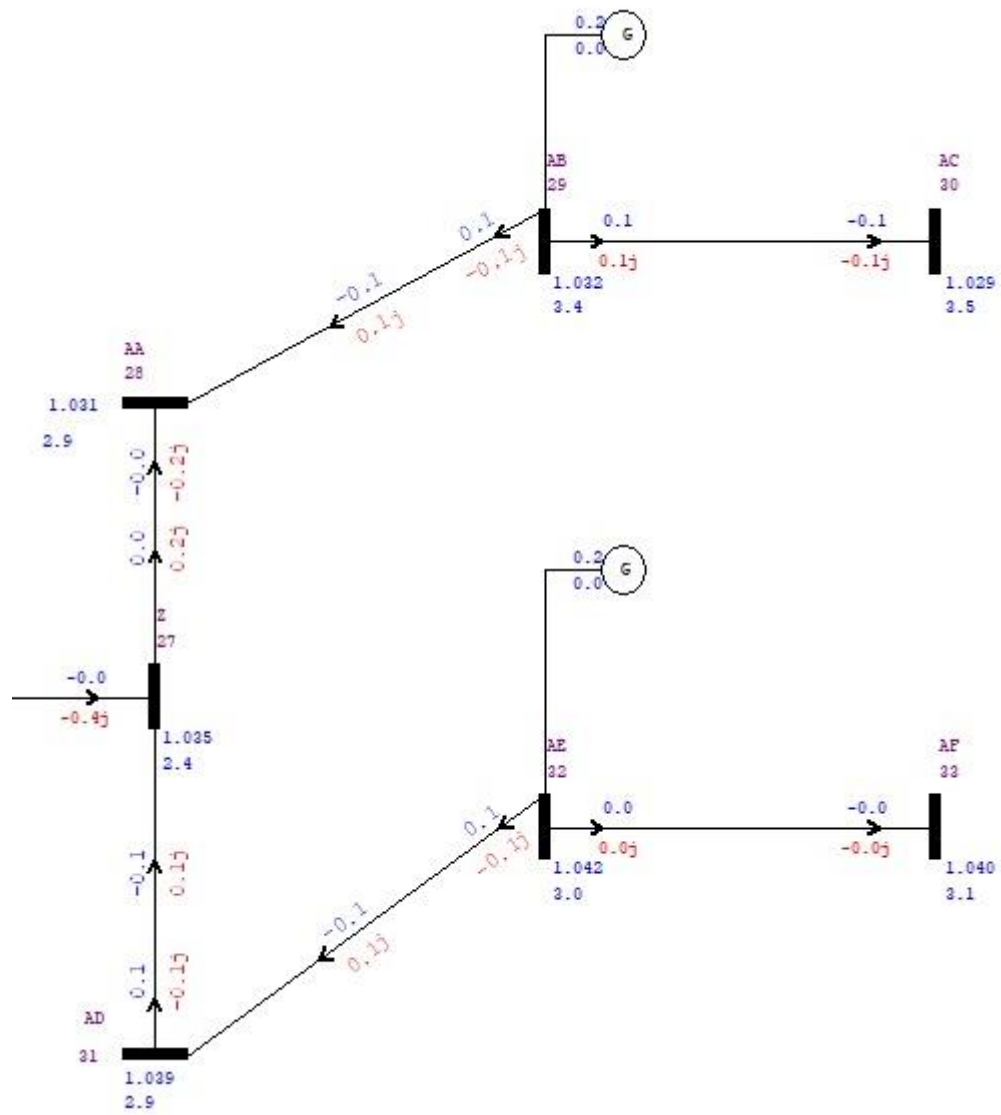
FONTE: Autores

Figura 17: Circuito com gerador de 0,2 MVA acoplado na barra 29.



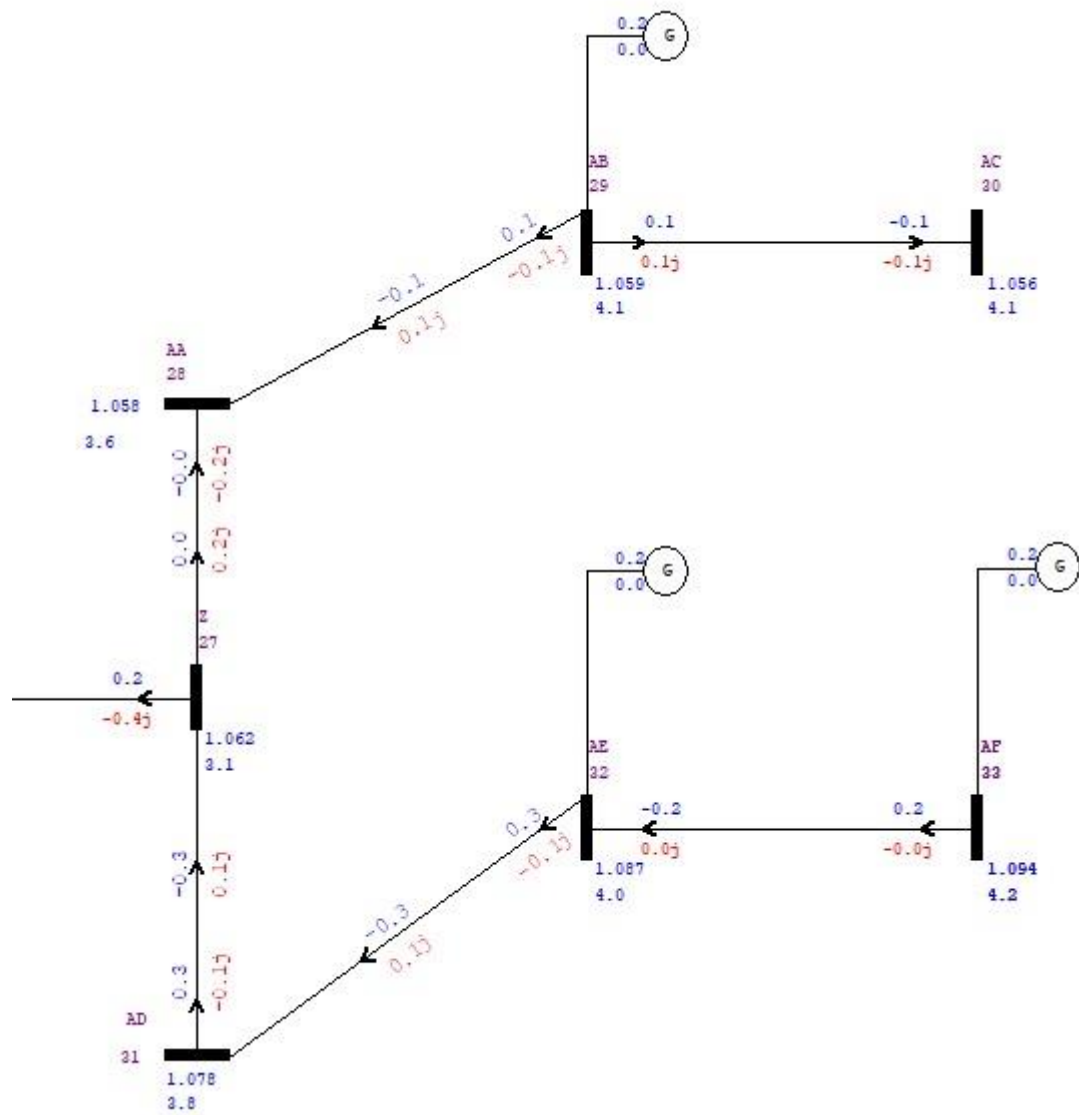
FONTE: Autores

Figura 18: Circuito com dois geradores de 0,2 MVA acoplados nas barras 29 e 32



FONTE: Autores

Figura 19: Circuito com três geradores de 0,2 MVA acoplados nas barras 29, 32 e 33.



FONTE: Autores

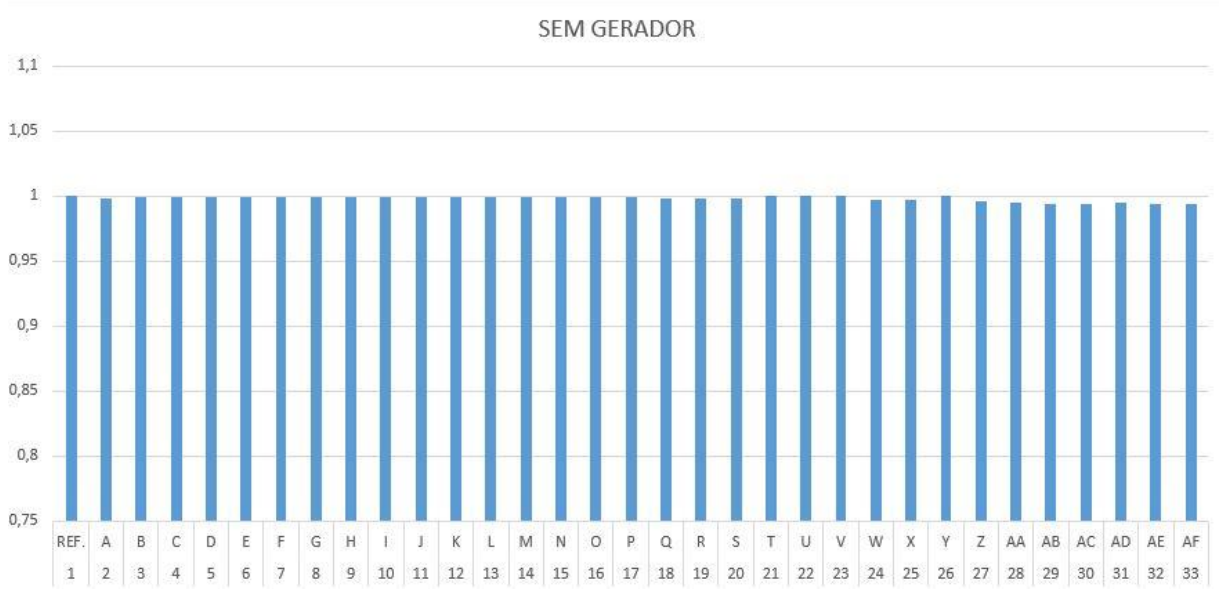
4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 IMPACTO NA REDE ELÉTRICA

4.1.1 Carga Leve

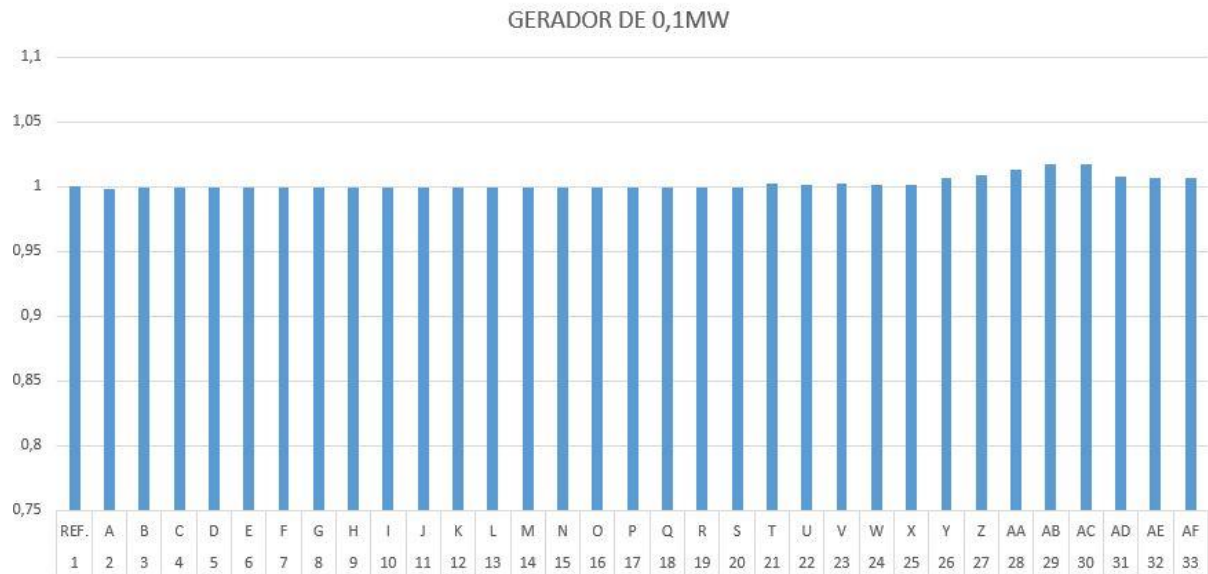
O primeiro cenário simulado considerou carga leve, primeiramente sem geração distribuída e após implementação do gerador, variando sua potência, assim como a quantidade de máquinas acopladas no circuito. Os gráficos das figuras 20 a 23 ilustram os resultados.

Figura 20: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga leve sem geração de energia.



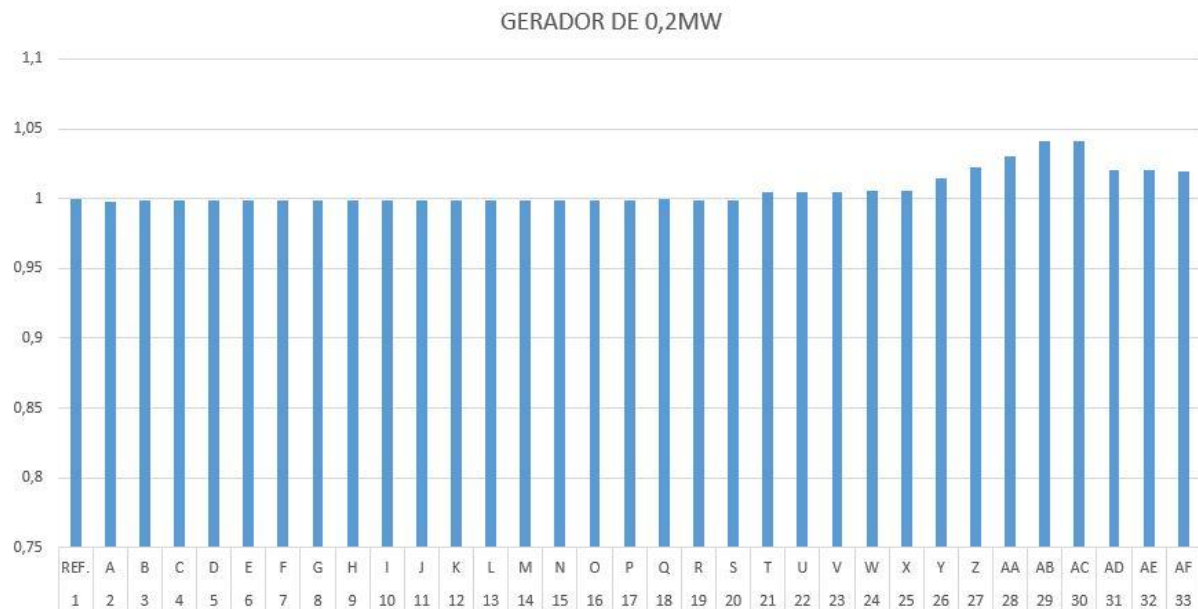
FONTE: Autores

Figura 21: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga leve com geração de energia de 0,1 MVA na barra 29.



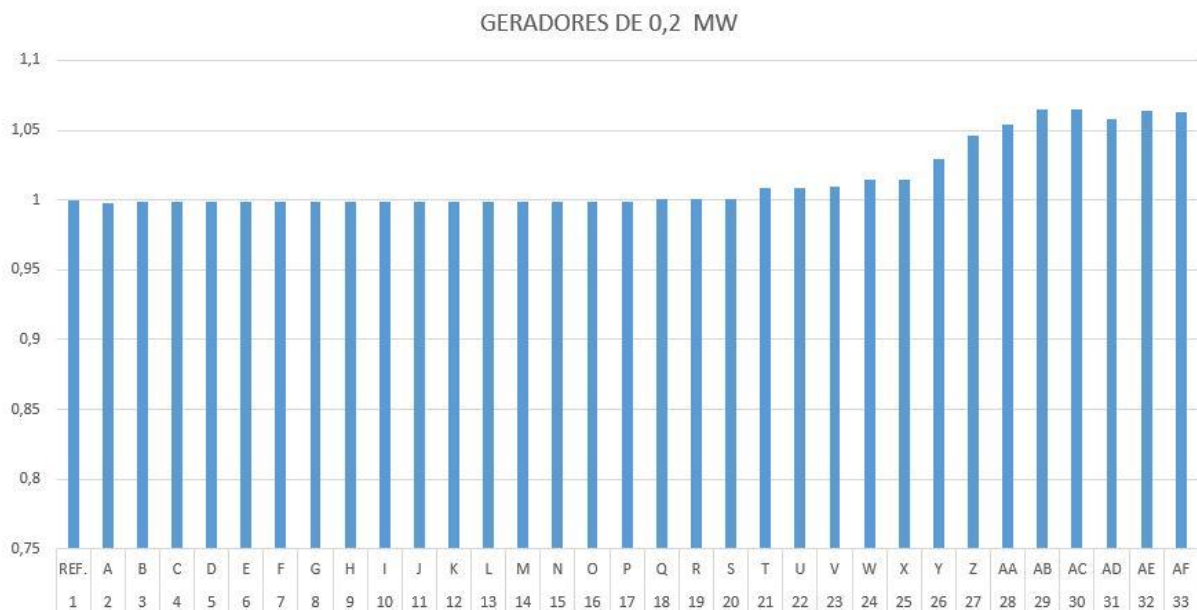
FONTE: Autores

Figura 22: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga leve com geração de energia de 0,2 MVA na barra 29.



FONTE: Autores

Figura 23: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga leve com geração de energia de 0,2 MVA nas barras 29 e 32.



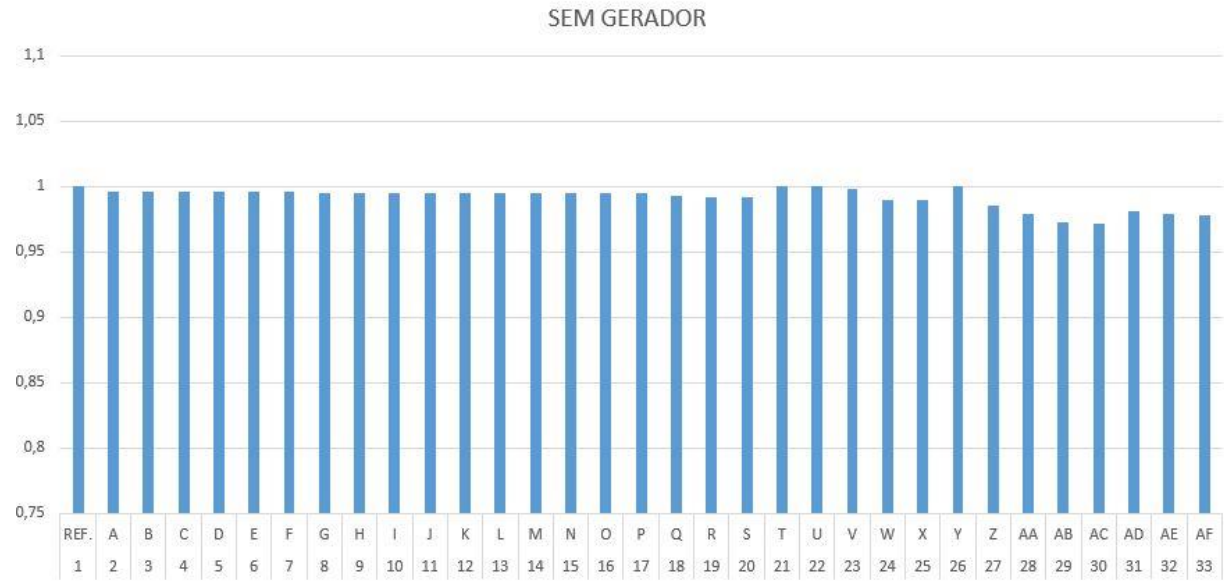
FONTE: Autores

É possível notar que, à medida em que vai se aumentando a potência do gerador, os níveis de tensão do sistema vão subindo. Nas três primeiras situações, em que há apenas um gerador no circuito, a tensão do sistema continua dentro dos critérios de variação permitidos pela ANEEL. Porém, ao implementar o segundo gerador de 0,2 MVA, o critério de 105% já é ultrapassado nas barras 28 a 33, justamente as que estão localizadas em áreas rurais, mais distantes da barra da subestação.

4.1.2 Carga Média

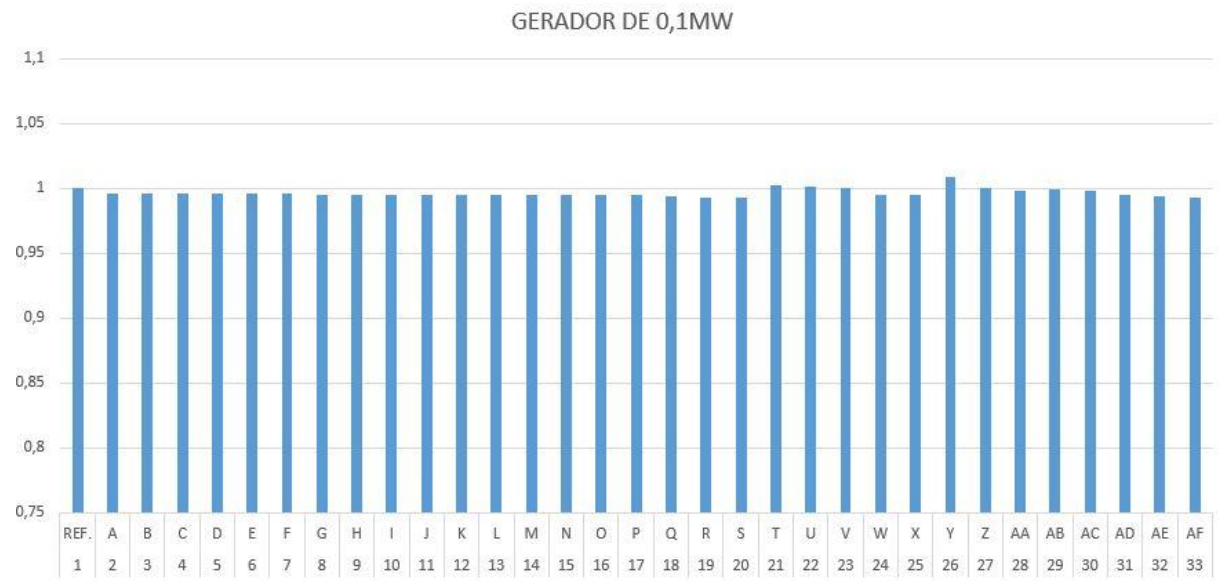
A segunda parte da simulação contemplou uma carga média, mantendo os mesmos princípios de variação de potência e quantidade de geradores. Os resultados obtidos encontram-se nos gráficos das figuras 24 a 27.

Figura 24: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga média sem geração de energia.



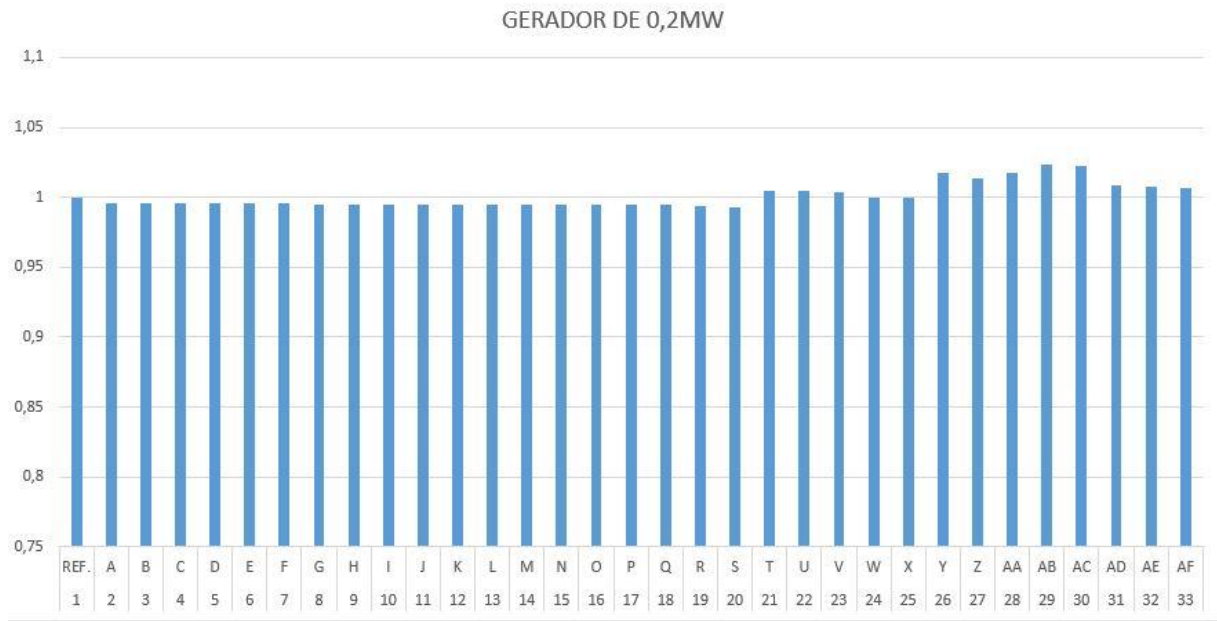
FONTE: Autores

Figura 25: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga média com geração de energia de 0,1 MVA na barra 29.



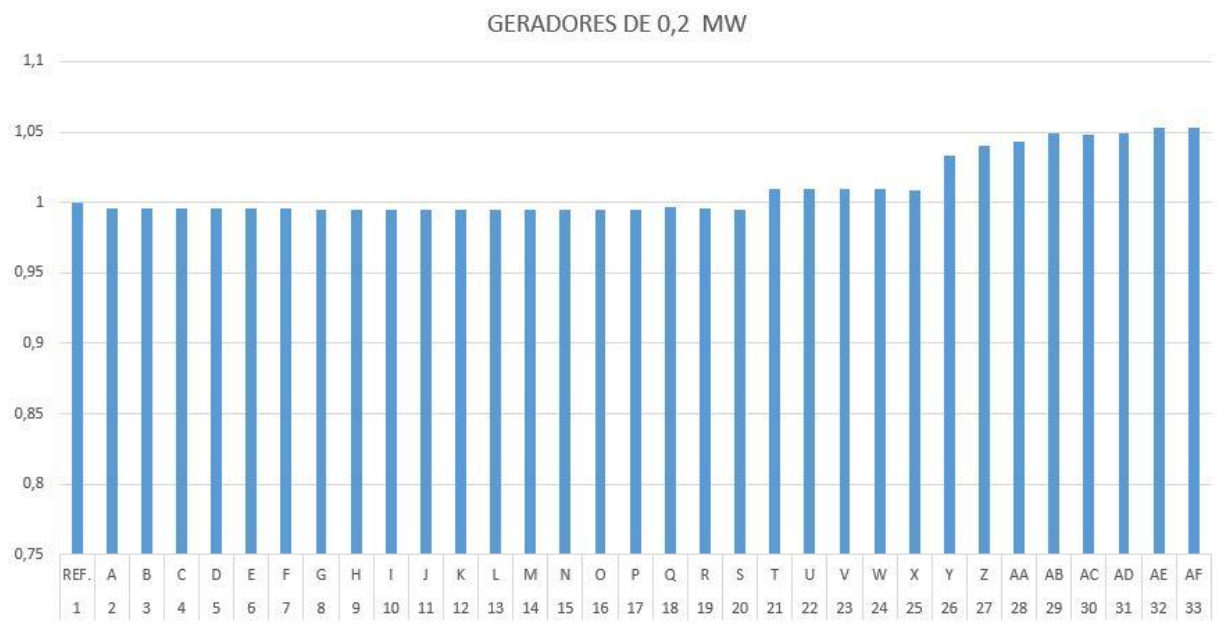
FONTE: Autores

Figura 26: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga média com geração de energia de 0,2 MVA na barra 29.



FONTE: Autores

Figura 27: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga média com geração de energia de 0,2 MVA nas barras 29 e 32.



FONTE: Autores

Observa-se que, apesar de algumas leves oscilações de tensão, até mesmo quando não há geração (ocasionadas pela implementação do BRT no circuito), para o cenário de carga média, o sistema já se mantém mais estável e praticamente não ultrapassa os critérios máximos de nível de tensão estipulados pela ANEEL.

4.1.3 Carga Pesada

Por fim, utilizando os mesmos critérios apresentados anteriormente, gerou-se os gráficos das figuras 28 a 32 para representar o circuito com uma carga pesada.

Figura 28: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga pesada sem geração de energia.



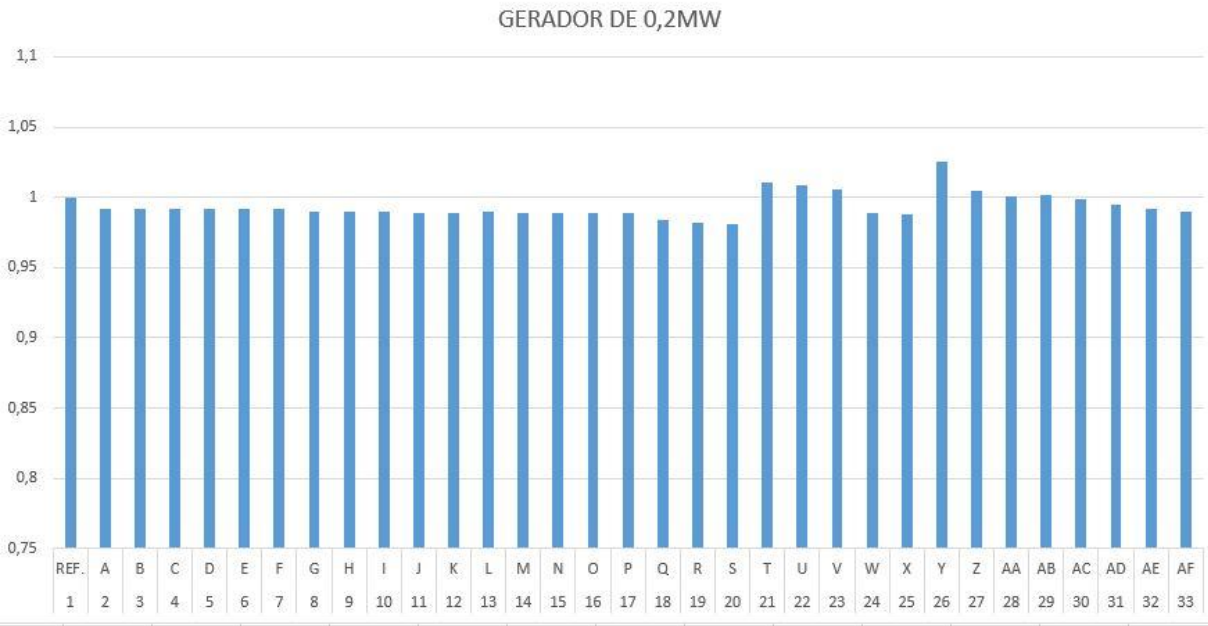
FONTE: Autores

Figura 29: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga pesada com geração de energia de 0,1 MVA na barra 29.



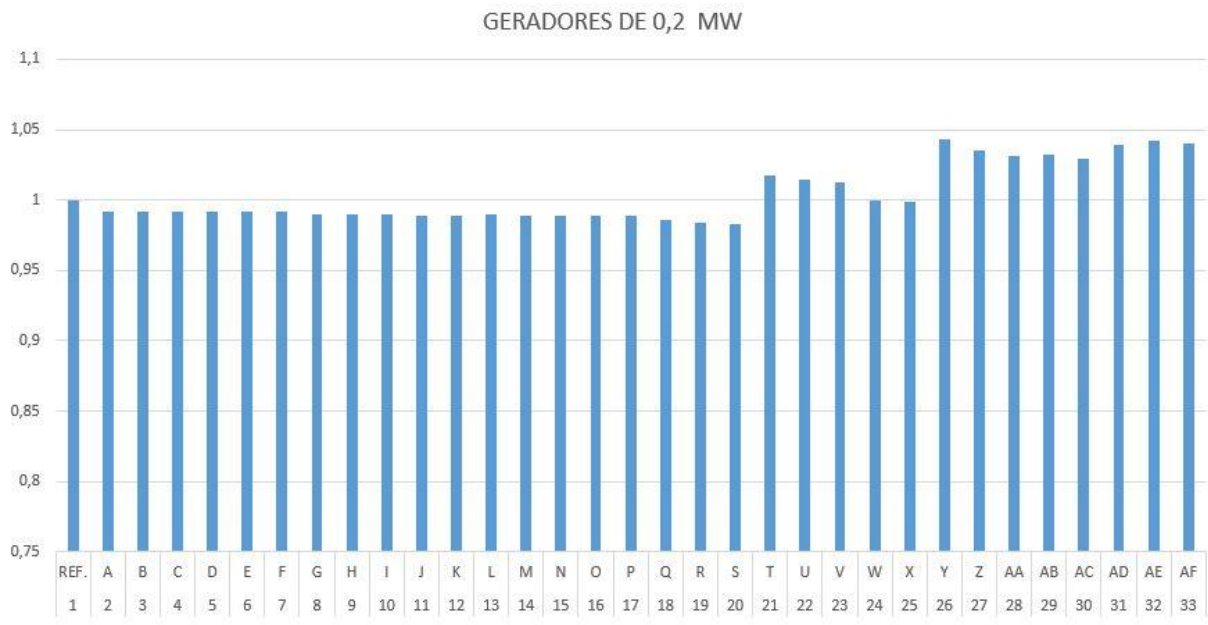
FONTE: Autores

Figura 30: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga pesada com geração de energia de 0,2 MVA na barra 29.



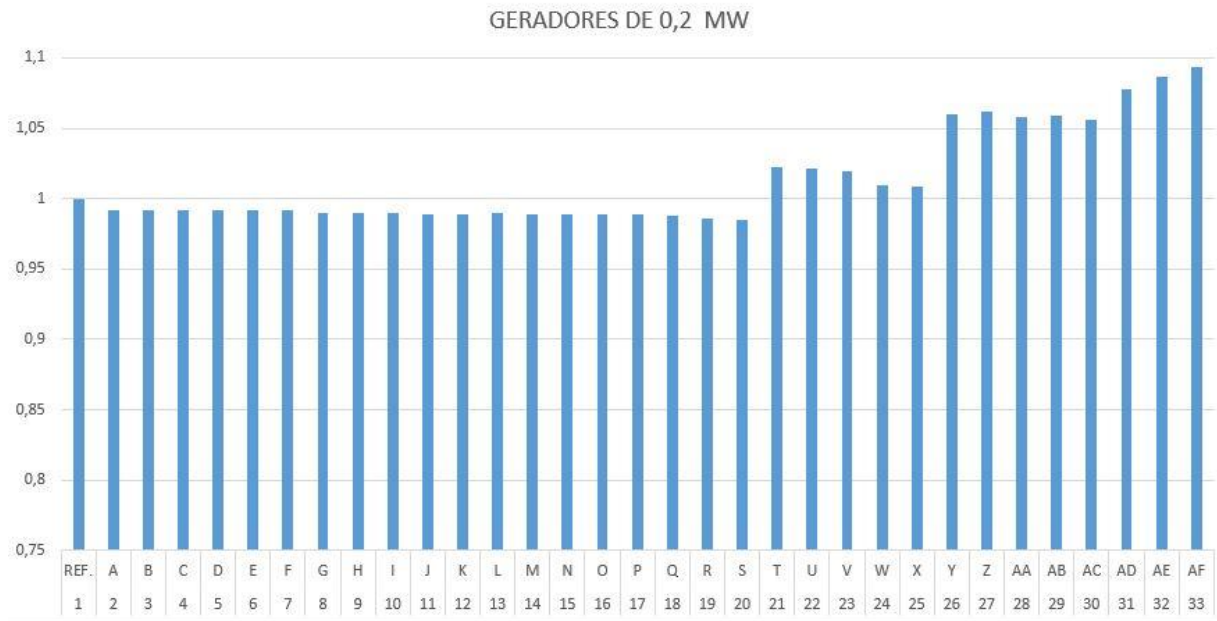
FONTE: Autores

Figura 31: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga pesada com geração de energia de 0,2 MVA nas barras 29 e 32.



FONTE: Autores

Figura 32: Valores de tensão em pu em cada barra do circuito considerando carga pesada com geração de energia de 0,2 MVA nas barras 29, 32 e 33.



FONTE: Autores

Com carga pesada foi possível implementar até três geradores de 0,2 MVA sem que os resultados estivessem fora da regulamentação da ANEEL de subtensão e sobretensão. Nota-se uma sobretensão quando há três geradores no sistema.

4.2 AVALIAÇÃO FINANCEIRA

4.2.1 Indicadores de viabilidade econômica

Para avaliação financeira da implementação de um biodigestor, será utilizado o seguinte parâmetro:

4.2.1.2 Payback

O método do PAYBACK consiste simplesmente na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido, ignorando as consequências além do período de recuperação e o valor do dinheiro no tempo (PAMPLONA, 1999).

4.2.2 Base de dados

Para realizar a análise financeira da implementação de um biodigestor, utilizam-se os dados de esgoto coletados pela Desentupidora Progresso no decorrer do ano de 2018 multiplicados por 10. Para determinar a quantidade de m³ de biogás que essa quantidade de lodo consegue produzir, emprega-se a proporção de 1 m³ de lodo igual a 4,15 m³ de biogás, segundo orientação do Prof. Ph. D. André Bellin Mariano. Varia-se, dentro das literaturas, o valor da proporção do m³ de biogás em kWh, por isso aplicar-se-á uma média entre o melhor e o pior cenário das variações encontradas. A tabela 4 apresenta os valores de lodo coletados por mês e já transformados em biogás e, posteriormente, em geração de energia.

Tabela 4: valores de lodo coletados por mês e já transformados em biogás.

MÊS	M ³ LODO	M ³ BIOGÁS	COLDBELLA (kWh)	FEN (kWh)	FEN (kWh)	COLATTO E LANGER (kWh)	CIBIOGÁS (kWh)	MÉDIA GERAÇÃO (kWh)
			0,67	1,25	1,43	1,3	1,4	1,21
<i>Janeiro</i>	660	2739	1725,57	3423,75	3916,77	3560,7	3834,6	3314,19
<i>Fevereiro</i>	480	1992	1254,96	2490	2848,56	2589,6	2788,8	2410,32
<i>Março</i>	290	1203	757,89	1503,75	1720,29	1563,9	1684,2	1455,63
<i>Abril</i>	450	1867	1176,21	2333,75	2669,81	2427,1	2613,8	2259,07
<i>Maio</i>	780	3237	2039,31	4046,25	4628,91	4208,1	4531,8	3916,77
<i>Junho</i>	620	2573	1620,99	3216,25	3679,39	3344,9	3602,2	3113,33
<i>Julho</i>	520	2158	1359,54	2697,5	3085,94	2805,4	3021,2	2611,18
<i>Agosto</i>	530	2199	1385,37	2748,75	3144,57	2858,7	3078,6	2660,79
<i>Setembro</i>	660	2739	1725,57	3423,75	3916,77	3560,7	3834,6	3314,19
<i>Outubro</i>	700	2905	1830,15	3631,25	4154,15	3776,5	4067	3515,05
<i>Novembro</i>	860	3569	2248,47	4461,25	5103,67	4639,7	4996,6	4318,49
<i>Dezembro</i>	1100	4565	2875,95	5706,25	6527,95	5934,5	6391	5523,65
<i>Médias</i>	640	2656	1673,28	3320	3798,08	3452,8	3718,4	3213,76

FONTE: Autores.

Para determinação do payback, será utilizada a equação 1:

$$\text{Payback} = \text{ano antes da recuperação total} + \frac{\text{custo não recuperado do início do ano}}{\text{fluxo de caixa durante o ano}} \quad (1)$$

Para esse cálculo, estabelece-se os seguintes critérios da tabela 4. O valor de kWh gerado pela quantidade de biogás utilizado é a média entre as diversas relações encontradas na literatura, conforme tabela 3.

Tabela 5: Critérios utilizados para o cálculo do payback.

CRITÉRIOS	
INVESTIMENTO INICIAL	-R\$ 200.000,00
VALOR kWh	R\$ 0,69779000
CONSUMO kWh MÊS	3000,00 kWh
GASTO MENSAL	R\$ 2.093,37
GASTO ANUAL	R\$ 25.120,44
ECONOMIA MENSAL	R\$ 2.242,53
ECONOMIA ANUAL	R\$ 26.910,36
SALDO ANUAL	R\$ 1.789,92

FONTE: Autores.

Com esses critérios estabelecidos, através da equação, encontrou-se o tempo necessário para que esse projeto tenha retorno, conforme tabela 6.

Tabela 6: Cálculo do payback.

PERÍODO (ANOS)	1	2	3	4
SALDO DEVEDOR	-R\$ 200.000,00	-R\$ 173.089,64	-R\$ 146.179,29	-R\$ 119.268,93
ENTRADA	R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36
SALDO	-R\$ 173.089,64	-R\$ 146.179,29	-R\$ 119.268,93	-R\$ 92.358,58
5	6	7	8	9
-R\$ 92.358,58	-R\$ 65.448,22	-R\$ 38.537,87	-R\$ 11.627,51	R\$ 15.282,84
R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36	R\$ 26.910,36
-R\$ 65.448,22	-R\$ 38.537,87	-R\$ 11.627,51	R\$ 15.282,84	R\$ 42.193,20

FONTE: Autores

Portanto, considerando esses valores de m³ de biogás e de kWh, além dos valores determinados de investimento inicial e consumo, o payback do projeto seria de 7 anos e 5 meses.

5 CONCLUSÃO

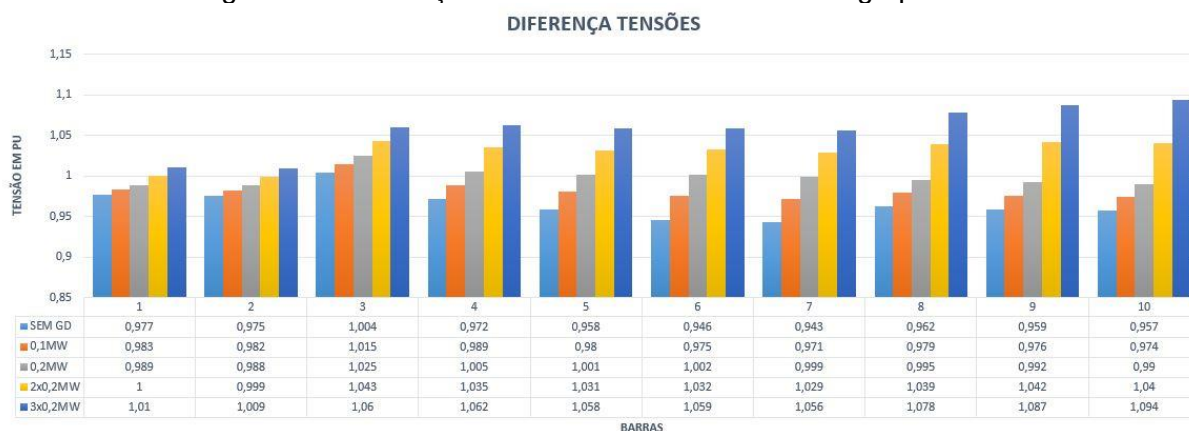
Para essa análise de implementação de um biodigestor foi utilizado um modelo de alimentador com partes urbana e rural. Como os condutores em áreas rurais possuem menor diâmetro e maiores distâncias – entre o alimentador e as próprias cargas – a resistência e a reatância do sistema eram muito altas, ocasionado problemas de subtensão.

Para solucionar esse problema primeiro tentou-se aumentar a largura dos condutores e diminuir as distâncias das cargas. Apesar do resultado ser positivo, a proposta de simular um cenário real acabava sendo ignorada, pois as concessionárias, por questão financeira, utilizam condutores finos para áreas de grande extensão.

A fim de manter a verossimilidade do cenário estudado, implementou-se um banco regulador de tensão – recurso utilizado pelas concessionárias para evitar a queda de tensão em alimentadores muito grandes, sem ter a necessidade de alterar o tamanho dos condutores de energia elétrica. Com a inclusão do BRT, solucionou-se o problema de subtensão do sistema e assim simulou-se alguns cenários com variação de geração no circuito.

Para analisar o caso do sistema com carga pesada, a figura 33 resume os níveis de tensão em pu em cada caso simulado. Considera-se no eixo X que 1 representa a barra 24, 2 a barra 25 e assim por diante.

Figura 33: Diferença de tensões em cenário de carga pesada.

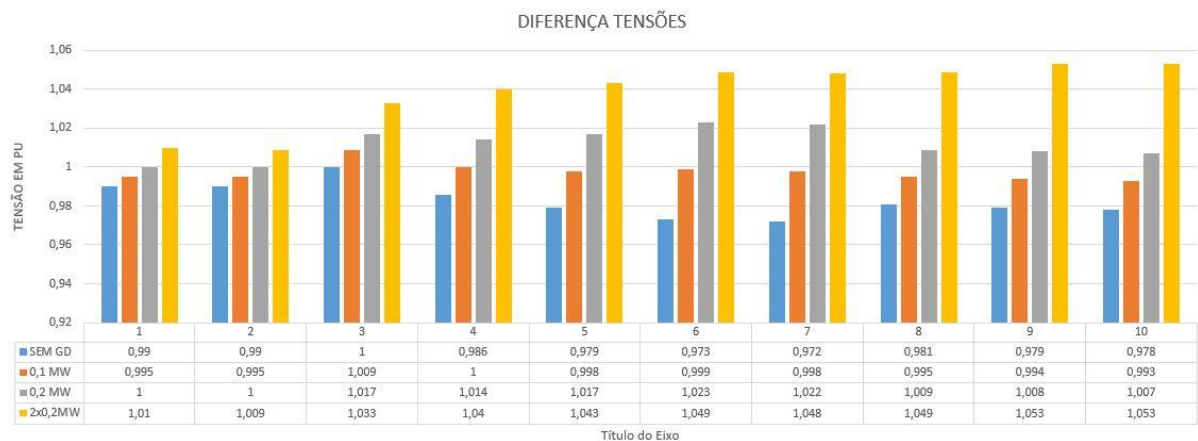


FONTE: Autores

Quando não há geração, a variância do sistema entre as barras 24 a 33 é bem pequena. Ao implementar um gerador, de 0,1 ou 0,2 MVA, os níveis de tensão se mantêm adequados e dentro das normas estabelecidas pela ANEEL. Quando se acresce de mais um gerador, o sistema fica no limite para se manter dentro dos limites máximos de tensão. Ao implementar mais um gerador, todas as barras da área rural já ultrapassam o limite máximo de 105% de tensão.

Para analisar o caso do sistema com carga média, a figura 34 resume os níveis de tensão em pu em cada caso simulado. Considera-se no eixo X que 1 representa a barra 24, 2 a barra 25 e assim por diante.

Figura 34: Diferença de tensões em cenário de carga média

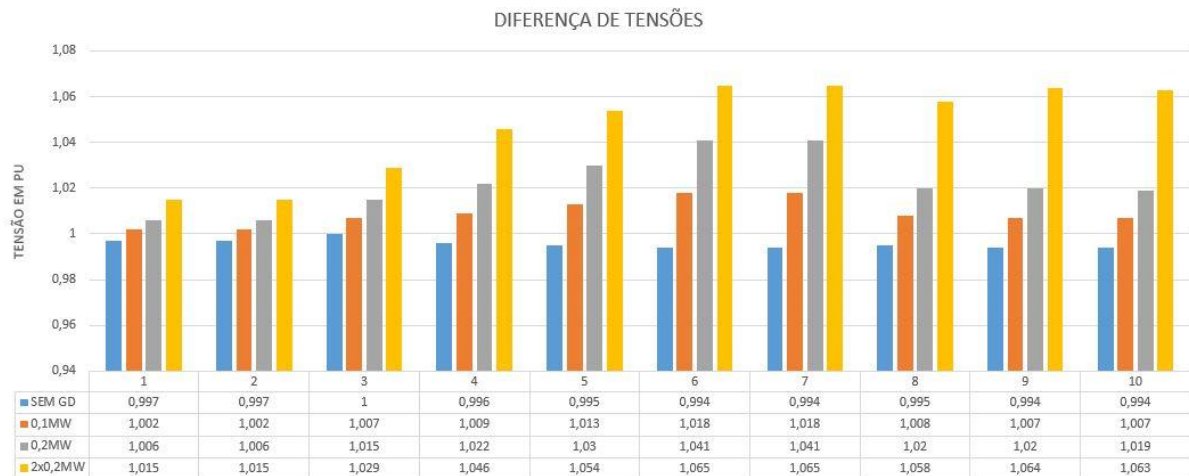


FONTE: Autores

Observa-se que, mesmo com a implementação do gerador, seja de 0,1 ou 0,2 MVA, os níveis de tensão permanecem dentro dos patamares permitidos pela ANEEL. Após incluir mais um gerador, os resultados continuam dentro dos critérios estabelecidos por norma.

Para analisar o caso do sistema com carga leve, a figura 35 resume os níveis de tensão em pu em cada caso simulado. Considera-se no eixo X que 1 representa a barra 24, 2 a barra 25 e assim por diante.

Figura 35: Diferença de tensões em cenário de carga leve.

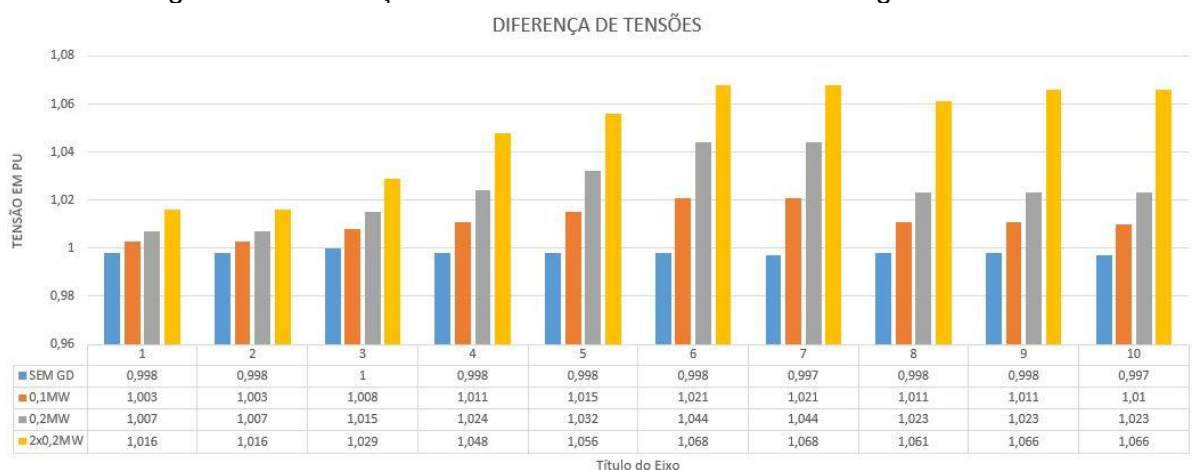


FONTE: Autores

Ao analisar o cenário com carga leve, verifica-se que esse é o pior cenário dentre os analisados. Apesar de não ocorrer problemas de subtensão em nenhuma das hipóteses simuladas, em diversas barras há problema de sobretensão quando é acoplado o segundo gerador de 0,2 MVA.

Considerando esses três cenários, fica evidente a influência que os patamares de carga em cada barra têm sobre a potência gerada. A medida em que as cargas vão diminuindo, acaba tornando-se prejudicial a injeção de potências mais elevadas no sistema, pois a rede fica mais suscetível ao problema de sobretensão. Simulou-se um cenário de meia carga leve para comprovar essa afirmação, conforme mostra a figura 36. Para esse caso, os níveis de tensão também em pu em cada caso simulado e considera-se no eixo X que 1 representa a barra 24, 2 a barra 25 e assim por diante.

Figura 36: Diferença de tensões em cenário de meia carga leve



FONTE: Autores

Percebe-se que os níveis de sobretensão são ainda maiores que no cenário de carga leve, confirmando a influência dos patamares de carga no sistema.

Considerando as análises gráficas das simulações e o tempo de retorno financeiro para implementação de um biodigestor, conclui-se que não são todas as situações viáveis. O payback ocorre com mais de 7 anos após o projeto ser implementado e há a necessidade de verificação dos níveis de cargas do alimentador, com intuito de manter os níveis de tensão adequados. Porém, há de se levar em conta situações em que o cliente pode injetar a potência a mais gerada de volta para a concessionária ou até mesmo em uma compensação compartilhada. Há diversos casos de sucesso de produtores rurais que utilizaram dejetos animais – até então sem utilidade – para gerar energia para toda sua propriedade e até mesmo em geração compartilhada, além da produção de biofertilizantes. Aliando isso ao novo pensamento mundial da utilização de fontes renováveis para geração de energia, o biodigestor pode ser considerado uma excelente opção para produção de energia.

REFERÊNCIAS

ABES. **Ranking ABES da Universalização do Saneamento**. Ed. 2019.

Alves, J.W.S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**, 2000.

ANEEL. **Resolução Normativa 482**. 2012.

BARICHELO, R. **O uso de biodigestores em pequenas propriedades e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso da região noroeste do Rio Grande do Sul**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, área de concentração em Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: 06 ago<http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/12/TDE-2011-02-10T093205Z-3033/Publico/BARICHELO,%20RODRIGO.pdf>.

BGS. **História do biogás**. <<https://www.bgsequipamentos.com.br/historia-do-biogas/>> Acesso em: 22 setembro 2019.

Boletim Enfoque. **Biodigestor “PE”, fonte alternativa energética e de biofertilizantes**. Recife, 1999.

CEPEL. **ANAREDE: Análise das redes elétricas**. 2019. <http://www.cepel.br/pt_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm10/09/2019>. Acesso em 19 out. 2019

CHUCO, Braulio; **Otimização da potência de operação em sistema isolado fotovoltaico usando técnicas de inteligência artificial**. Dissertação; Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

Classen, P.A.M; Lier, J.B.; Stamrs, A.J.M. **Utilization of biomass for supply of energy**,1999.

CONDOMÍNIOS VERDES. **Condomínio no Paraná transforma lixo orgânico em gás de cozinha**. 2016. <<https://www.condominiosverdes.com.br/condominio-no-parana-transforma-lixo-organico-em-gas-de-cozinha/>> Acesso em: 06 set. 2019

COPEL. **Norma Técnica 84.1001**: Projeto de Redes de Distribuição Urbana. 3ª Ed. Dez 1999.

COPEL. **Norma Técnica 905.200**: Acesso de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema COPEL. Paraná, 2014.

COPEL. **Sobre a COPEL**. <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ffacopel%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F01C009432D735E57032573FA00687CC4>>. Acesso em: 26 out. 2019

COSTA. Davi Ferreira. **Geração de Energia Elétrica a partir do biogás do tratamento do esgoto**. Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia PIPGE. Universidade de São Paulo. 2006.

Deganutti, R.; Palhaci, M. C. J. P.; Rossi, M.; Tavares, R. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**, 2002.

ECOTIPPINGPOINTS. **China – Biogás**. Novembro 2010. <http://www.ecotippingpoints.org/our-stories/indepth/china-biogas.html>. Acesso em: 26 out. 2019

IBGE. AGÊNCIA DE NOTÍCIAS. **PNAD Contínua: abastecimento de água aumenta no Centro-Oeste em 2018, mas se mantém abaixo do patamar de 2016**. <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24532-pnad-continua-abastecimento-de-agua-aumenta-no-centro-oeste-em-2018-mas-se-mantem-abaixo-do-patamar-de-2016>>. Acesso em 03 set. 2019.

INDIAMART. **Biogas Plants**. <<https://www.indiamart.com/proddetail/biogas-plants-13823968912.html>> Acesso em 01 out. 2019

ITAIPU. Colombari comprova vantagens do biogás. 2010. <<https://www.itaipu.gov.py/sala-de-imprensa/noticia/colombari-comprova-vantagens-do-biogas>>. Acesso em 20 out 2019

Junior, A. B. C. **Simulação do comportamento de um resíduo modelo em aterro sanitário e estudo da evolução bio-físico-química**. São Paula, 2000.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Oferta Interna de Energia Elétrica do Brasil dos anos de 2017 e 2018**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Ener%C3%A7tica+Brasileira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2019+v2.pdf/66a837a8-4164-4b37-be4a-59a5ad270c50?version=1.0%20>>. Acesso em 13 agosto 2019.

Nogueira, L.A.H. **Biodigestão, a alternativa energética**. Editora Nobel, São Paulo, 1986.

Oliveira, L. R. P. **Biodigestor**, 2005.

Pecora, Vanessa – **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso**, 2006.

PEREIRA, P. R. (2009). **Métodos para Otimização dos Ajuste dos Reguladores de Tensão e Zonas de tap em Sistema de Distribuição**. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Curso de Mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Santa Maria, RS.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **O biogás se consolida como uma commodity ambiental**. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/2016-foi-o-melhor-ano-da-historia-do-biogas-no-brasil/>. Acesso em: 28 de set. 2019

PRATI, L.. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 2010. Monografia (Bacharelado) – Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2010.

REVISTA EXAME. **Cobertura de água e esgoto no Brasil é pior que no Iraque**. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/cobertura-de-agua-e-esgoto-no-brasil-e-pior-que-no-iraque/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

SECCHI, Rafael Arnaldo Sulzbach. **Geração de energia elétrica a partir do biogás**. Monografia. Curso de Engenharia Mecânica. Faculdade Horizontina. Horizontina, 2014.

SZUVOVIVSKI, I. (2008). **Alocação Simultânea de Bancos de Capacitores e Reguladores de Tensão em Sistemas de Distribuição Usando Algoritmos Genéticos e Fluxo de Potência ótimo**. Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Engenharia Elétrica, Curitiba

TR SOLIDOS. Funcionamento de um biodigestor alemão. Disponível em: <<http://www.trsolidos.com/2012/11/funcionamento-de-um-biodigestor-alemao.html>> Acesso em: 11 out. 2019

Wereko-Brobby, C. Y., Hagen, E.B. – **Biomass conversion and technology**, 2000.

ANEXOS

DE	PARA	CABO	DISTÂNCIA [km]	Rca - %pu	Xl - %pu
1	2	336,4	3	29,93068683	60,96408318
1	3	336,4	2	19,95379122	40,64272212
3	4	336,4	0,1	0,997689561	2,032136106
4	5	336,4	0,2	1,995379122	4,064272212
4	6	336,4	0,25	2,494223903	5,080340265
6	7	336,4	0,4	3,990758244	8,128544423
4	8	336,4	0,6	5,986137366	12,19281664
8	9	336,4	0,5	4,988447805	10,16068053
8	10	336,4	0,45	4,489603025	9,144612476
10	11	336,4	0,6	5,986137366	12,19281664
11	12	336,4	0,15	1,496534342	3,048204159
8	13	336,4	0,2	1,995379122	4,064272212
13	14	336,4	0,5	4,988447805	10,16068053
14	15	336,4	0,45	4,489603025	9,144612476
13	16	336,4	0,65	6,484982147	13,20888469
16	17	336,4	0,75	7,482671708	15,24102079
1	18	4/0	3	47,41650914	64,42974165
18	19	4/0	1	15,80550305	21,47658055
19	20	4/0	2	31,61100609	42,9531611
18	21	4/0	5	79,02751523	107,3829028
21	22	4/0	4	63,22201218	85,9063222
21	23	4/0	1	15,80550305	21,47658055
23	24	4/0	2	31,61100609	42,9531611
24	25	4/0	1	15,80550305	21,47658055
24	26	2/0	2	50,19953791	44,73850032
26	27	2/0	1	25,09976896	22,36925016
27	28	2/0	1	25,09976896	22,36925016
28	29	2/0	2	50,19953791	44,73850032
29	30	2/0	1	25,09976896	22,36925016
27	31	2/0	2	50,19953791	44,73850032
31	32	2/0	1	25,09976896	22,36925016
32	33	2/0	2	50,19953791	44,73850032

TABELA 3: Dados utilizados para calcular a reatância e a resistência da linha, através dos valores de distâncias e tipos de cabo em um circuito de 13,8 kV.