

ETE

**GUIA TÉCNICO SOBRE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
DE ENERGIA ELÉTRICA
POR BIOGÁS EM ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

The logo consists of a square with a thin black border. Inside the square, the letters "ETE" are written in a bold, black, sans-serif font, centered horizontally and vertically.

ETE

**GUIA TÉCNICO SOBRE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
DE ENERGIA ELÉTRICA
POR BIOGÁS EM ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Coletânea de publicações do PROBIOGÁS
Série Aproveitamento Energético de Biogás
em Estações de Tratamento de Esgoto

1ª Edição
Ministério das Cidades
Brasília, 2017

República Federativa do Brasil

Presidente da República

Michel Temer

Ministro das Cidades

Bruno Araújo

Secretário Executivo do Ministério das Cidades

Luciano Oliva Patrício

Secretário Nacional de Saneamento Ambiental

Alceu Segamarchi

Chefe de Gabinete

Gustavo Zarif Frayha

Diretor de Planejamento e Regulação

Ernani Ciríaco de Miranda

Diretora de Repasses a Projetos de Saneamento

Roberta Sampaio Soares

Diretor de Financiamento de Projetos de Saneamento

Sérgio Wippel

Apoio Técnico

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Diretor Nacional: Wolf Michael Dio

Coordenador do Projeto: Wolfgang Roller

Informações legais

As ideias e opiniões expressas neste livro são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério das Cidades, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

A duplicação ou reprodução de todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o projeto PROBIOGÁS seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do Ministério das Cidades e da GIZ.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação [CIP]

Bibliotecário Responsável: Illy Guimarães B. Batista [CRB/DF 2498]

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás.

Guia técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em ETES / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]; autores, Elson Costa Gomes ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

109 p. : il. – [Aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto; 3]

ISBN 978-857-958-070-3

1. Biogás em estações de tratamento de esgoto – Brasil. 2. Biogás – saneamento ambiental – Brasil. 3. Biogás – produção e utilização – Brasil. 4. Energia elétrica – produção e utilização – Brasil. 5. Biogás – aspectos tecnológicos. 6. Geração distribuída – Brasil. 7. Sistema de Compensação de Energia Elétrica – Brasil. 8. Energia – fontes alternativas. I. Ministério das Cidades. II. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]. III. Gomes, Elson Costa. IV. Título. V. Série.

CDD 665.776

CDU 662.767.2



Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

www.cidades.gov.br/probiogas

O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – é um projeto inovador, fruto da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e o Governo Alemão, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Com o objetivo de contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de gases indutores do efeito estufa, o projeto conta com uma rede de parcerias nas esferas governamental, acadêmica e empresarial e tem vigência entre os anos de 2013 e 2017.

Para alcançar tais objetivos, o PROBIOGÁS desenvolve atividades em três linhas: (1) *condições-quadro*, atuando junto a órgãos governamentais em prol da melhoria das condições regulatórias relacionadas à produção de energia a partir do biogás; (2) *cooperação científica*, aproximando instituições de ensino e de pesquisa brasileiras entre si e das alemãs; e, (3) *cadeia de valor*, com o intuito de fomentar a indústria brasileira para produção nacional de tecnologia e de aproximar empresas brasileiras e alemãs para o intercâmbio de conhecimento. Além dessas atividades, o PROBIOGÁS busca capacitar profissionais brasileiros em diversos níveis, contemplando os atores que integram a cadeia de biogás e objetivando fortalecer o mercado de biogás no Brasil.

A realização da parceria Brasil-Alemanha possibilita a transferência do conhecimento e da experiência alemã sobre o aproveitamento do biogás gerado a partir do tratamento de efluentes e de resíduos, cuja *expertise* é reconhecida mundialmente. Neste contexto, o PROBIOGÁS assume papel relevante, indutor do desenvolvimento de tecnologias nacionais para o aproveitamento do biogás, possibilitando um retorno positivo para o setor de saneamento básico no Brasil, em função do potencial de incremento na viabilidade técnica e econômica das plantas e instalações de tratamento de esgotos e de resíduos sólidos, a partir da geração de energia proveniente dos processos de biodegradação da fração orgânica.

Para melhor inserir o Projeto nas políticas nacionais, foi criado um Comitê Gestor interministerial com a função de assegurar a integração entre as diversas áreas do Governo Federal com atuação no tema. O Comitê é formado pelos seguintes órgãos: Ministério das Cidades, do Meio Ambiente, da Ciência, da Tecnologia e Inovação, das Minas e Energia, da Agricultura, da Pecuária e Abastecimento, do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior, assim como a GIZ.

Ministério das Cidades



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Coordenação do projeto PROBIOGÁS

Ernani Ciríaco de Miranda (Ministério das Cidades) e Wolfgang Roller (GIZ)

Publicado por

Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Projeto de Cooperação Técnica Bilateral entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – GIZ)

Contatos

SNSA/MCidades

Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II
CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2108-1000
www.cidades.gov.br

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 – 15º andar Ed. Brasília Trade Center,
CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2101-2170
www.giz.de/brasil

Expediente

Autores

Elson Costa Gomes (FPTI/BR), Isabela Aguiar Dias (FPTI/BR), Liz Rosana Alvarez Ferreira (FPTI/BR), Rodrigo Bueno Otto (FPTI/BR), Hélinah Cardoso Moreira (GIZ), Gustavo Rafael Collere Possetti (Sanepar/ISAE-FGV), Luiz Gustavo Wagner (Sanepar), Jonas Abílio Sestrem Junior (Sanepar), André Luiz Zeni (COPEL)

Coordenação do material

Hélinah Cardoso Moreira (GIZ) e Gustavo Rafael Collere Possetti (SANEPAR/ISAE-FGV)

Agradecimento

Um agradecimento aos profissionais que participaram do comissionamento do novo motor na ETE Ouro Verde:

Alexandre Moreno Lisboa (Sanepar), Felipe Owczarzak de Mello e Silva (Sanepar), Danielison Pinto (Sanepar), Victor Carlos Martinez (Sanepar), Alan Jonis Panno (Sanepar), Alvir Piovisan (Sanepar), Izauro Antonio Berti (Sanepar), Marcio Perin (CHP), Fabiano Lovato (CHP), Eduardo Ombrelino (Maximus Instaladora Elétrica)

Revisão Ortográfica

Wagner Santos

Capa, projeto gráfico e diagramação

Estúdio Marujo

PREFÁCIO

A Lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico – Lei 11.445/2007 – estabelece que a prestação dos serviços terá a sustentabilidade econômico-financeira assegurada e, sob os aspectos técnicos, atenderá a requisitos que garantam a qualidade adequada. Por sua vez, a Lei que institui a política nacional de resíduos sólidos – Lei 12.305/2010 – estabelece a obrigatoriedade da coleta seletiva e determina que apenas os rejeitos devem ser encaminhados a aterros sanitários (regra que ficou conhecida no país como o “fim dos lixões”). Tais elementos reforçam o grande desafio, enfrentado pelo Brasil, de ampliar os níveis de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos.

O Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab –, aprovado em dezembro de 2013, com horizonte de 20 anos, destaca que um dos princípios fundamentais da política de saneamento diz respeito à matriz tecnológica que orienta o planejamento e a política setorial. Segundo o Plansab, planejar o saneamento básico no país, com um olhar de longo prazo, necessariamente envolve a prospecção dos rumos tecnológicos que o setor pode e deve trilhar. Cabe à política de saneamento básico identificar tendências, nacionais e internacionais, segundo as quais a matriz tecnológica do saneamento vem se moldando, o que supõe também procurar enxergar novos conceitos, ainda que sejam antigas formulações em novas roupagens, ou novos desafios que pressionam no sentido de mudanças paradigmáticas. Neste sentido, temas como a sustentabilidade, a gestão integrada das águas urbanas, o saneamento ecológico e o combate às mudanças climáticas globais podem ser evocados como exemplos.

Nesse contexto, o PROBIOGÁS é um instrumento de grande importância para a implementação do Plansab. O aproveitamento energético do biogás nos processos de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos, consagrado em diversos países, representa um pequeno esforço de modernização das instalações dos sistemas brasileiros com impactos altamente positivos na sustentabilidade econômico-financeira, na qualidade dos processos de tratamento e na melhoria do meio ambiente, contribuindo de forma efetiva para a redução dos gases de efeito estufa.

Espera-se que os resultados do PROBIOGÁS possibilitem a inserção do aproveitamento energético do biogás na pauta dos governos e dos prestadores de serviços de saneamento básico, de modo a fazer com que esta fonte renovável de energia seja utilizada em toda a sua potencialidade, dentro da realidade brasileira, contribuindo também para a geração distribuída de energia e a maior diversificação da matriz energética nacional.

APRESENTAÇÃO DA COLETÂNEA

A Coletânea de Publicações do PROBIOGÁS é uma relevante contribuição governamental aos profissionais brasileiros que atuam em diferentes setores da infraestrutura, energia renovável, inovação tecnológica e, em especial, no setor de saneamento. Essa coletânea é composta por cadernos técnicos que tratam do biogás como tema central.

A coletânea é dividida em quatro séries, cada uma agrupando um conjunto de publicações que contribuem para uma determinada área do conhecimento e/ou de atuação no tema.

BIOGÁS

A primeira série é intitulada **Desenvolvimento do Mercado de Biogás**, abreviada como **BIOGÁS**, composta por publicações que tratam de aspectos tecnológicos da geração e utilização do biogás, do processo de licenciamento ambiental de plantas e instalações, da comercialização de co-produtos de plantas de biogás, entre outros tópicos pertinentes à estruturação da cadeia produtiva e à consolidação de um mercado nacional.

RSU

A segunda série aborda a utilização energética do biogás gerado a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, questão extremamente atual no contexto técnico e institucional do saneamento ambiental brasileiro. Denominada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Sólidos Urbanos** e abreviada simplesmente como **RSU**, esta série abordará, entre outros tópicos, a metodologia e a tecnologia da metanização seca e estudos de viabilidade técnica e econômica.

ETE

A terceira série é chamada **Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto**, simbolizada pela sigla **ETE**, composta por publicações que tratam de aspectos técnicos, do projeto à operação, de estudos de viabilidade técnica e econômica, e de orientações para a licitação de sistemas de tratamento que contemplem o biogás.

RA

Finalmente, a quarta série abordará a utilização do biogás oriundo dos resíduos das atividades agrícolas, pecuárias e da agroindústria, que possuem um elevado potencial de aproveitamento no país. Intitulada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Agrosilvopastoris**, abreviada simplesmente como **RA**, as publicações versarão sobre os resíduos da suinocultura, comercialização de biofertilizante, entre outros tópicos.

Por oportuno, informamos que todas as Publicações da Coletânea estão disponíveis para download na página do Projeto PROBIOGÁS, hospedado no site da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades: www.cidades.gov.br/probiogas

SUMÁRIO

10	1 INTRODUÇÃO
----	--------------

13	2 TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS
14	2.1 Motores de combustão interna
15	2.2 Turbinas a gás
16	2.3 Microturbinas
16	2.4 Comparação entre as tecnologias para geração de energia elétrica

20	3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA
20	3.1 Geração distribuída
26	3.2 Agentes geradores
28	3.3 Procedimentos de distribuição

29	4 O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
30	4.1 Consumidores aptos a aderir ao sistema de compensação de energia elétrica
31	4.2 Faturamento de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica
34	4.3 Normas técnicas das concessionárias
41	4.4 Passo a passo para geração distribuída a biogás em ETEs

47	5 ESTUDO DE CASO: ETE OURO VERDE
47	5.1 Características da ETE Ouro Verde
50	5.2 Conexão a geração distribuída
53	5.3 Dificuldades observadas e lições aprendidas

55	6 REFERÊNCIAS
----	---------------

59	APÊNDICE A
----	------------

63	APÊNDICE B
----	------------

66	ANEXOS
----	--------

LISTA DE FIGURAS

- 13 **1:** Esquema da conversão do biogás em energia elétrica.
- 13 **2:** Combustão do biogás.
- 14 **3:** Grupo motogerador.
- 14 **4:** Operação de um cilindro-pistão.
- 15 **5:** Turbina a gás simples.
- 15 **6:** Turbina a gás.
- 16 **7:** Microturbina 30 kW.
- 22 **8:** Linha do tempo: legislações sobre geração distribuída no Brasil.
- 27 **9:** Linha do Tempo: Legislações sobre PIE e APE.
- 29 **10:** Sistema de compensação de energia elétrica.
- 30 **11:** Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras.
- 30 **12:** Geração Compartilhada.
- 31 **13:** Autoconsumo Remoto.
- 33 **14:** Consumo e geração no primeiro trimestre.
- 34 **15:** Fatura de unidade consumidora com geração distribuída – COPEL.
- 35 **16:** Fluxograma do Procedimento de acesso – para micro e minigeração distribuída.
- 37 **17:** Diagrama unifilar para conexão de microgeração distribuída à rede de distribuição da Copel.
- 41 **18:** Etapas relativas ao processo e implementação da GD.
- 47 **19:** ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu.
- 48 **20:** Fluxograma de processo para geração de energia elétrica na ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu.
- 49 **21:** Grupo motogerador de energia elétrica movido a biogás instalado na ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu
- 49 **22:** Painel de Proteção e Seccionamento.
- 49 **23:** Detalhe interno do Painel de Proteção e Seccionamento.
- 49 **24:** Entrada de serviço da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu
- 50 **25:** Tela do sistema supervisorio da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu
- 51 **26:** Planta de situação da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu.
- 51 **27:** Diagrama unifilar da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu
- 52 **28:** Entrada de serviço da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu.
- 63 **29:** Valor final da Energia Elétrica.

LISTA DE TABELAS

17	1: Análise comparativa das principais alternativas para uso do biogás para geração combinada de eletricidade e calor.
18	2: Comparação entre as principais alternativas de cogeração de eletricidade e calor.
19	3: Avaliação relativa das principais alternativas de cogeração de eletricidade e calor atualmente disponíveis.
21	4: Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída.
28	5: Módulos do PRODIST.
35	6: Relação das concessionárias e respectivas normas de acesso de micro e minigeração.
38	7: Requisitos mínimos em função da potência instalada.
40	8: Tabela comparativa de obrigatoriedades das funções de proteção para conexão na média tensão - Potência entre 501 kW e 5 MW.
66	9: Resumo das normas para adesão referentes à geração distribuída em diferentes estados do Brasil.

1

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a produção de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás produzido em estações de tratamento de esgoto (ETE) vem se tornando atrativa no Brasil, principalmente após a publicação da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482, publicada em abril de 2012.

Essa resolução estabeleceu as condições gerais para o acesso das micro e minigerações distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica em todo o território brasileiro. Isso obrigou as concessionárias de energia elétrica a revisarem e a elaborarem normas técnicas sobre o assunto, exigindo a adequação de seus sistemas comerciais e técnicos.

Um dos destaques da resolução foi a criação do sistema de compensação de energia elétrica, conhecido internacionalmente como *net metering*. Esse sistema permitiu ao consumidor de energia elétrica gerar créditos proporcionais à quantidade de energia renovável por ele produzida e injetada na rede da distribuidora de energia elétrica, créditos que podem ser abatidos de seu respectivo consumo de energia.

Em novembro de 2015, publicou-se a Resolução Normativa da ANEEL nº 687. Esse documento atualizou a Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, proporcionando melhorias e incentivos à Geração Distribuída (GD) no país. As novas regras, que começaram a valer a partir do dia primeiro de março de 2016, foram concebidas para impulsionar a conversão energética de fontes renováveis, bem como a cogeração qualificada.

A Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015, modificou os limites de potência para enquadramento dos micro e minigeradores de energia elétrica. Nesse sentido, a microgeração distribuída teve seu limite de potência instalada reduzido de 100 kW para 75 kW. Já a minigeração teve seu limite máximo expandido de 1 MW para 3 MW, no caso de fontes hídricas; e para 5 MW, no caso de cogeração qualificada ou conversão energética de outras fontes renováveis (ANEEL, 2015).

Além disso, a Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015 assegurou que os proprietários das unidades geradoras de energia elétrica transfiram percentuais de seus créditos de energia para unidades consumidoras cadastradas com CPF ou CNPJ diferentes, desde que comprovado o vínculo entre as unidades (MARTINS, 2016). Dessa forma, ampliou-se a possibilidade de compensação de créditos de energia elétrica, anteriormente limitada pela Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 apenas à própria unidade consumidora onde foram gerados ou a unidades consumidoras inscritas sob mesmo CPF ou CNPJ.

Com as recentes atualizações regulatórias, a ANEEL estima que mais de 1,2 milhões de consumidores passem a produzir sua própria energia elétrica até 2024, o que equivale a uma potência instalada de 4,5 GW (ANEEL, 2016).

Para o setor de saneamento, notadamente para as atividades desenvolvidas em estações de tratamento de esgoto (ETE) que produzem biogás, a geração distribuída de energia elétrica se apresenta como uma oportunidade para reduzir custos operacionais, promover a eficiência energética e mitigar as emissões de gases indutores do efeito estufa. Assim, a possibilidade de uma prestadora de serviço de saneamento de produzir energia elétrica em uma estação de tratamento de esgoto, compensando os créditos

de energia gerados localmente ou em outra unidade consumidora por ela operada, traz uma nova perspectiva sobre a gestão integrada dos setores de saneamento e de energia, viabilizando a otimização de recursos e a minimização de impactos ambientais.

Destaca-se que as atividades do setor de saneamento são eletrointensivas e responsáveis por cerca de 3% do consumo total de energia elétrica no Brasil (EPE, 2016). Adicionalmente, os gastos com energia elétrica representam uma parcela significativa dos custos operacionais de prestadores de serviços de saneamento.

Mesmo com o desconto de 15% nos valores das tarifas de energia elétrica para unidades consumidoras classificadas como de serviço público de água, esgoto e saneamento, desconto subsidiado pela Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e respaldado pelo Decreto nº 7.891 de 23 de janeiro de 2003, os gastos com energia elétrica em prestadores de serviços de saneamento representam em média 12% de suas despesas totais, podendo variar entre 9 e 24% dessas despesas, dependendo da região do país (PMSS, 2015).

Cabe destacar que, com a recente crise energética nacional, provocada principalmente pela redução do nível de água nos reservatórios das hidrelétricas devido à escassez de chuvas, acionaram-se usinas termelétricas, acarretando aumento significativo das tarifas praticadas pelas distribuidoras de energia elétrica no país. Consequentemente, os custos operacionais dos prestadores de serviço de saneamento também aumentaram, estimulando-os a aprimorar suas práticas de gestão de energia elétrica e a buscar alternativas para redução de seus custos operacionais.

A geração distribuída de energia elétrica a partir da recuperação do biogás proveniente de ETEs é uma dessas alternativas, cujas características possibilitam a diversificação da matriz energética, a produção de energia limpa e renovável e o aumento da oferta de energia descentralizada e próxima aos centros de carga.

Ressalta-se ainda que a utilização do biogás como combustível para gerar energia elétrica promove a redução das emissões de gases indutores do efeito estufa oriundos do tratamento do esgoto. Isso ocorre porque o processo de conversão energética do biogás evita que o gás metano (CH₄), presente em sua composição, seja liberado integralmente na atmosfera, mitigando suas respectivas emissões diretas de gases indutores do efeito estufa em aproximadamente 25 vezes. Adicionalmente, a geração distribuída de energia elétrica diminui as taxas de emissões indiretas de gases indutores do efeito estufa de prestadores de serviço de saneamento de forma proporcional à redução do consumo de energia elétrica proveniente do Sistema Interligado Nacional.

Apesar dos potenciais benefícios financeiros, ambientais e operacionais inerentes ao aproveitamento do biogás de ETEs para fins de geração distribuída de energia elétrica e dos recentes marcos regulamentadores brasileiros que respaldam a micro e a minigeração de energia elétrica e o *net metering*, tal prática ainda é incipiente no país. Além disso, as informações dedicadas ao assunto não estão disponíveis prontamente, encontrando-se distribuídas em diversos materiais técnicos e científicos.

Nesse contexto, este guia técnico tem por finalidade disponibilizar um conjunto de informações que possibilitem orientar a implantação de usinas de micro e minigeração de energia elétrica a partir do biogás produzido em

ETEs, vislumbrando suas conexões com a rede de distribuição e suas adesões ao sistema de compensação de energia elétrica, conforme preconizado pelas Resoluções Normativas da ANEEL nº 482/2012 e 687/15.

Para tanto, inicialmente, apresentam-se fundamentos sobre as principais tecnologias disponíveis para conversão do biogás em energia elétrica e conceitos sobre geração distribuída de energia elétrica. Na sequência, relatam-se as etapas necessárias para a conexão das ETEs ao sistema de distribuição e os procedimentos para sua adesão ao sistema de compensação de energia elétrica. Por fim, reporta-se o estudo de caso da ETE Ouro Verde, planta localizada em Foz do Iguaçu – Paraná, que produz energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto doméstico em um reator anaeróbico. Essa planta foi a primeira ETE do Brasil a ser conectada formalmente à rede de distribuição e a ser enquadrada junto a ANEEL como unidade microgeradora aderida ao sistema de compensação de energia elétrica.

2

TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS

O biogás é um subproduto do processo de tratamento de esgoto doméstico. Esse subproduto é gerado em ETEs a partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica que compõe o esgoto ou o lodo. Para tanto, tipicamente são empregados reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores do tipo UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), ou digestores de lodo (PROBIOGÁS, 2015).

O metano, principal constituinte do biogás, é um composto inflamável, inodoro, incolor, com densidade menor que aquela atribuída ao ar e com alto poder calorífico. Em condições normais de temperatura e pressão, a massa específica do metano é $0,717 \text{ kg/m}^3$ e seu poder calorífico inferior é $35,9 \text{ MJ/Nm}^3$. Dessa maneira, o teor de metano define a quantidade de energia que pode ser extraída do biogás.

O uso do biogás está bem fundamentado na literatura e exige a transformação da energia química nele acumulada. O biogás pode, por exemplo, ser empregado como combustível veicular, industrial e residencial. Adicionalmente, o biogás pode ser utilizado para secar termicamente lodos e escumas, bem como para gerar energia elétrica. O *Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto* publicado (PROBIOGÁS, 2015), apresenta diretrizes para a concepção e para a elaboração de projetos de recuperação e uso energético de biogás em ETEs no Brasil. Nesse guia, são abordados aspectos sobre a origem do biogás e suas características, os processos de tratamento anaeróbios de esgoto e de lodo, os equipamentos para uma planta de biogás e os potenciais usos do biogás de ETEs. Assim, neste documento, são apresentados apenas aspectos complementares ao Guia supracitado, notadamente voltados para a geração distribuída de energia elétrica a partir da conversão do biogás produzido em ETEs.

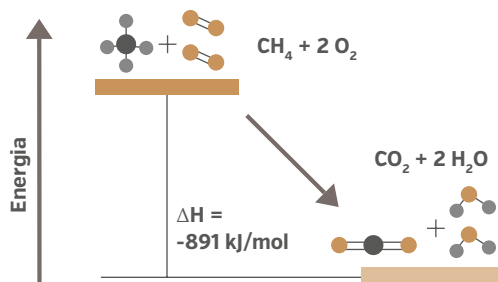
A conversão energética do biogás em energia elétrica ocorre a partir da conversão da energia química contida nas moléculas do biogás em energia mecânica por meio da combustão. Essa energia mecânica é, então, convertida em energia elétrica com a utilização de um gerador (COELHO *et al.*, 2006 *apud* LIMA; PASSAMANI, 2012), conforme exemplifica a Figura 1.

Figura 1: Esquema da conversão do biogás em energia elétrica



O processo de combustão do biogás envolve a seguinte reação exotérmica, liberando energia na forma de calor, conforme Figura 2. O gás resultante da combustão é expandido, disponibilizando energia mecânica para o acionamento do gerador de energia elétrica.

Figura 2: Combustão do biogás



Fonte: Brasil, 2008.

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás, são três as principais tecnologias disponíveis comercialmente: turbinas a gás, motores de combustão interna e microturbinas. A seguir, será apresentada uma breve descrição de cada uma dessas tecnologias.

2.1 Motores de combustão interna

Os motores de combustão interna (MCI) acoplados a geradores de eletricidade são a tecnologia mais utilizada na geração de energia elétrica, tendo o biogás como combustível primário. A Figura 3 ilustra um motogerador composto por um motor de combustão interna e um alternador.

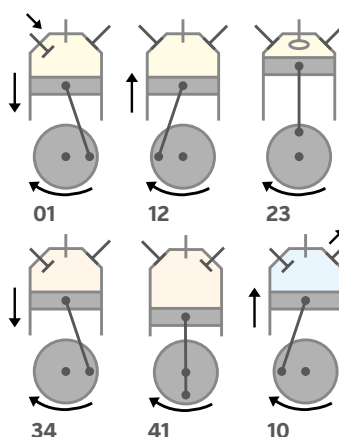
Figura 3: Grupo motogerador



Fonte: CHP, 2016.

A Figura 4 apresenta, de forma resumida, o funcionamento do MCI. Com a válvula de admissão aberta, o pistão executa um curso de admissão quando aspira uma carga fresca para dentro do cilindro. Com ambas as válvulas fechadas, o pistão passa por um curso de compressão. Inicia-se, então, o processo de combustão por meio de uma reação exotérmica, obtendo como produto gases com elevadas temperaturas e pressão. A expansão desses gases movimenta um êmbolo, produzindo trabalho. Os gases queimados são expulsos do cilindro por meio da válvula de escape (MORAN; SHAPIRO, 2009).

Figura 4: Operação de um cilindro-pistão



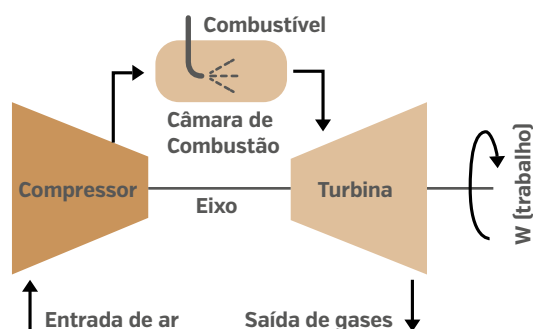
Para o aproveitamento do biogás, são utilizados os motores de ciclo Otto e de ciclo Diesel. A diferença básica entre os ciclos é que, no ciclo Diesel, a combustão ocorre pela compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto, no ciclo Otto, a combustão ocorre pela explosão do combustível por meio de uma fagulha na câmara de combustão (PECORA, 2006).

Esses equipamentos apresentam partida rápida, operação estável, elevado potencial de recuperação de calor e são usualmente bastante confiáveis. Ademais, tendem a ter um custo mais baixo e encontram-se disponíveis em tamanhos menores (USEPA, 2003 *apud* LOBATO, 2011).

2.2 Turbinas a gás

As turbinas a gás utilizam o ciclo *Brayton* e são equipamentos constituídos por compressor, câmara de combustão e turbina de expansão (MORAN; SHAPIRO, 2009). A Figura 5 apresenta o esquema de funcionamento da turbina.

Figura 5: Turbina a gás simples

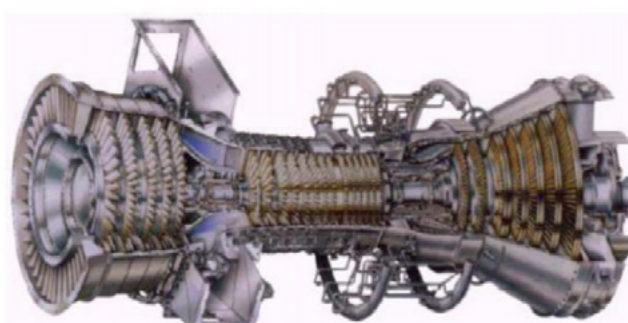


Fonte: MSPC, 2016.

Inicialmente, no compressor, o ar é comprimido até uma pressão mais elevada e injetado na câmara de combustão, misturando-o com o biogás, em que ocorre uma reação exotérmica, obtendo-se, como produto, gases com elevadas temperaturas e pressão. Esse gás é expandido na turbina, disponibilizando energia mecânica para o acionamento do compressor e do gerador de energia elétrica (MORAN; SHAPIRO, 2006).

Esses equipamentos encontram-se disponíveis no mercado com potências entre 500 kW e 250 MW e com maior viabilidade de aplicação em projetos de recuperação de energia acima de 3000 kW. As turbinas a gás, com exemplo na Figura 6, apresentam menos problemas de corrosão, todavia são mais caras que os MCI e necessitam de gás com qualidade consistente. O fato de demandarem pressões muito maiores de gás na entrada resulta na necessidade de compressores de gás, com maiores custos de instalação e de operação (USEPA, 2003 *apud* LOBATO, 2011).

Figura 6: Turbina a gás



Fonte: Sampaio, 2012.

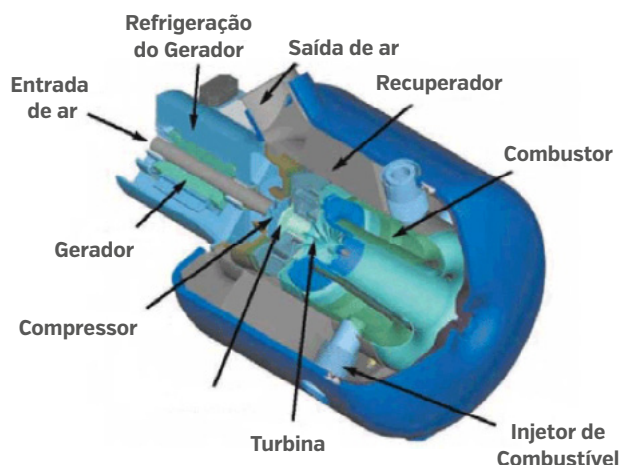
A turbina a gás tem várias características atraentes, como tamanho compacto, alta flexibilidade, confiabilidade, partida rápida, menor necessidade de mão de obra operacional e melhor desempenho ambiental, em comparação à turbina a vapor e aos motores de combustão interna. No entanto, apresenta baixa eficiência, principalmente em carga parcial, lacuna que pode ser operada pela cogeração (GUPTA *et al.*, 2010 *apud* LOBATO, 2011).

O rendimento térmico do ciclo *Brayton* é de aproximadamente 35%, porém é possível atingir rendimento de 41,9%, por meio da cogeração. A cogeração é obtida por meio da adição de uma caldeira de recuperação de calor ao ciclo. Desse modo, os gases de exaustão da turbina são direcionados para a caldeira, de modo a gerar vapor (PECORA, 2006).

2.3 Microturbinas

As microturbinas são pequenas turbinas que operam na faixa de 30 a 1.000 kW, com elevadas velocidades de rotação (PECORA, 2006), na qual a utilização do gás de exaustão para promover o pré-aquecimento do ar de combustão proporciona o aumento da eficiência global do sistema (USEPA, 2002 *apud* LOBATO, 2011). A Figura 7 ilustra uma microturbina.

Figura 7: Microturbina 30 kW



Fonte: Bona; Ruppert Filho (2004).

O pequeno porte desses sistemas aumenta a flexibilidade operacional, possibilitando a geração de energia em pequenas localidades, o que amplia o espectro de localidades com potencial para a recuperação de biogás. Outra vantagem desta tecnologia é a redução nas emissões, principalmente de óxidos de nitrogênio, quando comparadas a motores de combustão interna e turbinas de maior porte. O problema deste tipo de tecnologia para pequenas potências é o preço elevado, em função ainda da pequena escala de produção (PILAVACHI, 2002 *apud* LOBATO, 2011).

2.4 Comparação entre as tecnologias para geração de energia elétrica

Com o intuito de comparar as três principais alternativas para uso de biogás disponíveis atualmente no mercado (motores de combustão interna, turbinas a gás e microturbinas), Lobato (2011) desenvolveu a Tabela 1 apresentada a seguir.

Tabela 1: Análise comparativa das principais alternativas para uso do biogás para geração combinada de eletricidade e calor.

ALTERNATIVA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Motores de combustão interna	<p>Custo de aquisição moderado.</p> <p>Tecnologia madura e largamente aplicada para a geração de energia a partir do biogás, especialmente em instalações com potência de 800 kW. Nos EUA, cerca de 60% dos projetos de geração combinada de eletricidade e calor, a partir de biogás de aterros sanitários, utilizam motores de combustão interna [dados de 2003].</p> <p>Grande diversidade de motores estacionários disponíveis no mercado, cobrindo uma grande faixa de aplicações [5 kW até 5 MW] e ciclos de operação.</p> <p>Apresenta partida rápida, operação estável e são usualmente bastante confiáveis.</p> <p>Normalmente operados com gás natural, mas podem ser ajustados para operar com propano ou biogás.</p> <p>Grande potencial de recuperação de energia [elétrica + térmica].</p>	<p>Mais sujeitos a corrosão, embora a utilização de óleos lubrificantes possibilite alguma proteção contra os produtos ácidos da combustão.</p>
Turbinas a gás	<p>Menos sujeitas à corrosão que os motores de combustão interna.</p> <p>A elevada temperatura dos gases de exaustão possibilita a geração de vapor em alta pressão e elevada temperatura (480°C), ou a aplicação direta em processos industriais de aquecimento e de secagem.</p> <p>Em um ciclo combinado de turbina a gás e a vapor, os gases de exaustão proveniente da turbina a gás alimentam uma caldeira que fornece vapor para o funcionamento da turbina a vapor, dessa forma existem duas fontes de energia elétrica, sendo a eficiência da ordem de 60 a 70%.</p>	<p>Elevado custo de aquisição, em função da necessidade de compressão elevada do gás.</p> <p>Elevado custo operacional, em função da necessidade de compressão elevada do gás.</p> <p>Demanda de gás com qualidade consistente.</p> <p>Demanda de elevada pressão de gás na entrada.</p>
Microturbinas	<p>Apresentam vantagens em relação às outras alternativas de geração de energia a partir do biogás nos seguintes casos: baixa produção de biogás; biogás com baixo teor de metano; preocupação com emissão de NO_x; quando da utilização da eletricidade no próprio local de geração; em substituição à energia comprada da concessionária; quando o suprimento de eletricidade é não confiável e de preço elevado; quando houver necessidade de água quente no próprio local ou nas imediações.</p> <p>Equipamentos portáteis e fáceis de serem modulados (uma ou múltiplas turbinas), para se adequar à produção de biogás e às necessidades locais.</p> <p>Equipamentos compactos e poucas partes móveis, requerendo, dessa forma, poucos cuidados com a operação e a manutenção. Baixas emissões de NO_x, usualmente dez vezes inferiores às dos motores de combustão interna de melhor desempenho, e também inferiores às emitidas por queimadores [flares].</p> <p>Capazes de operar com biogás de baixo conteúdo de metano (35 ou até mesmo 30%).</p> <p>Configuração padrão do equipamento usualmente oferece um gerador de água quente (~95°C) a partir do calor despreendido no exaustor.</p>	<p>Eficiência inferior a motores de combustão interna e outros tipos de turbinas. Consomem cerca de 30% a mais de combustível por kWh gerado.</p> <p>Susceptível à contaminação por siloxano. Alimentação com biogás de aterro usualmente requer nível mais elevado de pré-tratamento que o requerido por turbinas convencionais e outras formas de geração de energia elétrica.</p> <p>Atualmente, poucos compressores de baixa vazão e elevada pressão encontram-se disponíveis para atender aos requisitos das microturbinas sem a necessidade de adaptações caras.</p> <p>Poucas informações disponíveis sobre a confiabilidade a longo prazo e sobre os custos de operação e manutenção de microturbinas a biogás.</p>

Fonte: (Adaptado de EUROPEAN COMMISSION, 2001; IEA, 2000; NOYOLA et al. 2006; USEPA 2002; USEPA 2003b; USEPA 2008a; apud Lobato, 2011).

Lobato (2011) apresentou também um resumo comparativo entre os principais parâmetros das três alternativas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Comparação entre as principais alternativas de cogeração de eletricidade e calor.

PARÂMETRO	PRINCIPAIS ALTERNATIVAS		
	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	TURBINAS	MICROTURBINAS
Faixa de potência disponível no mercado (kW)	5 - 5.000	500 - 250.000	30 - 1000
Faixa usual de aplicação (kW)	800 - 3000	> 3.000	<1.000
Custo de implantação (US\$.kW ⁻¹)	900 - 1000	1000 - 1800	4000 - 5000
Custos de O&M* (US\$.kWh ⁻¹)	0,009 - 0,010	0,006 - 0,010	0,15 - 0,20
Taxa de geração de eletricidade e calor (kWh consumido por kWh gerado)	2,8 - 3,0	3,7 - 4,6	4,1 - 4,7
Eficiência elétrica (%)	33 - 36	22 - 27	22 - 33
Consumo de combustível (kWh.h ⁻¹ por kW instalado)	2,8 - 3,0	3,7 - 4,6	3,3 - 7,5
Pressão de alimentação do gás (atm)	< 0,2 - 3,0	6,5 - 11	3,7 - 5,8
Produção de gás de exaustão (kg.h ⁻¹)	6 - 7	15 - 20	23 - 37
Temperatura do gás de exaustão (°C)	360 - 470	510	280 - 310
Recuperação total de calor (kWh por kW instalado)	1,10 - 1,28	1,56 - 2,08	3,2 - 3,6
Eficiência total de geração de eletricidade e calor (%)	75 - 76	68 - 69	60 - 73
Emissões de NOx** (ppm)	250 - 3000	35 - 50	<9

[*] Excluindo custos de combustível.

[**] Ao comparar as emissões de NOx, é preciso levar em consideração o produto das concentrações dessas emissões pela vazão dos gases de exaustão.

Fonte: Adaptado de USEPA (2002; 2003a; 2003b); CENBIO (2005); CHAMBERS e POTTER (2000) apud Lobato, 2011.

De acordo com a Tabela 2, verifica-se que, entre as três alternativas, a que apresenta maior rendimento elétrico são os MCI, tipicamente em torno de 33 a 36%, enquanto o rendimento é da ordem de 22 a 27% para turbinas e 22 a 33% para as microturbinas. Cabe destacar que, para motores de ciclo Diesel, os rendimentos elétricos podem ser de até 44% (PROBIOGÁS, 2015). Quando o calor liberado pelos motores, turbinas e microturbinas é recuperado e utilizado (cogeração), as eficiências atingem níveis maiores, da ordem de 60 a 76%, sendo que os MCIs continuam apresentando o maior rendimento entre as três alternativas. A Tabela 3 apresenta uma avaliação relativa dessas três principais alternativas.

Tabela 3: Avaliação relativa das principais alternativas de cogeração de eletricidade e calor atualmente disponíveis.

ASPECTOS AVALIADOS	PRINCIPAIS ALTERNATIVAS			
	MICROTURBINAS	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	TURBINAS	
Aspectos econômicos	Custos de capital	+[*]	+++++	++++
	Custos de O&M	+	++++	++++
	Consumo de combustível	+	++++	+++
Eficiência	Geração de eletricidade	+	+++	++
	Geração de calor	++++	++	+++
	Global	+++	+++++	++++
Confiabilidade		+	+++++	++++
Simplicidade		+++	+++++	+
Menor possibilidade de problemas ambientais	Geração de ruído	+++++	++	+++
	Emissão de NOX	+++++	+ /++++	++++

+++++: mais favorável +: menos favorável +++++, +++, ++: notas intermediárias, em ordem decrescente +/++++: variável de acordo com o modelo

[*] Pequena disponibilidade de compressores de baixa vazão e elevada pressão para atender aos requisitos das microturbinas sem a necessidade de adaptações caras.

Fonte: CHERNICHARO (2011) apud LOBATO (2011).

3

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A geração distribuída (GD) é caracterizada pela geração de pequeno porte, geralmente localizada no local onde a energia é consumida ou próxima a ela, servindo a um ou vários consumidores, que podem estar conectados entre si por meio das redes das concessionárias de distribuição de energia elétrica. A seguir, serão apresentados aspectos sobre a geração distribuída de energia elétrica no Brasil.

3.1 Geração Distribuída

Segundo a ANEEL (2011), pode-se conceituar geração distribuída, de forma geral, como aquela localizada próxima aos centros de carga, conectada ao sistema de distribuição ou na própria unidade consumidora, de pequeno porte e não despachada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

De forma oficial, o termo GD foi definido no Brasil pelo Decreto 5.163 de julho de 2004 como sendo a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 80 da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

- I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e,
- II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética de 75%. Ou seja, ETes que utilizam o biogás proveniente do tratamento do esgoto como combustível não necessitam atingir 75% de eficiência para ser considerada GD.

3.1.1 Micro e minigeração distribuída

A micro e a minigeração distribuída foram definidas no Brasil de modo oficial pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 como sendo centrais geradoras de energia elétrica que utilizam cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. A classificação da geração distribuída como micro e minigeração é determinada pelo limite da potência instalada. Segundo atualização da norma, dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, os limites da potência instalada são as seguintes:

- >> Microgeração Distribuída ≤ 75 kW;
- >> Minigeração Distribuída > 75 kW e ≤ 3 MW para fontes hídricas ou > 75 kW e ≤ 5 MW para cogeração qualificada ou demais fontes renováveis de energia elétrica.

3.1.2 Vantagens e desvantagens da geração distribuída

Sendo a GD caracterizada como geração descentralizada e localizada próxima aos centros de carga, esta apresenta vantagens e desvantagens para os diversos atores envolvidos. Na Tabela 4, podem ser observadas as vantagens e as desvantagens da GD sob a perspectiva da prestadora de serviço de saneamento, da sociedade, do meio ambiente e do setor elétrico.

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída.

PONTO DE VISTA	VANTAGENS	DESvantagens
Prestadora de serviço de saneamento	<p>Promove a utilização de fonte renovável de energia, reduzindo os impactos ambientais resultantes de emissões atmosféricas.</p> <p>Contribui para a redução de utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia.</p> <p>Garante benefícios financeiros aos investidores das empresas de saneamento, liberando mais investimentos em outros setores da empresa.</p> <p>Promove segurança no suprimento elétrico da estação, reduzindo o risco de paradas e do cumprimento da legislação.</p> <p>A eletricidade gerada pela GD tem menor custo para o consumidor.</p>	
Sociedade	<p>Qualidade e confiabilidade superiores do abastecimento por meio de tecnologias de GD, porque seu sistema elétrico não aceita variações de frequência e/ou tensão.</p> <p>Aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local, por adicionar fonte não sujeita a falhas na transmissão e distribuição.</p> <p>A eletricidade gerada pela GD tem menor custo para o consumidor.</p> <p>Contribuição para a diversificação da matriz energética, levando a um maior segurança do suprimento energético.</p> <p>Geração de empregos e estabilidade na produção pela indústria nacional, gerando desenvolvimento econômico.</p>	<p>Possível variação da tarifa em função da taxa de utilização da interconexão.</p> <p>Possível tempo de amortização elevado devido ao custo do sistema.</p>
Meio ambiente	<p>Contribuição na redução das emissões de GEE.</p> <p>Minimização dos impactos ambientais, pela redução das necessidades de grandes instalações de geração de cargas e extensas linhas de transmissão.</p> <p>Diminuição do uso de fontes de energia não renováveis.</p> <p>Possibilidade de melhorar a eficiência energética.</p>	
Setor elétrico	<p>A diversidade de investimentos privados gerados pela GD tende a ampliar o número de agentes geradores e participantes do setor elétrico, distribuídos regionalmente (COGEN, 2013).</p> <p>Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (ou à demanda reprimida) por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimos à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição.</p> <p>Diminuição da dependência do parque gerador despachado centralizadamente, mantendo reservas próximas aos centros de carga (COGEN, 2013).</p> <p>Agilização no atendimento ao crescimento da demanda, inserindo menor prazo e menor complexidade no licenciamento e na liberação para implantação dos projetos (COGEN, 2013).</p>	<p>A concessionária a qual vai se conectar um produtor independente pode ser apenas transportadora e não compradora da energia que lhe é entregue por aquele produtor para um cliente remoto.</p> <p>Maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico.</p> <p>Maior complexidade nos procedimentos e na realização de manutenções, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas e na coordenação das atividades.</p>

Setor elétrico (continuação)	<p>Aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuída [INEE, 2001].</p> <p>Redução das perdas na transmissão e dos respectivos custos, e adiamento no investimento para reforçar o sistema de transmissão [INEE, 2001].</p> <p>Redução dos investimentos para implantação, inclusive os das concessionárias, para o suprimento de ponta, dado que este passa a ser compartilhado (<i>peaksharing</i>), e os de todos os produtores para reservas de geração [que podem ser alocadas em comum] [INEE, 2001].</p> <p>Redução dos riscos de planejamento.</p> <p>O uso de unidades de menor capacidade propicia o equilíbrio na busca de melhores taxas variáveis de crescimento de demanda, contribuindo na redução de risco associados a erros de planejamento e oscilações de preços ao sistema elétrico [WALTER <i>et al.</i>, <i>apud</i> OLADE, 2011].</p> <p>Contribuição para a abertura do mercado energético, com a criação de regulamentação jurídica própria, que pode representar uma grande oportunidade comercial.</p>	<p>Possível diminuição do fator de utilização das instalações das concessionárias de distribuição, o que tende a aumentar o preço médio de fornecimento destas.</p> <p>Remuneração de investimentos de concessionárias, decorrentes ou afetados pela interconexão [INEE, 2001].</p>
-------------------------------------	---	---

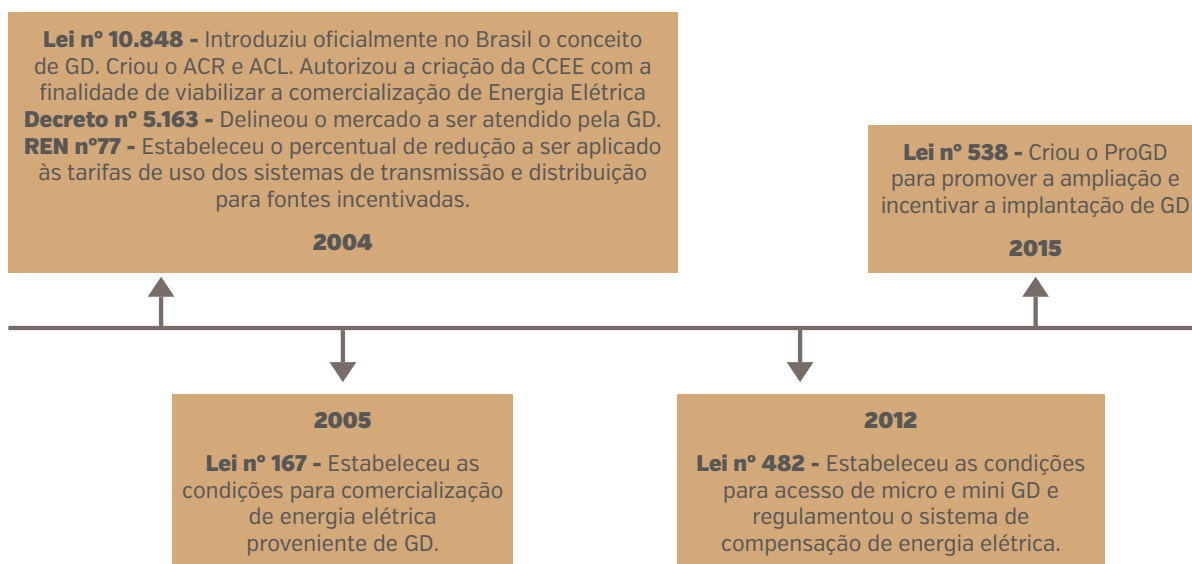
Fonte: BARBOSA e AZEVEDO (2013).

3.1.3 Legislação aplicável à geração distribuída

No ano de 2004, a Lei nº 10.848 foi considerada como novo marco regulatório do setor elétrico, pois introduziu oficialmente a geração distribuída no país. Suas principais atribuições são listadas nessa seção.

Figura 8: Linha do tempo: legislações sobre geração distribuída no Brasil

A Figura 8 apresenta as principais legislações relacionadas à introdução da geração distribuída no Brasil, tratando de sua regulamentação e incentivos. A seguir, será feita uma breve descrição sobre essas legislações.



**Lei nº
10.848**março de
2004

Por meio dessa Lei, foi introduzido oficialmente, no Brasil, o conceito de geração distribuída. Além disso, a Lei criou o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e condicionou à ANEEL a autorização da comercialização, eventual e temporária, do excedente de energia elétrica pelo agente autoprodutor. Autorizou também a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com a finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica.

**Decreto
nº 5.163**julho de
2004

Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, além de outras providências. Tal decreto foi um dos marcos regulatórios mais importantes para a Geração Distribuída (GD), uma vez que este delineou o mercado a ser atendido por tais geradores (ROMAGNOLE, 2005).

Na contratação de energia elétrica proveniente de geração distribuída, realizada por meio de chamada pública, o repasse integral dos custos de aquisições de energia elétrica às tarifas dos consumidores finais é limitado pelo Valor Anual de Referência (VR), calculado pela ANEEL.

**Resolução
Normativa
ANEEL
nº 77**agosto de
2004

Estabeleceu o percentual de redução de 50% (cinquenta por cento), a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 kW, para aqueles caracterizados como pequena central hidrelétrica e àqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos.

Essa resolução estabeleceu, também, o direito a 100% de redução a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição pelos empreendimentos que, entre outros, utilizem, como insumo energético, no mínimo, 50% de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto. Para obter o ato autorizativo, deverá haver solicitação à ANEEL, mediante a apresentação das Licenças Ambientais de Instalação.

**Resolução
Normativa
ANEEL
nº 167**10 de outubro
de 2005

Estabeleceu as condições para a comercialização de energia elétrica proveniente de geração distribuída.

Na contratação de energia elétrica proveniente de GD, o agente de distribuição deverá optar entre:

- » Chamada pública;
- » Compra de energia elétrica produzida pela empresa de geração, com contratos de compra e venda registrados na ANEEL e na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

Se o empreendimento não preencher os requisitos para geração distribuída, ou o agente não optar pela condição de geração distribuída, a energia elétrica produzida deverá ser comercializada de acordo com a legislação vigente, observado o respectivo regime de concessão.

**Resolução
Normativa
ANEEL
n° 482**
abril de 2012

Estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica. Essa resolução foi alterada pela Resolução Normativa ANEEL n° 687/2015, com vigência a partir de março de 2016.

A micro e a minigeração distribuída ficaram definidas como centrais geradoras de energia elétrica que utilizem cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Sendo:

- » Microgeração distribuída: $P_{inst} \leq 75 \text{ kW}$;
- » Minigeração distribuída: $P_{inst} > 75 \text{ kW}$ e $\leq 3 \text{ MW}$ (para fontes hídricas) ou $\leq 5 \text{ MW}$ (para cogeração qualificada e demais fontes renováveis).

Definiu também o sistema de compensação de energia elétrica como sendo o sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora de micro ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com consumo de energia elétrica ativa. Porém, mesmo que o consumidor produza energia suficiente para abater todo o seu consumo, ainda deverá arcar com os encargos inerentes à entrega da energia pela concessionária. Ou seja, deverá ser cobrado do consumidor integrante do sistema de compensação de energia elétrica, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

Para o acesso ao sistema de distribuição, esta resolução determinou que as distribuidoras adequassem seus sistemas comerciais ou revisassem para tratar o acesso de microgeração e minigeração distribuída, usando o PRO-DIST como referência, bem como outras normas técnicas brasileiras (NBRs) e internacionais.

Além disso, dispensou a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora. Agora as exigências são:

- » Minigeração: acordo operativo;
- » Microgeração: relacionamento operacional.

Determinou que a Potência Instalada Máxima é:

- » Unidade consumidora do Grupo B – Limitada à carga instalada;
- » Unidade consumidora do Grupo A – Limitada à demanda contratada.

Por exemplo, para o caso de consumidor do grupo B que possua disjuntor com capacidade de 30 A e tensão de atendimento de 220 V e instalação trifásica, a potência disponibilizada é $P = 30 \times 220 \times 3 = 19,8 \text{ kVA}$. Considerando um fator de potência de 0,92 para a instalação, pode-se instalar uma microgeração de até 18,2 kW nessa unidade consumidora (ANEEL, 2016).

Para instalação superior ao limite estabelecido, o consumidor deve solicitar aumento de carga instalada (grupo B) ou aumento de demanda contratada (grupo A). Quanto à conexão de nova unidade consumidora com microgeração ou minigeração, aplicam-se regras de participação financeira do consumidor definidas na Resolução Normativa da ANEEL nº 414/2010.

Os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição, em função exclusivamente da conexão de microgeração distribuída participante do sistema de compensação, **não** deverão fazer parte do cálculo de participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora, exceto para o caso de geração compartilhada.

Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de minigeração distribuída devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor.

Além disso, a norma estabeleceu:

- >> Modalidades de *autoconsumo remoto e geração compartilhada*;
- >> A possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais;
- >> A possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimento com múltiplas unidades consumidoras);
- >> O prazo de validade dos créditos de energia elétrica aumentou de 3 para 5 anos;
- >> A redução do prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, de 82 dias para 34 dias;
- >> A padronização dos formulários para realização da solicitação de acesso pelo consumidor;
- >> A correção de obstáculos criados com pedidos de alteração de padrão de entrada;
- >> A partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a submissão e acompanhamento de pedidos de acesso por meio de sistema eletrônico.

Resolução Normativa nº 506
setembro de 2012

Estabeleceu as condições de acesso ao sistema de distribuição por meio de conexão a instalações de propriedade de distribuidora além de outras providências. Essa resolução trata da conexão de Geração Distribuída com a finalidade de comercialização da energia excedente despachada para a concessionária.

Portaria ANEEL nº 538
dezembro de 2015

Criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica ProGD com objetivo de promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis e cogeração e incentivar a implantação de geração distribuída em escolas, universidades, hospitais e edificações comerciais, industriais e residenciais.

Para atender aos objetivos previstos pela Portaria, criou-se um Grupo de Trabalho composto por representantes do Ministério de Minas e Energia, da Agência Nacional de Energia Elétrica, Empresa de Pesquisa Energética; do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; e, da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

3.2 Agentes geradores

A geração distribuída pode ser feita por Concessionário de Serviço Público de Geração, Autoprodutores (APE) e Produtores Independentes (PIE). A seguir será reportada uma breve descrição sobre cada agente gerador.

3.2.1 Concessionários de Serviço Público de Geração

São concessões outorgadas antes de 1988 para exploração e prestação de serviços públicos de energia elétrica. Possuem permissão, concessão ou autorização da União (BRASIL, 1988).

3.2.2 Autoprodutor de energia (APE)

Pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo, mediante autorização da ANEEL, comercializar seus excedentes de energia (BRASIL, 1996).

O APE possui alguns incentivos relativos à isenção do pagamento de encargos setoriais sobre a parcela de energia produzida para consumo próprio, como Quotas da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), Quotas da Conta de Consumo de Combustível (CCC) e Rateio de custos do Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) (PIZETA, 2009).

Com relação ao Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), dependendo da legislação estadual, não se faz recolhimento do imposto sobre a energia produzida para consumo próprio (mesmo CNPJ).

Além disso, possuem redução de 50% nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição (TUST/TUSD) em empreendimentos hidrelétricos com potência injetada igual ou inferior a 1000 kW e em empreendimentos com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada com potência injetada igual ou inferior a 300.000 kW (ANEEL, 2004).

Para poder exercer a atividade de APE, o interessado deve observar o disposto pelo Decreto 2003/96. Para ETes, devem ser consideradas as principais exigências:

- >> É necessário autorização para a implantação de usina termelétrica de potência superior a 5.000 kW;
- >> A implantação de usina termelétrica de potência igual ou inferior a 5.000 kW independe de concessão ou autorização, devendo somente ser comunicado ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro.

3.2.3 Produtor Independente de Energia (PIE)

Pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (BRASIL, 1996) seja no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), seja no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

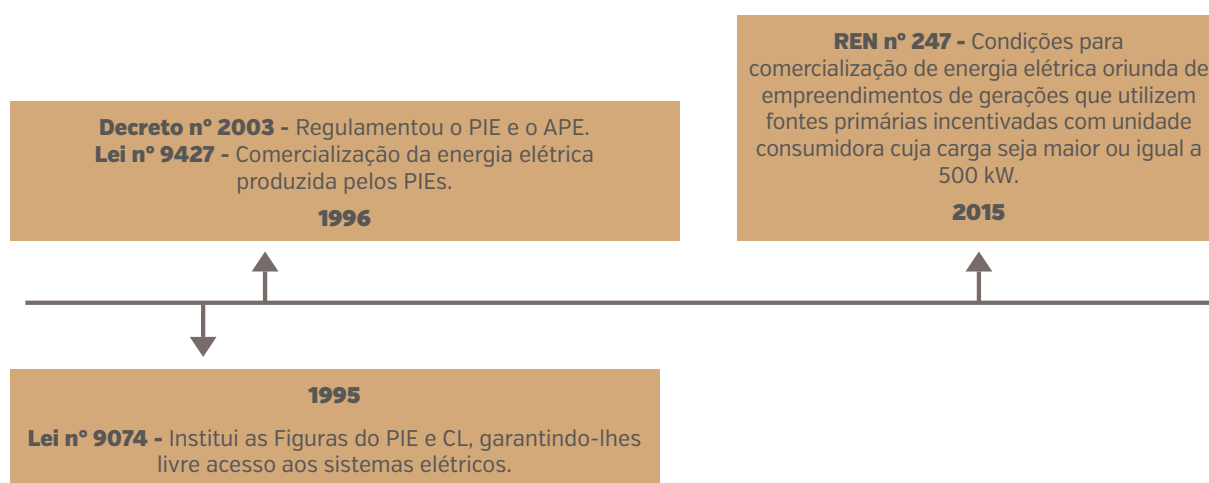
Para exercer a atividade de PIE, deve-se levar em consideração o disposto no Decreto 2003/96. Para ETes, devem-se observar as seguintes exigências:

- >> É necessário autorização para a implantação de usina termelétrica de potência superior a 5.000 kW;
- >> É necessário comunicar ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro, a implantação de usina termelétrica de potência igual ou inferior a 5.000 kW.

3.2.4 Legislação aplicável a agentes geradores

A Figura 9 apresenta as principais legislações que tratam da regulamentação da comercialização de energia pelos PIE e APE. A seguir, será feita uma breve descrição sobre cada uma delas.

Figura 9: Linha do Tempo: Legislações sobre PIE e APE.



**Lei nº
9.074**
julho de
1995

Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Institui as figuras do PIE e do consumidor livre (CL), garantindo-lhes livre acesso aos sistemas elétricos.

**Decreto
nº 2.003**
setembro
de 1996

Criou e regulamentou as figuras do produtor independente de energia e do autoprodutor. Assegurou ao PIE e APE o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionários e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido. Permitiu ao concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição comprar o excedente da energia produzida pelo APE.

**Lei nº
9.427**
dezembro
de 1996

Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Esta lei iniciou as tratativas concernentes à comercialização da energia elétrica produzida pelos Produtores Independentes de Energia mediante a celebração de contratos, considerando, inclusive, a hipótese de interrupção da geração de sua unidade produtora em virtude de determinação dos órgãos responsáveis pela operação otimizada do sistema elétrico.

**Resolução
Normativa
nº 247**
dezembro
de 2006

Estabeleceu as condições para a comercialização de energia elétrica oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW.

3.3 Procedimentos de Distribuição

Os Procedimentos de Distribuição (PRODIST) são normas elaboradas pela ANEEL que disciplinam o relacionamento entre as distribuidoras de energia elétrica e demais agentes (unidades consumidoras e centrais geradoras) conectadas aos sistemas de distribuição. O PRODIST trata de condições, responsabilidades e penalidades relativas à conexão, ao planejamento da expansão, à operação e à medição da energia elétrica, estabelece a forma como deve ser feito o intercâmbio de informações e quais os critérios e indicadores de qualidade.

O PRODIST é constituído por nove módulos e uma Cartilha de acesso ao Sistema de Distribuição, apresentados na Tabela 5. Dentre os nove módulos, o Módulo 3 trata dos procedimentos de acesso ao sistema de distribuição, tanto para consumidores quanto para centrais geradoras. É por meio desse módulo que estabelecem-se, tanto para novos acessantes quanto aos já existentes, quais as condições de acesso, definindo os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão. A seção 3.7 desse módulo trata especificamente do acesso de micro e de minigeração distribuída, descrevendo quais os procedimentos necessários para a conexão ao sistema de distribuição micro e minigeração distribuída participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, ou *net metering*, que será tema do próximo capítulo.

Tabela 5: Módulos do PRODIST.

PONTO DE VISTA	VANTAGENS
Módulo 1	Introdução
Módulo 2	Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição
Módulo 3	Acesso ao Sistema de Distribuição
Módulo 4	Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição
Módulo 5	Sistemas de Medição
Módulo 6	Informações Requeridas e Obrigações
Módulo 7	Cálculo de Perdas na Distribuição
Módulo 8	Qualidade da Energia Elétrica
Módulo 9	Ressarcimento de Danos Elétricos
Módulo 10	Sistemas de Informação Geográfica Regulatórios

Os módulos estão disponíveis no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/prodist. Por meio desse site, são disponibilizadas todas as versões já publicadas para cada módulo.

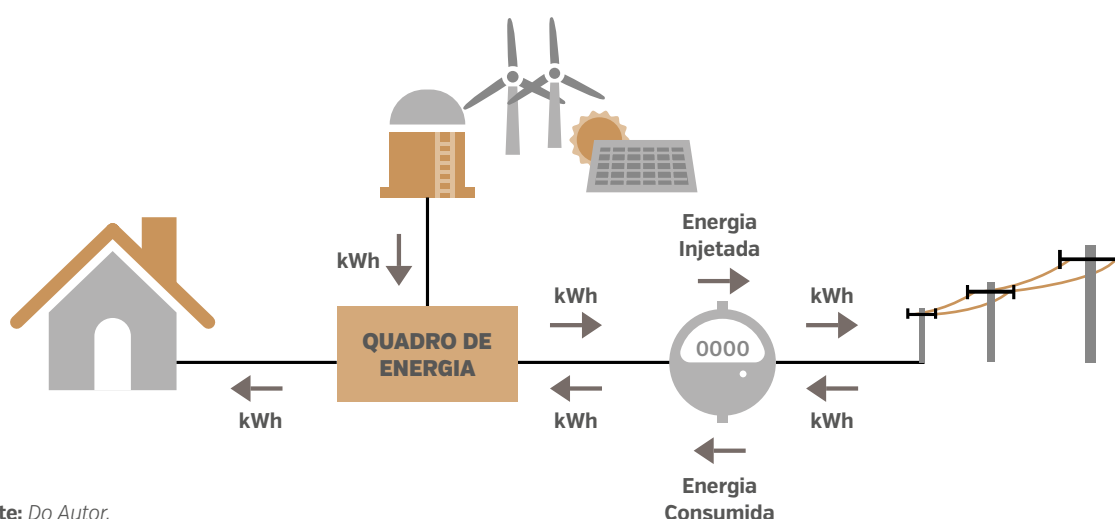
4

O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de compensação de energia elétrica, conhecido como *net metering*, permite ao consumidor de energia elétrica produzi-la partir de fontes renováveis em sua unidade consumidora e trocar a energia gerada com a distribuidora local.

A Figura 10 apresenta, de forma simplificada, como funciona o *net metering*. A energia gerada é utilizada na unidade consumidora. Caso a unidade consumidora não utilize toda a energia gerada, ela é injetada na rede da distribuidora local, sendo gerados créditos de energia ativa que poderão ser utilizados posteriormente. Nos momentos em que a energia gerada não for suficiente para abastecer a unidade consumidora, a distribuidora deverá complementar essa diferença.

Figura 10: Sistema de compensação de energia elétrica.



Fonte: Do Autor.

O sistema de compensação de energia elétrica é definido como o sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2015).

Caso a geração seja maior que o consumo no mês, a unidade consumidora passará a ter um crédito em quantidade de energia ativa que continuará válido por 60 meses. Há, também, a possibilidade de o consumidor abater estes créditos em outras unidades previamente cadastradas que se caracterizem como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras.

Para se adequar ao sistema de compensação de energia elétrica, as concessionárias de distribuição elaboraram normas técnicas, as quais estão em conformidade com o PRODIST da ANEEL. As normas técnicas são disponibilizadas por meio de seus sites oficiais. No Anexo A, são apresentadas as principais concessionárias, suas normas e sites oficiais.

4.1 Consumidores aptos a aderir ao sistema de compensação de energia elétrica

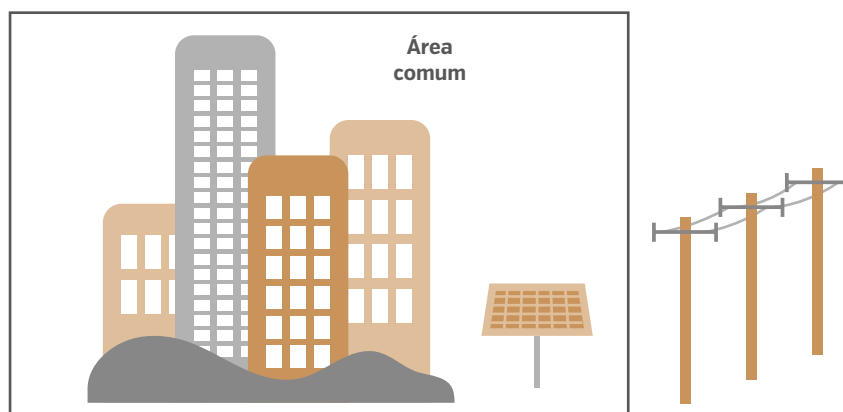
Atualmente, existem três tipos de arranjos para compensação: empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto.

Estão aptos a aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por uma unidade consumidora:

- >> Com micro ou minigeração distribuída;
- >> Integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras;
- >> Caracterizada como geração compartilhada;
- >> Caracterizada como autoconsumo remoto;
- >> Consumidores livres ou especiais não podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica.

Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, apresentados na Figura 11, são formados por condomínios residenciais, comerciais e industriais que estejam em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas. Esses créditos podem ser divididos em porcentagens previamente acordadas.

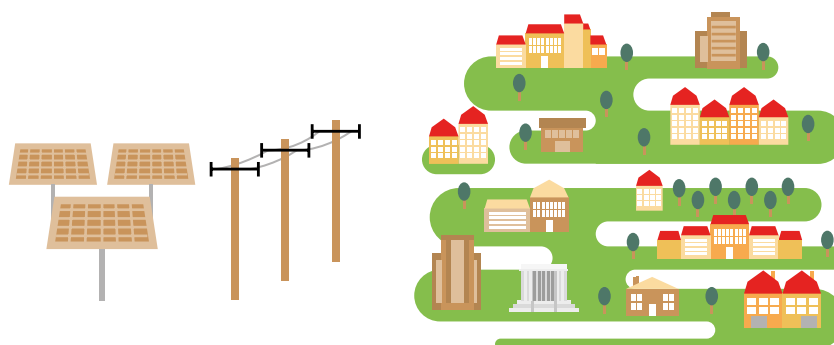
Figura 11: Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras.



Fonte: Castro, 2016.

Para os casos de unidades consumidoras agrupadas em **cooperativa ou consórcio**, dentro de uma mesma área de concessão ou permissão, é permitida a instalação de micro ou minigeração em uma unidade consumidora distante do local de consumo e compartilhamento dos créditos gerados entre as demais unidades consumidoras. A Figura 12 ilustra a geração compartilhada.

Figura 12: Geração Compartilhada.



Fonte: Castro, 2016.

O consumidor caracterizado como **autoconsumo remoto** é formado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica (CNPJ), incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. A Figura 13 ilustra o autoconsumo remoto.

Figura 13: Autoconsumo Remoto.



Fonte: Castro, 2016.

Vale ressaltar que as unidades consumidoras de uma mesma Companhia de Saneamento normalmente possuem o mesmo CNPJ, caracterizando-as como autoconsumo remoto e possibilitando a compensação da energia produzida em uma ETE com micro ou minigeração em outras ETEs ou até em estações de tratamento de água da mesma prestadora, localizadas na mesma área de concessão.

4.2 Faturamento de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica

1: Para entender melhor sobre tarifas para consumidores de grupo A e do grupo B, consultar Apêndice B.

A tarifa de uma distribuidora de energia elétrica leva em conta três custos: geração de energia, transporte de energia até as unidades consumidoras (transmissão e distribuição) e encargos setoriais. Além da tarifa, na conta de luz, há a cobrança do PIS/CONFINS, ICMS e a Contribuição para iluminação pública, impostos do Governo Federal, Estadual e Municipal, respectivamente.

Desse modo, mesmo que o consumidor produza energia suficiente para abater todo o seu consumo, ainda deverá arcar com os encargos inerentes ao custo de manutenção da rede elétrica da concessionária e impostos sobre esse valor. Ou seja, será cobrado do consumidor, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B (baixa tensão < 2,3 kV), ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A (alta tensão > 2,3 kV), conforme o caso.¹

O faturamento, de modo geral, leva em conta a energia consumida, diminuído da energia injetada e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir a tarifa em R\$/MWh.

Para casos de consumidores integrantes de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, o faturamento considera a energia consumida, diminuído o percentual da energia excedente alocada à unidade consumidora e o eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir a tarifa em R\$/MWh.

Segundo o Art. 7º, inciso VIII da REN nº 482/2012, compete ao titular da unidade consumidora onde se encontra instalada a central geradora distribuída definir o percentual da energia excedente que será destinado a cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, podendo solicitar a alteração junto à distribuidora, desde que efetuada por escrito, com antecedência mínima de 60 dias de sua aplicação.

Os créditos gerados em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras podem ser divididos pelos condôminos sem a necessidade de se abater o consumo da área comum, cabendo ao titular da unidade consumidora definir o rateio dos créditos dentre os integrantes do condomínio (residencial, comercial ou industrial) (ANEEL, 2016). Caso o condomínio opte pelo não abatimento do consumo da área comum, é necessária a instalação de um medidor exclusivo para a geração, sem considerar as cargas da área comum. Este é o único modelo que permite a instalação, por parte da concessionária, de um medidor para a carga e outro medidor para a geração, considerando uma única Unidade Consumidora (UC).

O excedente de energia, diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, que não tenha sido compensado na própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, levando em consideração o enquadramento como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto. Finalizada a compensação de energia dentro do mesmo ciclo de faturamento, os créditos remanescentes deverão permanecer na unidade consumidora a que foram destinados.

A Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 ainda estabelece que a compensação de energia elétrica deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração (para consumidores do grupo A) e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação dos valores das tarifas de energia – TE (R\$/MWh), publicadas nas Resoluções Homologatórias que aprovam os processos tarifários.

Caso os créditos de energia ativa expirem (60 meses), eles serão revertidos em prol da modicidade tarifária, sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo.

4.2.1 Incidência de Impostos Federais e Estaduais

A definição sobre a cobrança de impostos e tributos federais e estaduais foge das competências da ANEEL, cabendo à Receita Federal do Brasil e às Secretarias de Fazenda Estaduais tratar da questão (ANEEL, 2016).

O Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ – publicou o Convênio ICMS 16, de 22/4/2015, que revogou o Convênio ICMS 6/2013, no qual o ICMS teria como base de cálculo toda energia que chegava à unidade consumidora proveniente da distribuidora, e autorizou as unidades federadas a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia. Dessa forma, nos Estados que aderiram ao Convênio ICMS 16/2015, o ICMS incide somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede no mês. Para aqueles Estados que não aderiram ao novo Convênio, mantém-se a regra anterior, na qual o ICMS é cobrado sobre todo o consumo, desconsiderando assim a energia injetada na rede pela

micro ou minigeração (ANEEL, 2016). Os estados que aderiram ao Convênio ICMS 16/2015 são: Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Sergipe, Tocantins e o Distrito Federal (AMBIENTE ENERGIA, 2016).

Com a publicação da Lei nº 13.169/2015, a incidência do PIS e COFINS passou a acontecer apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuídas. Tendo em vista que o PIS e a COFINS são tributos federais, a regra estabelecida pela lei vale igualmente para todos os Estados do país (ANEEL, 2016).

4.2.2 Faturas

Para exemplificar como funciona o sistema de compensação de energia elétrica, será apresentado um exemplo retirado de ANEEL (2016).

A unidade consumidora trifásica (custo de disponibilidade igual ao valor em reais equivalente a 100 kWh) considerada possui instalados equipamentos de microgeração solar fotovoltaica com potência de 2 kW (pico), e cujo consumo médio mensal seja de 418 kWh. Para efeitos de cálculo, foi utilizada a tarifa de 0,51 R\$/kWh, sem a incidência de impostos federais e estaduais (PIS/CONFINS e ICMS). A Figura 14 apresenta o consumo e geração de energia do consumidor em questão.

Figura 14: Consumo e geração no primeiro trimestre.

MÊS	CONSUMO (kWh)	INJETADO (kWh)	CRÉDITO ACUMULADO (kWh)	FATURA SEM GD*	FATURA COM GD*	DIFERENÇA
Jan	330	353	23	R\$ 168,30	R\$ 51,00	R\$ 117,30
Fev	360	360	23	R\$ 183,60	R\$ 51,00	R\$ 132,60
Mar	460	335	0	R\$ 234,60	R\$ 52,02	R\$ 182,58

Fatura março = [Consumo - Injetado - Crédito utilizado] x Tarifa energia

Fatura março = [460 - 335 - 23] X 0,51 = R\$ 52,02

Fonte: ANEEL, 2016.

No mês de janeiro, o consumo na unidade consumidora (330 kWh) foi menor do que a energia ativa injetada na rede (353 kWh). Isso permitiu que a unidade consumidora ficasse com um crédito (23 kWh) para ser utilizado em faturamento posterior (até 60 meses). Para esse mês, o faturamento da unidade deverá ser apenas o custo de disponibilidade (100 kWh x 0,51 R\$/kWh = R\$ 51,00).

Em fevereiro, o consumo (360 kWh) foi igual à energia injetada na rede (360 kWh). Desse modo, a fatura da unidade consumidora é apenas o custo de disponibilidade (R\$ 51,00). Como o crédito do mês de janeiro não foi utilizado em fevereiro, continua disponível para os próximos meses.

No mês de março, o consumo (460 kWh) foi maior do que a energia ativa injetada na rede (335 kWh). Desse modo, a diferença entre a energia consumida e a injetada foi de 125 kWh, possibilitando a utilização do crédito acumulado de janeiro (23 kWh). Assim, a fatura da unidade consumidora em março é de R\$ 52,02. Vale ressaltar que não foi considerada a incidência do ICMS.

Até o mês de fevereiro de 2017, o Estado do Paraná não aderiu ao Convênio ICMS 16/2015. Por esse motivo, o ICMS incide sobre toda a energia consumida, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15: Fatura de unidade consumidora com geração distribuída – COPEL.

Valores Faturados					
NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELETRICA N°			- SERIE B		
Emitida em 22/02/2017					
Produto Descrição	Un.	Consumo	Valor Unitário	Valor Total	Base Aliq. Cálc. ICMS
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	kWh	3352	0,399398	1.318,57	1.318,57 25,00%
COMP CONS MICRO/MINI GERACAO				-959,43	
Base de Cálculo do ICMS		Valor ICMS		Valor Total da Nota Fiscal	
1.318,57		329,64		359,14	
Composição dos Valores			Reservado ao Fisco		
Distribuição	309,89				
Enc. Setoriais	113,96				
Energia	642,89				
Transmissão	22,89				
Tributos	329,64				
Total	1.318,57				
Demonstrativos de saldos em kWh referente a mini/microgeração, conforme REN nº 482/2012. Saldo do mês geral: 4081, saldo acumulado geral: 4081, saldo à expirar próximo mês geral: 0 O montante da devolução é resultado da multiplicação do CONSUMO COMPENSADO pela mini/microgeração (3252 kWh) pela tarifa proporcionalizada, quando for o caso. FATURA DO MÊS 01/2017 ARRECADADA POR DEBITO AUTOMÁTICO A PARTIR DE 01/02/2017 - PIS/PASEP 0,80% e COFINS 3,70%. O não pagamento da fatura 15 dias após o vencimento acarretará inclusão no cadastro de inadimplentes CADIN/PR. A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores não relacionados à prestação do serviço de energia elétrica, como convênios e doações. Períodos Band.Tarif.: Verde:21/01-20/02					

Fonte: do Autor.

A fatura de energia de uma unidade consumidora com geração distribuída deve informar a participação no sistema de compensação de energia elétrica; o saldo anterior de créditos em kWh; a energia elétrica ativa consumida; a energia elétrica ativa injetada; o histórico da energia elétrica ativa consumida e da injetada nos últimos 12 ciclos de faturamento; o total de créditos utilizados no ciclo de faturamento; o total de créditos expirados no ciclo de faturamento; o saldo atualizado de créditos; a próxima parcela do saldo atualizado de créditos a expirar; e o ciclo de faturamento em que ocorrerá. Alternativamente à inclusão de todas as informações na fatura de energia, a distribuidora pode optar por utilizar um demonstrativo específico anexo à fatura, correio eletrônico ou disponibilizado pela internet em um espaço de acesso restrito para fornecer tais informações ao consumidor. Nesse caso, a fatura deverá conter as seguintes informações: as unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica; a energia elétrica ativa consumida; a energia elétrica ativa injetada; e o saldo atualizado de créditos, conforme Art. 7, Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2016).

4.3 Normas técnicas das concessionárias

Com o objetivo de estabelecer uma comparação entre as normas de acesso das concessionárias, foram selecionadas seis distribuidoras de energia. A Tabela 6 apresenta os nomes dos estados, das concessionárias, os códigos e nomes dos respectivos manuais utilizados.

Tabela 6: Relação das concessionárias e respectivas normas de acesso de micro e minigeração.

ESTADO	CONCESSIONÁRIA	CÓDIGO	NOME DA NORMA DE ACESSO
Rio de Janeiro	Ampla	NT - Br 010/2016 R-01	Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Coelce
	Light	IT DTE/DTP 01/12	Procedimento para a conexão de microgeração e minigeração ao sistema de distribuição da Light SESA BT e MT - até Classe 36,2 kV
Santa Catarina	Celesc	I-432.0004	Requisitos para a conexão de micro ou mini geradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição
Ceará	Coelce	NT - Br 010/2016 R-01	Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Colece
Paraná	Copel	NTC 905200	Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel
Espírito Santo	EDP Escelsa	PT.DT.PDN.03.14.012	Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição em baixa tensão
		PT.DT.PDN.03.14.011	Conexão de micro e minigeradores ao sistema de distribuição em média tensão

A seguir, serão apresentados os procedimentos, requisitos e os aspectos relevantes para conexão, comparando-se as normas estaduais supracitadas.

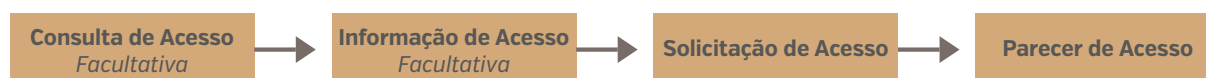
4.3.1 Procedimento de acesso

O procedimento de acesso para central geradora é constituído de quatro etapas: consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso.

A **consulta de acesso** é formulada pelo acessante e tem como objetivo obter informações técnicas para a realização de estudos necessários para o acesso. A etapa de informação de acesso é realizada pela acessada e é constituída pelas informações sobre o acesso, ou seja, é uma resposta formal à consulta. A etapa de solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante, e o parecer de acesso é o documento formal em que são apresentadas as condições de acesso, requisitos técnicos, respectivos prazos, entre outros, sendo formulado pela acessada.

Para central geradora classificada como micro ou minigeração distribuída, são obrigatórias apenas as etapas de solicitação de acesso e parecer de acesso (ANEEL, 2015). Sendo facultativas as etapas de consulta de acesso e informação de acesso, conforme fluxograma apresentado na Figura 16.

Figura 16: Fluxograma do Procedimento de acesso – para micro e minigeração distribuída.



Por meio das normas de acesso das concessionárias, é possível obter o Formulário de Acesso, conforme potência instalada da geração e quais os documentos pertinentes a cada caso. Os Anexos B, C e D apresentam os Formulários padrões. Esses documentos são padronizados pelo PRODIST e não cabe à distribuidora a opção de solicitar documentos adicionais.

4.3.2 Nível de tensão de conexão

Inicialmente, a Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 definiu acessantes de microgeração aqueles com potência instalada menor ou igual a 100 kW. Segundo o PRODIST, módulo 3, até a 5ª revisão, para esses acessantes, era determinado que a conexão ao sistema de distribuição fosse em baixa tensão. Porém, ao analisar os requisitos técnicos das diversas concessionárias atuantes no território nacional, era possível observar que muitas delas determinavam que a conexão ao sistema de distribuição para acessantes com potência entre 76 e 100 kW fosse preferencialmente em média tensão (MT), devendo ser cumpridos os requisitos técnicos para este nível de tensão de conexão. Entre as seis concessionárias analisadas, somente a Copel e Light permitem a conexão na baixa tensão de acessantes com potência instalada entre 76 e 100 kW.

A divergência entre o nível de tensão de conexão para essa faixa de potência instalada de geração está associada à classificação da tensão de conexão para unidades consumidoras, visto que a microgeração é definida por central geradora de energia elétrica conectada à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras. Dessa forma, consumidores com carga instalada maior que 75 kW, deveriam, obrigatoriamente, estar conectados ao sistema de distribuição em MT.

Em novembro de 2015, publicou-se a Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015, que alterou a Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, limitando a faixa de potência instalada para microgeração em 75 kW.

De qualquer modo, o PRODIST deixou de definir o nível de tensão considerado para conexão de micro e minicentraís geradoras a partir de sua revisão 6 (vigência a partir de 01/03/2016). Logo, a quantidade de fases e o nível de tensão de conexão da central geradora devem ser definidos pela concessionária em função das características técnicas da rede.

4.3.3 Requisitos mínimos de proteção

A proteção dos sistemas elétricos de potência é de extrema importância para a manutenção do fornecimento da energia elétrica aos consumidores e para a segurança dos equipamentos que compõem o sistema elétrico.

Dentre os equipamentos que compõem o sistema de proteção, os relés de proteção são os principais equipamentos de proteção dos sistemas elétricos. Um único relé digital pode exercer inúmeras funções de proteção, que possuem códigos padronizados pela *American National Standards Institute* (ANSI).

A seguir são listadas as principais funções de proteção que são necessárias para a conexão de uma ETE à rede da concessionária local para a compensação de energia elétrica.

- » Relé de verificação de sincronismo (25): Dispositivo que permite ou gera paralelismo entre dois circuitos quando estes estão dentro dos limites desejados de frequência, ângulo de fase e tensão;
- » Relé de subtensão (27): Atua quando sua tensão de entrada é menor do que um valor predeterminado;
- » Relé de desequilíbrio de corrente (46): Funciona quando as correntes polifásicas são de sequência de fase reversa, estão desequilibradas ou contêm componentes de sequência de fase negativos acima de um determinado volume;

- » Relé de desbalanceamento de tensão (47): Funciona a partir de um valor predeterminado de tensão polifásica na sequência de fase desejada, quando as tensões polifásicas estão desequilibradas ou quando a tensão de sequência de fase negativa excede o patamar estabelecido;
- » Relé de sobrecorrente com restrição de tensão (51V): Protege contra faltas fase-fase na distribuidora ou no acessante. Necessário quando há dificuldade em compatibilizar geração máxima e contribuição mínima para falta;
- » Relé de sobretensão (59): Relé que funciona quando a tensão de entrada é maior do que um valor predeterminado;
- » Relé direcional de sobrecorrente de fase (67): Relé que funciona em um valor desejado de sobrecorrente CA, fluindo em uma direção predeterminada;
- » Relé de proteção contra falta de sincronismo (78): Relé que funciona em um ângulo de fase predeterminado entre duas tensões ou entre duas correntes, ou entre tensão e corrente;
- » Relé derivado de frequência (81 df/dt): É uma técnica sensível para detectar ilhamentos, quando a variação da frequência é relativamente lenta, o que ocorre quando o desbalanço de potência ativa entre a geração e a carga é pequena no sistema isolado;
- » Relé de subfrequência (81U): Dispositivo que opera quando a frequência está abaixo do limite determinado;
- » Relé de sobrefrequência (81O): Dispositivo que opera quando a frequência está acima do limite determinado.

Além das funções de proteções citadas acima, outras funções que são necessárias para a conexão de micro ou minigeração, por no mínimo uma das concessionárias apresentadas na Tabela 7, são listadas a seguir:

- » Relé direcional de potência (32): Limita o fluxo de potência ativa, injetado ou consumido pelo acessante;
- » Relé de subcorrente ou subpotência (37): Funciona quando a corrente ou o fluxo de tensão diminui para um valor abaixo do predeterminado;
- » Relé de sobrecorrente instantâneo (50): Funciona instantaneamente em um valor excessivo de corrente;
- » Relé de proteção contra falha do disjuntor (50BF): Função que identifica falhas dos disjuntores/religadores dos geradores, abrindo os elementos de interrupção adjacentes ao que falhou;
- » Relé de sobrecorrente instantâneo de neutro (50N): Atua quando a corrente de neutro supera o valor ajustado;
- » Relé de sobrecorrente temporizado (51): Funciona quando a corrente de entrada excede um valor predeterminado, em que a corrente de entrada e o tempo de operação estão inversamente relacionados por meio de uma porção substancial de uma faixa de desempenho;
- » Relé de sobrecorrente temporizado de neutro (51N): O relé se comporta de maneira similar ao 50N;
- » Relé de sobretensão de sequência zero (59V): Proteção de tensão de sequência zero para faltas a terra na rede da concessionária ou na ETE. Utilizado quando o transformador de conexão possui ligação em delta do lado da concessionária;

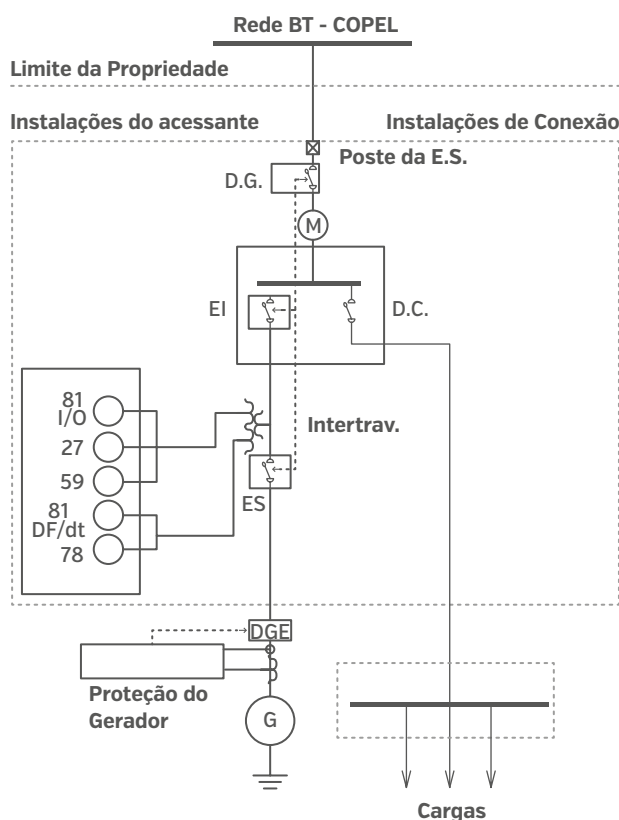
- >> Relé de sobrecorrente direcional de neutro (67N): A unidade de sobrecorrente direcional de neutro monitora correntes e tensões residuais no terminal onde se encontra instalada. Grandezas de sequência negativa também podem ser monitoradas.

Além de relés de proteção, outro equipamento importante do sistema de proteção é o disjuntor de corrente alternada (52), que é responsável pela interrupção dos circuitos do sistema elétrico.

A Figura 17 apresenta um arranjo para conexão de geração distribuída ao sistema de distribuição de baixa tensão da Copel, indicando as funções de proteção necessárias ao relé.

Figura 17: Diagrama unifilar para conexão de microgeração distribuída à rede de distribuição da Copel.

- Legenda:**
- BT - Baixa Tensão
 - E.S. - Elemento de Seccionamento e Desconexão Manual
 - EI - Elemento de Interrupção
 - D.C. - Disjuntor de Carga
 - M - Medidor de Energia Elétrica Bidirecional
 - DGE - Disjuntor do Gerador
 - G - Gerador



Fonte: COPEL, 2016.

Tabela 7: Requisitos Mínimos em Função da Potência Instalada.

A Tabela 7 contém os requisitos mínimos do ponto de conexão em função da potência instalada.

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA INSTALADA		
	≤ 75 kW	> 75 kW e ≤ 500 kW	> 500 kW e ≤ 5 MW
Elemento de desconexão ⁽¹⁾	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção ⁽²⁾	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento ⁽³⁾	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim

Proteção de sub e sobrefrequência	Sim ^[4]	Sim ^[4]	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de Sincronismo	Sim ^[5]	Sim ^[5]	Sim ^[5]
Anti-ilhamento	Sim ^[6]	Sim ^[6]	Sim ^[6]
Medição	Sistema de Medição Bidirecional ^[7]	Medidor de 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

[1] Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema, exceto para microgeradores e minigeradores que se conectam à rede por meio de inversores, conforme item 4.4 desta Seção.

[2] Elemento de interrupção automático acionado por proteção para microgeradores distribuídos e por comando e/ou proteção para minigeradores distribuídos.

[3] Transformador de interface entre a unidade consumidora e rede de distribuição.

[4] Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.

[5] Não é necessário relé de sincronismo específico, mas um sistema eletroeletrônico que realize o sincronismo com a frequência da rede e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção, de maneira que somente ocorra a conexão com a rede após o sincronismo ter sido atingido.

[6] No caso de operação em ilha do acessante, a proteção de anti-ilhamento deve garantir a desconexão física entre a rede de distribuição e as instalações elétricas internas à unidade consumidora, incluindo a parcela de carga e de geração, sendo vedada a conexão ao sistema da distribuidora durante a interrupção do fornecimento.

[7] O sistema de medição bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede.

Fonte: ANEEL, 2016.

A partir dos requisitos mínimos, desde que justificadas tecnicamente, a concessionária pode propor proteções adicionais em função de características específicas do sistema de distribuição acessado.

Para melhor ilustrar como as concessionárias diferem entre si quanto às exigências de proteção do ponto de conexão, foi montada uma tabela comparativa para minigeração com potência instalada maior que 500 kW. Essa faixa foi escolhida, pois observou-se que é neste intervalo de potência que se obtém maior diferença entre as exigências das normas de acesso e PRODIST.

A partir da Tabela 8 é possível observar que apenas a norma da Celesc (Santa Catarina) não exige todas as funções que aparecem na Tabela 7, de acordo com a faixa de potência analisada. As concessionárias Ampla, Coelce e EDP Escelsa exigem as mesmas proteções constantes da Tabela 7. Já as concessionárias Copel e Light cumprem as exigências da Tabela 7, além de exigir a instalação de funções de proteções extras para potência instalada acima de 75 kW.

Tabela 8: Tabela comparativa de obrigatoriedades das funções de proteção para conexão na média tensão – Potência entre 501 kW e 5 MW.

Funções ANSI	27	59	81U	810	25	78 e/ou 81 df/dt	50 e 51	50N e 51N	59N	46	47	67	67N	51V	50BF	32	37
PRODIST	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-
Ampla	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-
Celesc	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Coelce	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-
Copel	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
EDP Escelsa	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-
Light	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-

[27] – relé de subtensão

[59] – relé de sobretensão

[81U] – relé de subfrequência

[810] – relé de sobrefrequência

[25] – relé de verificação de sincronismo

[78] – relé de proteção contra falta de sincronismo

[81 df/dt] – relé derivada de frequência

[50] – relé de sobrecorrente instantâneo

[51] – relé de sobrecorrente temporizado

[50N] – relé de sobrecorrente instantâneo de neutro

[51N] – relé de sobrecorrente temporizado de neutro

[59N] – relé de sobretensão de neutro

[46] – relé de desbalanceamento de corrente

[47] – relé de desbalanceamento de tensão

[67] – relé direcional de sobrecorrente de fase

[67N] – relé de sobrecorrente direcional de neutro

[51V] – relé de sobrecorrente com restrição de tensão

[50 BF] – relé de proteção contra falta de disjuntor

[32] – relé direcional de potência

[37] – relé de subcorrente ou subpotência

4.3.4 Observações gerais

Alguns outros aspectos são importantes de serem citados:

- >> Não há necessidade de assinatura do Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD) e do Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição (CCD) para centrais geradoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora local (ANEEL, 2015).
- >> Para instalações termoelétricas, como as a biogás utilizadas nas ETEs, é importante verificar as condições da licença ambiental da instalação, que acompanhará o projeto do sistema de micro e minigeração.
- >> Em função do nível de potência implantada para a minigeração, o sistema de proteção torna-se mais complexo, sendo necessária a **implantação de um número maior de funções de proteção, acessórios, sistemas de comunicação** (fibra ótica, GPRS, etc.) entre a unidade de geração e a subestação da distribuidora local, GPS, entre outros.
- >> Os **parâmetros de qualidade** das unidades de micro e de minigeração devem respeitar o módulo 8 do PRODIST.
- >> Os **critérios de segurança** devem atender o disposto na NR-10, bem como as orientações feitas pela distribuidora local.

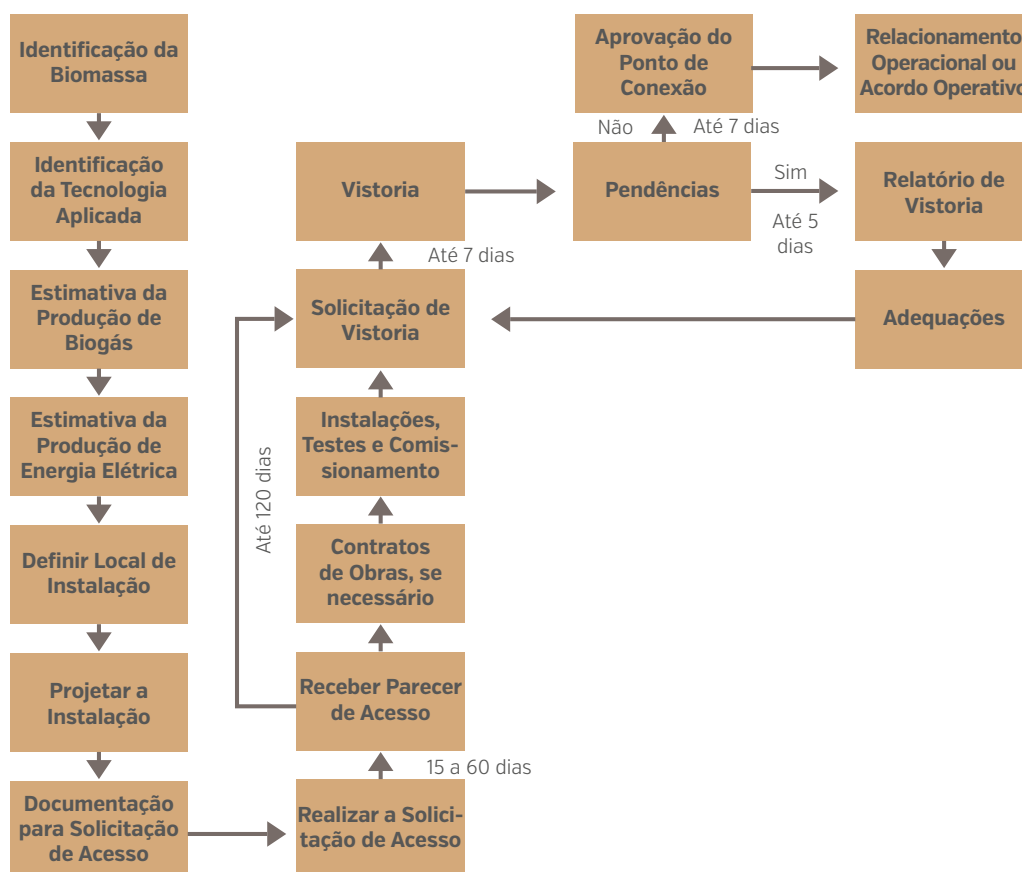
- » Quanto ao **sistema de medição**, a distribuidora é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, sem custos para o acessante, no caso de microgeração distribuída, assim como pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição. Para conexão de minigeração distribuída, o acessante é responsável por ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição (ANEEL, 2016).

4.4 Passo a passo para geração distribuída a biogás em ETEs

O fluxograma da Figura 18 apresenta, de forma geral, as etapas relativas ao processo e à implementação da geração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica a partir de biogás oriundo do tratamento de esgoto. O processo trata desde a identificação da biomassa até a celebração dos contratos para micro e minigeração distribuída.

Deve-se ressaltar a necessidade de contratar uma empresa especializada para executar as etapas necessárias, descritas a seguir, para a implantação de GD em ETEs. A empresa deverá ser responsável por projetar e instalar os equipamentos necessários para a captação, o armazenamento do biogás, a geração de energia e realizar a conexão à rede do sistema de geração a biogás. Nesse ponto, é importante atenção às regras da Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, Módulo 3 do PRODIST e às Normas Técnicas da distribuidora local. A empresa também será responsável por obter as licenças ambientais necessárias junto ao órgão estadual competente.

Figura 18: Etapas relativas ao processo e implementação da GD.



A seguir é apresentada uma breve descrição de cada uma dessas etapas.

- >> Identificação da biomassa: A unidade com potencial de geração de energia elétrica precisa, inicialmente, ser caracterizada a partir da biomassa disponível, em relação à quantidade e às qualidades. Os dados obtidos são necessários para dar entrada nos cálculos de estimativas de produção e permitem o entendimento da tecnologia aplicada e a dinâmica de produção de resíduos e efluentes.
- >> Identificação da tecnologia aplicada: A tecnologia de tratamento de efluente precisa ser detalhadamente identificada, com o objetivo de identificar considerações necessárias nas estimativas de produção de biogás. As tecnologias comuns aplicadas em ETEs são os sistemas convencionais e os sistemas de alta taxa.
- >> Os sistemas anaeróbios convencionais operam com baixa carga volumétrica e são formados pelos digestores de lodo, lagoas anaeróbias e tanques sépticos. Já os sistemas de alta taxa são formados pelos reatores anaeróbios, como o reator UASB. No caso, deve ser identificado na ETE o processo anaeróbio que gera o biogás: tratamento de esgoto ou de lodos.
- >> Estimativa de produção de biogás: Após a identificação da unidade e da tecnologia aplicada em seu manejo, é possível realizar a estimativa do potencial de produção de biogás.

Existem vários modelos de estimativa de biogás, como o do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) e o da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 2013). Esses modelos podem superestimar a produção de biogás em reatores UASB em até 7 vezes, inviabilizando financeira e economicamente os projetos que vislumbram o aproveitamento energético do biogás (SANEPAR; UFMG, 2015).

Desse modo, Lobato (2011) apresentou um modelo matemático para estimativa de biogás no qual o balanço de massa da demanda química de oxigênio (DQO) em reatores UASB leva em consideração todas as parcelas possíveis de conversão da matéria orgânica e perdas de metano. A partir do modelo de Lobato (2011), foi desenvolvido pela Sanepar, em parceria com a UFMG, um *software* intitulado ProBio – Programa de Estimativa de Produção de Biogás em Reatores UASB, que possibilita uma estimativa mais acurada das taxas de produção de biogás. A versão 1.0 do ProBio é gratuita e está disponível para *download* em site.sanepar.com.br/probio/probio.zip.

O modelo matemático foi desenvolvido considerando três situações que acarretam em potenciais de recuperação de metano diferentes: (i) pior situação; (ii) situação típica e (iii) melhor situação. A pior situação, na qual o potencial energético é menor, refere-se a sistemas operando com esgoto mais diluído, concentrações de sulfato maiores, menor eficiência de remoção de DQO e maiores índices de perda de metano. A melhor situação, em que o potencial energético é maior, refere-se a sistemas operando com esgoto mais concentrado, menores concentrações de sulfato, maior eficiência de remoção de DQO e menores índices de perda de metano. Para a situação típica são utilizados valores intermediários para os dados de entrada (LOBATO, 2011).

Vale ressaltar que esse modelo apresenta uma estimativa da produção de biogás em reatores UASB. Caso seja possível, devem-se realizar campanhas para medição de vazão e caracterização dos gases do efluente. Desse modo, é possível chegar a valores mais fiéis para estimar a produção de energia elétrica.

Estimativa de produção de energia elétrica: Utilizando os dados de produção de biogás, tem-se o volume de combustível disponível para geração de energia elétrica. A potência instalada do grupo motor-gerador deve ser definida a partir do volume médio diário de biogás produzido.

$$VPL = PE_{(REAL-CH_4)} = Q_{(N-REAL-CH_4)} \times E_{(CH_4)} \times 0,2778 \times \eta$$

Em que,

- >> $PE_{(REAL-CH_4)}$ = potencial energético disponível ($kWh \cdot d^{-1}$);
- >> $Q_{(N-REAL-CH_4)}$ = produção real normalizada de metano ($Nm^3 \cdot d^{-1}$);
- >> $E_{(CH_4)}$ = poder calorífico inferior do metano ($35,9 MJ \cdot Nm^{-3}$);
- >> η = rendimento do grupo motogerador;
- >> 0,2778 = conversão de 1 MJ em 1 kWh.

Usualmente, o número de horas de funcionamento depende de características da demanda local de energia, tendo em vista que a conexão em GD preconiza a exportação do excedente.

A escolha do grupo motogerador a utilizar depende do consumo de energia na unidade e da disponibilidade de biogás. O arranjo mais utilizado é dimensionar o gerador com base no consumo médio para operação durante as horas de operação da unidade, com 8 a 10 h de operação por dia.

Decidir o local de instalação

A empresa contratada deverá inspecionar o local onde será instalado o microgerador ou minigeração, observando fatores que podem influenciar no projeto.

Projetar a instalação

Deverão ser elaborados os projetos necessários para adequação da ETE para a geração distribuída. Nesse item, são incluídos tanto os projetos elétricos como os civis.

Documentação necessária para solicitação de acesso

Obter a lista de documentos a serem apresentados durante a solicitação de acesso, além de normas, padrões e procedimentos técnicos a se seguir na elaboração do projeto do microgerador.

Além do Formulário de Solicitação de Acesso para microgeração e minigeração distribuída (Anexos B, C e D), devem ser apresentados os documentos pertinentes a cada caso, conforme potência instalada da geração. Esses documentos estão listados abaixo, não cabendo à distribuidora solicitar documentos adicionais nos Formulários.

- >> Para **microgeração** em ETEs:
 - >> ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do responsável técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração;

- » Diagrama unifilar contemplando as etapas de geração, proteção e medição, além do memorial descritivo da instalação (para microgeração com potência igual ou inferior a 10 kW);
 - » Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo (para microgeração com potência superior a 10 kW);
 - » Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção (para microgeração com potência superior a 10 kW);
 - » Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL;
 - » Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento. Essa lista deve conter outras ETEs para compensar o crédito de energia gerado na ETE com *net metering*, caso haja interesse;
 - » Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver);
 - » Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver).
- » Para **minigeração** em ETEs:
- » ART do responsável técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração;
 - » Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo;
 - » Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão;
 - » Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção;
 - » Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg;
 - » Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos;
 - » Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver);
 - » Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver).

Realizar a solicitação acesso

Deverá ser formalizada a solicitação de acesso, encaminhando a documentação, os dados e as informações pertinentes, todos obtidos no item anterior.

Uma vez entregue à concessionária, a solicitação de acesso implica a prioridade de atendimento de acordo com a ordem cronológica de protocolo. A distribuidora é a responsável pela coleta e pelo envio à ANEEL das informações para Registro de microgeração e minigeração distribuída, nos termos da regulamentação específica.

Receber parecer de acesso

A distribuidora acessada tem de 15 a 60 dias para emitir o parecer de acesso e encaminhá-lo por escrito à ETE. O prazo depende da classificação da central

geradora e das condições do sistema no local, no sentido de precisar ou não realizar melhorias ou reforços no sistema de distribuição acessado.

Nesse documento, são informadas as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos de acesso que permitam a conexão das instalações da ETE, com os respectivos prazos, devendo indicar, quando couber:

- >> As características do ponto de entrega, acompanhadas das estimativas dos respectivos custos, conclusões e justificativas;
- >> As características do sistema de distribuição acessado, incluindo requisitos técnicos, tensão nominal de conexão e padrões de desempenho;
- >> Orçamento da obra, contendo o memorial de cálculo dos custos orçados, do encargo de responsabilidade da distribuidora e da participação financeira do consumidor;
- >> A relação das obras de responsabilidade da ETE, com correspondente cronograma de implantação;
- >> As informações gerais relacionadas ao local de ligação – tipo de terreno, faixa de passagem, características mecânicas das instalações, sistemas de proteção, controle e telecomunicações disponíveis;
- >> Modelo de Acordo Operativo para minigeração ou o Relacionamento Operacional para microgeração;
- >> As responsabilidades da ETE;
- >> A relação das obras de responsabilidade da acessada, com correspondente cronograma de implantação;
- >> Informações sobre equipamento e cargas suscetíveis de provocar distúrbios ou danos no sistema de distribuição ou instalação de outros acessantes.

Contratos de obras

Caso seja identificada a necessidade de obras de reforço na rede da concessionária, em função do aumento de demanda ou decorrentes exclusivamente da conexão da minigeração, deverão ser formalizados contratos, se houver a necessidade de participação financeira da unidade consumidora.

Instalações, testes e comissionamento

Instalar, comissionar e testar a micro ou minigeração distribuída.

Solicitação de vistoria

Solicitar vistoria da distribuidora até 120 dias após a emissão do parecer de acesso.

Vistoria

Acompanhar a vistoria da distribuidora. A vistoria deverá acontecer no prazo de 7 dias após a solicitação formal.

Relatório de vistoria

Caso haja pendências, a ETE receberá o Relatório de Vistoria, em até 5 dias.

Adequações

Caso seja solicitado no Relatório de Vistoria, deverão ser realizadas as adequações das instalações.

Aprovação do ponto de conexão

Caso não sejam encontradas pendências, até 7 dias após a realização de vistoria, a distribuidora deverá enviar a aprovação do ponto de conexão, realizar adequação do sistema de medição e iniciar o sistema de compensação de energia, liberando a microgeração ou minigeração distribuída para sua efetiva conexão.

Relacionamento Operacional ou Acordo Operativo

Para micro e minigeração distribuída, é dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão na qualidade de central geradora para os participantes do sistema de compensação de energia elétrica, sendo necessária apenas a emissão pela distribuidora do Relacionamento Operacional para microgeração, ou celebração do Acordo Operativo para minigeração.

Após estas etapas, a ETE está liberada para gerar energia elétrica e disponibilizar o excedente na rede da distribuidora (*net metering*).

5

ESTUDO DE CASO: ETE OURO VERDE

A ETE Ouro Verde (Figura 19) é uma planta localizada no município de Foz do Iguaçu, no Estado do Paraná. A ETE, que pertence à Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, foi a primeira usina brasileira de geração distribuída de energia elétrica movida a biogás oriundo do tratamento anaeróbio de esgoto a ser cadastrada junto a ANEEL. A ETE Ouro Verde também foi a primeira no país a aderir ao sistema de compensação de energia elétrica preconizado pelas Resoluções Normativas da ANEEL nº 482/12 e 687/15, sendo enquadrada como unidade microgeradora.

Figura 19: ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu.



5.1 Características da ETE Ouro Verde

A ETE Ouro Verde iniciou sua operação em 1997 e possui capacidade de atendimento de até 35.000 habitantes, podendo tratar até 70 L/s de esgoto doméstico. Seu processo de tratamento do esgoto é constituído pelas etapas físicas de remoção de sólidos grosseiros com base em gradeamento e desarenação, e pela etapa de degradação biológica em um Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF), um reator cujo princípio de funcionamento é semelhante ao reator do tipo UASB.

A ETE opera, atualmente, com uma eficiência de aproximadamente 75% na remoção da matéria orgânica. Como subproduto, a ETE produz anualmente cerca de 20 toneladas de lodo que, após higienização, é utilizado pelos agricultores da região como fertilizante.

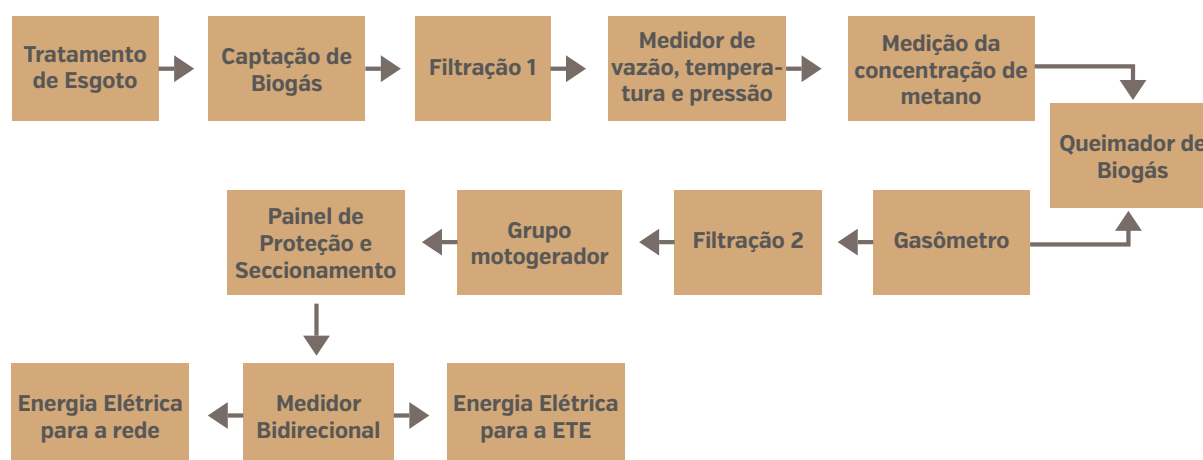
Outro subproduto do processo anaeróbio de tratamento de esgoto é o biogás, cuja produção estimada é de 50 Nm³/dia. O biogás formado no RALF é captado em uma tubulação de PVC e forçado a passar por um filtro à base de limalha de ferro, onde é dessulfurizado.

Para impedir que uma eventual propagação de chama atinja a câmara de gás do reator, instalaram-se duas válvulas corta-chama do tipo colmeia próximas ao RALF. Após ser dessulfurizado, o biogás é guiado até um ga-

sômetro cilíndrico horizontal com capacidade para armazenar até 50 m³, constituído por uma manta plástica de PVC e uma válvula de alívio hídrica, que atua em caso de excesso de gás.

Quando não se pretende armazenar o biogás no gasômetro ou quando se deseja esvaziá-lo, o biogás é direcionado por meio de duas derivações posicionadas antes e depois do gasômetro, conduzindo-o até um queimador. Quando se deseja gerar energia elétrica, o biogás é conduzido até um grupo motogerador, onde é queimado e sua energia convertida em energia elétrica. A Figura 20 apresenta o fluxograma do processo de geração de energia elétrica na ETE Ouro Verde.

Figura 20: Fluxograma de processo para geração de energia elétrica na ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu.



O conjunto motogerador da ETE possui potência nominal de 30 kW (Figura 21) e um Painel de Sistema de Monitoramento, Controle e Proteção (SMCP), responsável pelo atendimento dos critérios de conexão da unidade geradora à rede de distribuição e monitoramento de grandezas elétricas.

Além disso, junto à entrada de serviço da concessionária de energia elétrica, há instalado um Painel de Proteção e Seccionamento (Figuras 22 a 24). Esse painel é responsável por isolar o sistema elétrico da ETE durante a ocorrência de algum problema na rede de distribuição da concessionária ou caso o grupo motogerador da ETE não atenda os padrões de qualidade estabelecidos pelas normas vigentes para a energia elétrica injetada na rede. Complementando todo esse sistema, há um sistema de monitoramento

Figura 21: Grupo motogerador de energia elétrica movido a biogás instalado na ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu



Figura 22: Painel de Proteção e Seccionamento



Figura 23: Detalhe interno do Painel de Proteção e Seccionamento



Figura 24: Entrada de serviço da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu

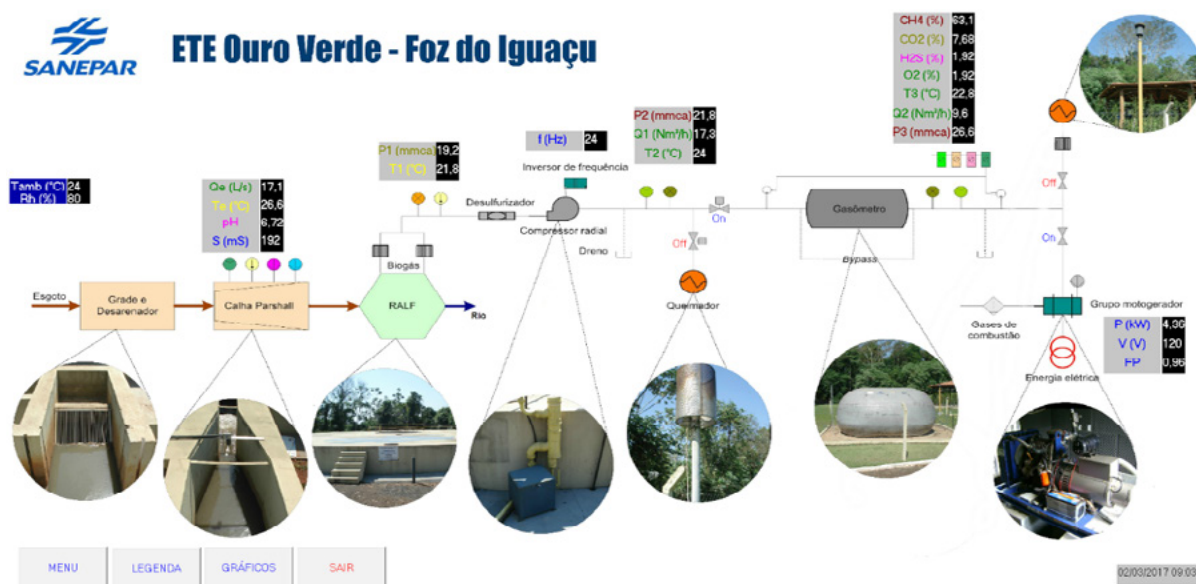


instalado na unidade que realiza a aquisição de dados referentes à qualidade e à quantidade do esgoto que chega na ETE e do biogás nela gerado. Além disso, monitoram-se os processos de geração de energia elétrica e de conexão com a rede de distribuição. Essas informações permitem avaliar a eficiência do processo como um todo na ETE e subsidiam a implantação de sistemas similares em outras unidades. A Figura 25 ilustra a tela do sistema supervisorizado da ETE.

O consumo médio de energia elétrica da ETE Ouro Verde é de 812 kWh/mês. Estima-se que o sistema de geração distribuída pode produzir até 3.600 kWh/mês, disponibilizando um excedente de energia de cerca de 2.788 kWh/mês. No entanto, atualmente, o sistema opera em regime de batelada, conforme demandas dos projetos de pesquisa e desenvolvimento, e por aproximadamente 2 horas por dia.

Em 2006, visando ao desenvolvimento da geração distribuída no Brasil, iniciou-se o “Programa de

Figura 25: Tela do sistema supervisório da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu



5.2 Conexão a geração distribuída

Geração Distribuída com Saneamento Ambiental”, no estado do Paraná. Esse programa contou com a participação de diversas empresas, entre elas a Copel, a Sanepar e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI). Na oportunidade, estruturaram-se seis unidades piloto de produção de biogás com geração de energia elétrica, tanto da área da agroindústria, quanto de saneamento, incluindo a ETE Ouro Verde.

Já em 2009, essas seis unidades foram contempladas em contratos de venda de energia elétrica para a Copel por três anos, após Chamada Pública da concessionária. Essas foram as primeiras unidades no país a assinarem contratos com tal natureza. Esse projeto, auxiliou na publicação da Resolução Normativa nº 390, de 15 de dezembro de 2009, publicada pela ANEEL, que regulou a geração distribuída no país.

Com a publicação da Resolução Normativa da ANEEL nº 482/12, e o término dos contratos de venda de energia, as unidades tiveram que se readequar às novas exigências, aderindo também ao sistema de compensação de energia. Dessa forma, fez-se necessária a realização de alterações e adaptações, principalmente, sobre os aspectos de proteção do sistema elétrico, de acordo com as novas Normas Técnicas da Copel, as quais exigiram a instalação do Painel de Proteção e Seccionamento nas proximidades do ponto de conexão.

Nesse sentido, seguiram-se os procedimentos expostos no item 4.3 deste documento e elaboraram-se os projetos associados com a ETE Ouro Verde para apresentação a Copel, de acordo com a norma NTC 905200. As Figuras 26, 27 e 28 apresentam alguns dos desenhos elaborados durante o projeto.

Dentre as informações enviadas para a concessionária, citam-se como rele-

Figura 26: Planta de situação da ETE Ouro Verde
- Foz do Iguaçu

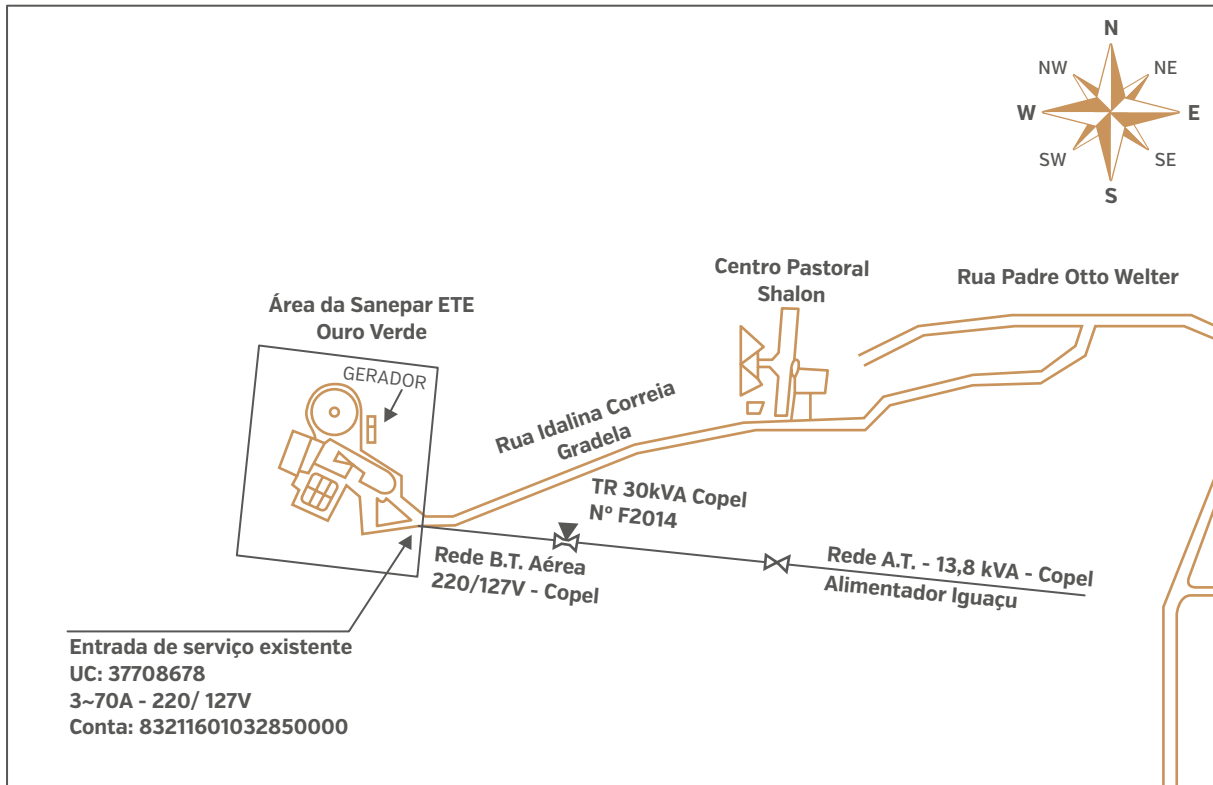


Figura 27: Diagrama unifilar da ETE Ouro Verde - Foz do Iguaçu

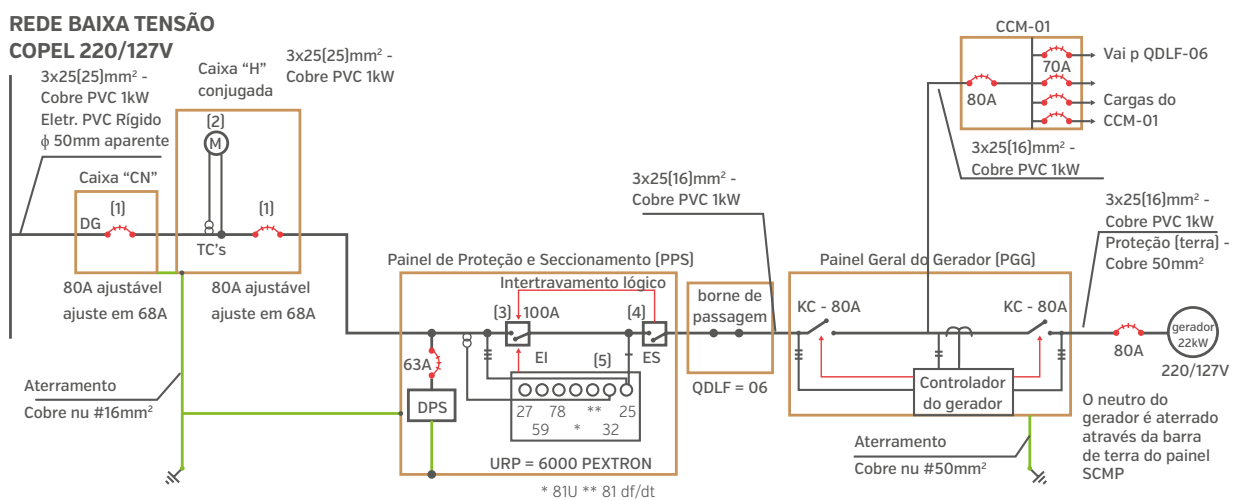
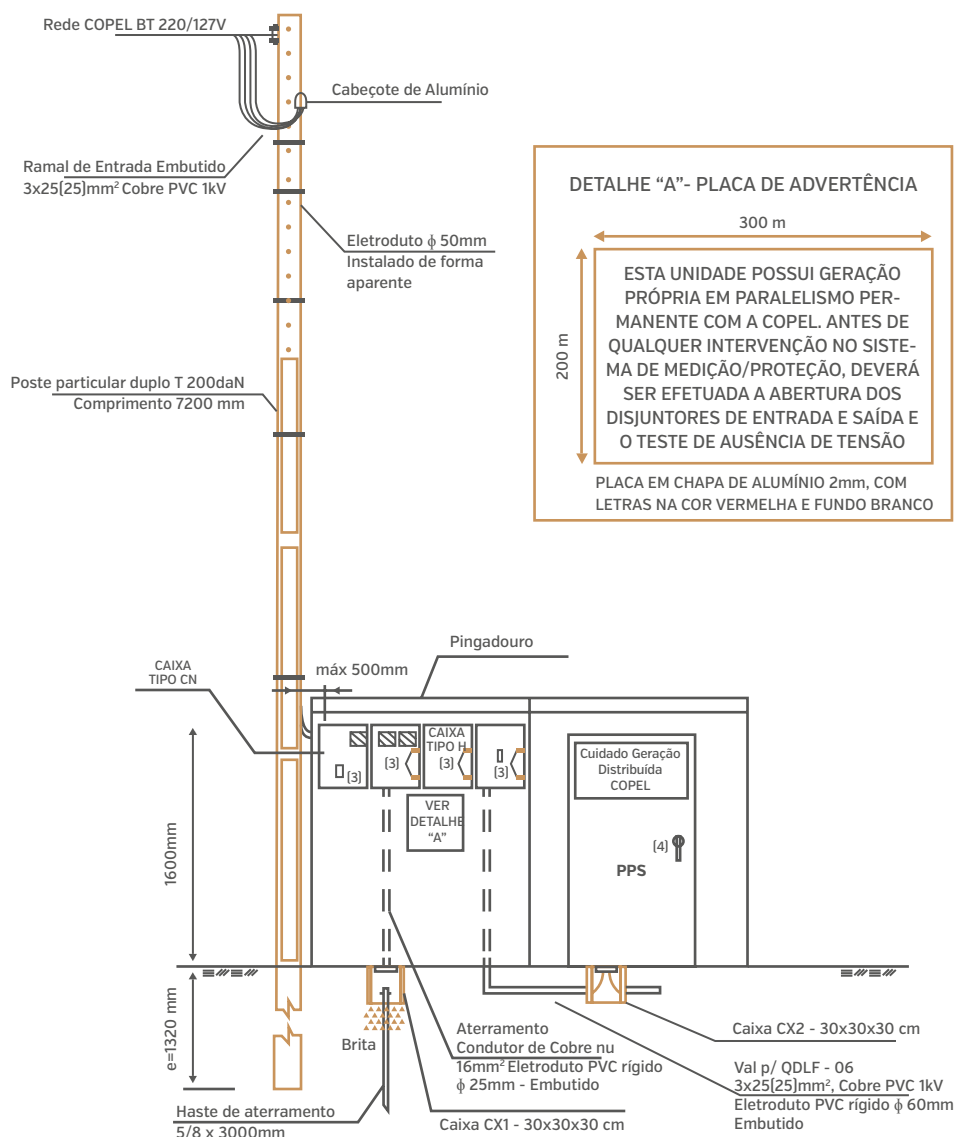


Figura 28: Entrada de serviço da ETE Ouro Verde – Foz do Iguaçu



vantes no processo de avaliação do projeto:

- » Mapa com as coordenadas para chegada no local da instalação;
- » Informações técnicas sobre disjuntores, seccionadoras e relé de proteção utilizados, além dos respectivos ajustes implementados no sistema;
- » Cálculo de dimensionamento de transformadores de corrente (TC) e de potencial (TP);
- » Lógica de atuação e ajustes das proteções do Painel de Proteção e Seccionamento e do controlador do gerador;
- » A licença ambiental do local de instalação do sistema;
- » ART devidamente registrada no CREA assinada pelo engenheiro eletricitista responsável pelo projeto.

A implantação da geração distribuída na ETE Ouro Verde, assim como outros projetos nessa mesma área de atuação, apresentou grandes desafios

5.3 Dificuldades observadas e lições aprendidas

às empresas envolvidas. A Resolução nº 482/12 foi publicada com a finalidade de regular a implantação de micro e minigeradores e facilitar a adesão desses sistemas a rede elétrica. No entanto, há barreiras ainda a serem vencidas para o melhor uso da alternativa.

1. Nas distribuidoras de energia elétrica:

Dentro das concessionárias de energia, os procedimentos ainda se apresentam em fase de internalização. Os processos são relativamente novos e estão em constante aperfeiçoamento, o que causa constantes alterações em resoluções e normas dessas empresas.

É necessário que os profissionais envolvidos nos projetos de implantação de geração distribuída se mantenham constantemente atualizados acerca das alterações recorrentes das normas e procedimentos. É desejável ainda que se possível, esses profissionais mantenham contato direto com os responsáveis nas concessionárias para buscar mais agilidade e transparência nos processos.

2. Nas prestadoras de serviços associados à geração distribuída de energia elétrica:

O mercado dispõe de poucas empresas com experiência na elaboração de projetos, instalação e fornecimento de equipamentos para geração distribuída. Esse fato se agrava nos casos em que se utiliza o aproveitamento do biogás, ou seja, uso de máquinas girantes que aproveitam a queima desse biogás em motores, gerando energia elétrica com alternadores acoplados aos eixos dessas máquinas.

Desse modo, ainda não há no mercado uma padronização das instalações e equipamentos utilizados, ao contrário do que acontece com a geração solar, por exemplo. Esse fato dificulta, entre outros:

- >> A implantação dos sistemas pelos prestadores de serviço, já que esses devem adequar os projetos elaborados aos equipamentos disponíveis em mercado, que nem sempre são os mais indicados ao uso nesses sistemas;
- >> A aquisição de equipamentos, que possuem sua disponibilidade sob demanda do mercado, elevando os prazos e custos para implementação dos projetos;
- >> A análise por parte das concessionárias, que necessitam de análise minuciosa de cada componente de todo novo projeto;
- >> O tempo de resposta das empresas quando da ocorrência de problemas nas unidades geradoras, as quais ficam períodos consideráveis sem a possibilidade de geração da energia elétrica.

3. Nos clientes – prestadores de serviços de saneamento:

Por parte dos clientes, em geral, a produção de energia elétrica trata-se de uma atividade complementar na unidade em que está instalada. Assim, na maior parte dos casos, há poucos profissionais com capacitação técnica e disponibilidade de tempo para realizar a operação e a manutenção dos sistemas de geração distribuída, bem como para identificar e equacionar eventuais problemas que podem ocorrer no local.

Apesar das dificuldades, observam-se avanços em iniciativas de pesquisas que possibilitaram um melhor entendimento dos processos de geração,

quantificação e caracterização dos processos, permitindo estimativas mais acuradas, o que contribui para diminuição dos riscos associados aos projetos.

Os produtos entregues nacionalmente apresentam aos poucos uma melhora em sua qualidade, sendo hoje possível a utilização desses componentes ao invés de sua importação. Isso permite que os custos dos projetos e da manutenção dos equipamentos seja reduzida, além de reduzir o intervalo de tempo de implantação de futuros projetos e reposição de peças, quando necessário.

Adicionalmente, programas têm sido desenvolvidos em todo o país abordando a temática de geração de biogás e seu aproveitamento, muitos envolvendo agências governamentais. Isso mostra interesse do poder público no tema e gera uma expectativa otimista para o Brasil.

Por fim, ressalta-se que a criação de políticas públicas para incentivo dessa forma de geração, a maior capacitação de profissionais, o aumento do número empresas aptas a trabalhar no setor e a disponibilidade de informação aos consumidores dessa alternativa são elementos de extrema importância para alavancar de vez o setor no país.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE ENERGIA. **21 estados já aderiram a convênio que isenta geração distribuída de ICMS**. Disponível em: < <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2016/08/21-estados-ja-aderiram-convenio-que-isenta-geracao-distribuida-de-icms/30123>>. Acesso em 24/10/2016.

AMPLA. **Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Coelce**. Disponível: < <https://www.ampla.com/media/397671/nt-br%20010%20r-01%20ampla%20copia%20nao%20controlada.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília, 2014.

ANEEL. **Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012 – atualizada em 01/03/2016**. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/FAQ_GD_Atualizado.pdf>. Acesso em: 15/10/2016.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo3_Revisao_6%20-%20LIMPO.pdf>. Acesso em: 07/03/2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004077.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2005167.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 427, de 22 de fevereiro de 2011**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2011427.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

ANEEL. **Entendendo a Tarifa**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa>. Acesso em: 18/08/2016.

AZEVEDO, A. C. S., BARBOSA FILHO, W. P. **Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens**. Disponível em: < http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnaclimatica/2014/artigo_gd.pdf>. Acesso em: 10/01/2016.

BONA, F. S.; RUPPERT FILHO, E. **As microturbinas e a geração distribuída**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Disponível em: < http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100018&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 16/11/2016.

BRASIL. Constituição [1988]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Decreto nº 2003, de 10 de setembro de 1996**. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. Brasília, 1996.

BRASIL. **Decreto nº 5163, de 30 de julho de 2004**. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2004.

BRASIL. **Lei nº 10848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Brasília, 2004.

BRASIL. **Lei nº 9074, de 7 de julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Brasília, 1995.

BRASIL. **Lei nº 9427, de 7 de julho de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, 1996.

BRASIL. Ministério de Estado de Minas e Energia. **Portaria nº 538 15 de dezembro de 2015**. Brasília, 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. **Combustão do metano**. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/22081>>. Acesso em: 18/08/2016.

CARÇÃO, J. F. C. **Tarifas de energia elétrica no Brasil**. 2011. 103p. Dissertação [Mestrado em Engenharia] – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CASTRO, M. A. **Inovações na regulação sobre micro e minigeração distribuída**. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/2068-inovacoes-na-regulacao-sobre-micro-e-minigeracao-distribuida.html>>. Acesso em: 15/08/2016.

CELESC. **Requisitos para a conexão de micro ou mini geradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição**. Disponível em: <<http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/Normativa-GD-revisao-03-2016.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

COELCE. **Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Coelce**. Disponível em: <<https://www.coelce.com.br/media/98804/nt-br%20010%20r-01%20coelce%20copia%20nao%20controlada.pdf>>. Acesso em: 10/03/2016.

COPEL. **Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel.**

Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/E00A539C1F08DF2003257F69004DF8BC/\\$FILE/NTC%20905200%20Acesso%20de%20Micro%20e%20Minigera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADda.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/E00A539C1F08DF2003257F69004DF8BC/$FILE/NTC%20905200%20Acesso%20de%20Micro%20e%20Minigera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADda.pdf)>.

Acesso em: 10/03/2016.

EDP ESCELSA. **Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição em**

baixa tensão. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/tecnicas/Central-Geradora/Documents/Forms/DispForm.aspx?ID=4>>.

Acesso em: 10/03/2016.

EDP ESCELSA. **Conexão de micro e minigeradores ao sistema de distribuição em**

média tensão. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/tecnicas/Central-Geradora/Documents/PT.DT.PDN.03.14.011.pdf>>.

Acesso em: 10/03/2016.

ELÉTRICA E FINANÇAS. **Resultado da microgeração para o mês de abril.**

Disponível em: <<https://eletricaefinancas.wordpress.com/category/energia-solar/>>.

Acesso em: 25/10/2016.

EPE. **Balanco Energético Nacional: Ano base 2015.** Rio de Janeiro: EPE, 2016.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change, – Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Volume 5 – Waste, 2006.

LIGHT. **Procedimentos para a conexão de microgeração e minigeração ao**

Sistema de Distribuição da Light SESA BT e MT – Até Classe 36,2 kV. Revisão

03. Disponível em: <http://www.light.com.br/Repositorio/Recon/LIGHT_Informacao_Tecnica_DTE_DTP_01_2012_MARCO_2016.pdf>. Acesso em: 10/03/2016.

LIMA, A. C. G., PASSAMANI, F. C. **Avaliação do Potencial Energético do biogás**

produzido no reator UASB da ETE-UFES. 2012. 106 p. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Ambiental]. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores**

UASB Tratando Esgoto Doméstico. 2011. 173p. Tese [Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos] – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de Termodinâmica para engenharia.** 6 ed.

Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MSPC. **Termodinâmica V-30.** Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/termo/termo0530.shtml>>.

Acesso em: 23/07/2016.

PECORA, V. **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. 153p. Dissertação [Mestrado em Energia] – Universidade de São

Paulo, São Paulo, 2006.

PIZETA, E. G. **Análise da regulamentação do suprimento de energia elétrica aos pólos industriais como fator de competitividade**. 2009. 165 p. Dissertação [Mestrado em Engenharia Elétrica] – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Projeto COM+ÁGUA. **Gestão de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.pmss.gov.br/index.php/projeto-com-agua/gestao-de-energia-eletrica>. Acesso em: 13/12/2016. Ministério das Cidades, 2015.

PROBIOGÁS. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto**. Brasília: Ministério das Cidades, 2015.

PROCEL. 2011. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 18/08/2016.

ROMAGNOLE, H. C. **Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do setor elétrico brasileiro**. Dissertação [Mestrado em Engenharia Elétrica] - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SAMPAIO, F. P. **Produção centralizada a biogás – Análise do impacto a nível cooperativo**. Dissertação [Mestrado em Engenharia Eletrotécnica] – Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2012.

SANEPAR; UFMG. **Programa de estimativa de produção de biogás em reatores UASB**. Disponível em: <site.sanepar.com.br/probio/probio.zip>. Acesso em: 10/10/2016.

SOLAR ENERGY. **Como funciona a Energia Solar**. Disponível em: < <http://solarenergy.com.br/saiba-como-funciona-a-energia-solar/>>. Acesso em: 16/11/2016.

APÊNDICE A

Glossário

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): Autarquia sob regime especial, vinculada ao MME, que tem a finalidade de regular e fiscalizar a produção, a transmissão, a distribuição e a comercialização de energia elétrica. Foi criada pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.

Autoprodutor: Pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo, mediante autorização da ANEEL, comercializar seus excedentes de energia.

Baixa tensão de distribuição (BT): Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou inferior a 1 kV.

Carga: É a caracterização da demanda do sistema, em um determinado ponto de interesse, definida por uma ou mais das seguintes grandezas: potência ativa, demanda de energia ativa e demanda de energia reativa.

Carga instalada: Soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora e em condições de entrar em funcionamento, expressa em quilowatts (kW).

Central geradora: Agente que explora a atividade de geração de energia elétrica e que pode deter instalações de interesse restrito. Incluem-se, neste conceito, autoprodutores, cogeneradores e produtores independentes.

Cogeração de energia: Processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária.

Cogeração qualificada: Atributo concedido a cogeneradores que atendem aos requisitos definidos em resolução específica, segundo aspectos de racionalidade energética, para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração.

Consumidor: Pessoa física ou jurídica, ou comunhão de fato ou de direito, legalmente representada, que solicite o fornecimento de energia elétrica e/ou o uso do sistema elétrico à distribuidora e assuma a responsabilidade pelo pagamento das faturas e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL, assim vinculando-se aos contratos de fornecimento, de uso e de conexão ou de adesão.

Demanda: Média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilo-volt-ampère-reactivo (kVAr) respectivamente.

Distribuidora: Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica.

Energia elétrica ativa: Energia elétrica convertida em outra forma de energia, expressa em quilowatts-hora (kWh).

Energia elétrica fornecida: Quantidade de energia elétrica fornecida e medida (ou estimada, nos casos previstos pela legislação) pela distribuidora: aos usuários finais (consumidores não livres), às outras distribuidoras e para o consumo próprio.

Energia elétrica injetada: Quantidade de energia elétrica injetada nas redes do sistema de distribuição, englobando os montantes de energia suprida de redes elétricas de outras concessionárias de transmissão e distribuição e de centrais geradoras com instalações conectadas à rede da distribuidora, incluindo a geração própria.

Energia elétrica reativa: Aquela que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reativo-hora (kVArh).

Geração distribuída: Centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente ao sistema elétrico de distribuição ou por meio de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachada – ou não.

Instalação elétrica: Conjunto de equipamentos necessários ao funcionamento de um sistema elétrico. Linhas, redes e subestações de distribuição, linhas de transmissão e usinas de geração são exemplos de instalações elétricas.

Instalações de conexão: Instalações e equipamentos com a finalidade de interligar as instalações próprias do acessante ao sistema de distribuição, compreendendo o ponto de conexão e as eventuais instalações de interesse restrito.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): Entidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob regulação e fiscalização da ANEEL, responsável pelas atividades de coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Potência elétrica: É a quantidade de energia elétrica que cada equipamento elétrico pode consumir, por unidade de tempo, expressa em Watt (W) e seus múltiplos.

Potência aparente: Corresponde ao produto entre tensão eficaz e corrente eficaz em um dipolo elétrico. Para sistemas bifásicos ou trifásicos, utiliza-se a composição entre as fases. Representa a “utilização” do sistema elétrico, equivalente à potência média que seria transmitida para tensões e correntes senoidais e em fase – carga resistiva equivalente, simplificada levando às mesmas perdas joule no sistema.

Potência ativa: Energia total consumida/fornecida durante determinado intervalo de tempo – que produz trabalho, dividida pelo próprio tempo, expressa em Watts (W) e seus múltiplos.

Potência instalada em unidade consumidora: Soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora e em condições de entrar em funcionamento.

Potência instalada em central geradora: A potência instalada em uma central geradora é definida pelo somatório das potências elétricas ativas nominais das suas unidades geradoras.

Potência reativa: Definida como a raiz quadrada da diferença dos quadrados da potência aparente e da potência ativa, expressa em volt-ampères reativos (VAr) e seus múltiplos.

Parecer de acesso: É o documento formal obrigatório apresentado pela acessada, sem ônus para o acessante, em que são informadas as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos que permitam a conexão das instalações do acessante com os respectivos prazos.

Ponto de conexão: O ponto de conexão do acessante com microgeração ou minigeração distribuída é o ponto de entrega da unidade consumidora, conforme definido em regulamento específico.

Sistema de distribuição: Conjunto de instalações e equipamentos elétricos existentes na área de atuação de uma distribuidora.

Sistema de distribuição de baixa tensão: Conjunto de linhas de distribuição e de equipamentos associados em tensões nominais inferiores ou iguais a 1 kV.

Sobrecarga: Condição de operação com carregamento acima do valor nominal do equipamento.

Solicitação de acesso: Requerimento formulado pelo acessante à distribuidora, apresentando o projeto das instalações de conexão e solicitando a conexão ao sistema de distribuição. Esse processo produz direitos e obrigações, inclusive em relação à prioridade de atendimento e reserva na capacidade de distribuição disponível, de acordo com a ordem cronológica do protocolo de entrada na distribuidora.

Tensão de atendimento ou Tensão de conexão: Valor eficaz de tensão no ponto de conexão, obtido por meio de medição, podendo ser classificada em adequada, precária ou crítica, de acordo com a leitura efetuada, expresso em volts (V) ou quilovolts (kV).

Unidade consumidora: Conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de conexão, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor.

Unidade consumidora atendida em baixa tensão: Unidade consumidora atendida com tensão nominal igual ou inferior a 1 kV.

Tensão nominal: Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é projetado, expresso em volts (V) ou quilovolts (kV).

Relés: São equipamentos eletromecânicos, estáticos ou digitais que supervisionam grandezas elétricas, atuando para mudanças de estado das grandezas que sejam consideradas importantes para o processo ao qual o equipamento é destinado.

APÊNDICE B

Conceitos sobre tarifação de energia elétrica no Brasil

As unidades consumidoras, no Brasil, são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A e Grupo B. O agrupamento é definido em função do nível de tensão em que são atendidos e também, por consequência, em função da demanda (kW) (PROCEL, 2011).

Grupo A

Agrupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste grupo nos termos definidos para opção do consumidor, subdividido nos seguintes subgrupos (PROCEL, 2011):

- » Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV.
- » Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV.
- » Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV.
- » Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV.
- » Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV.
- » Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendida a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B

Agrupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, subdividido nos seguintes subgrupos (PROCEL, 2011):

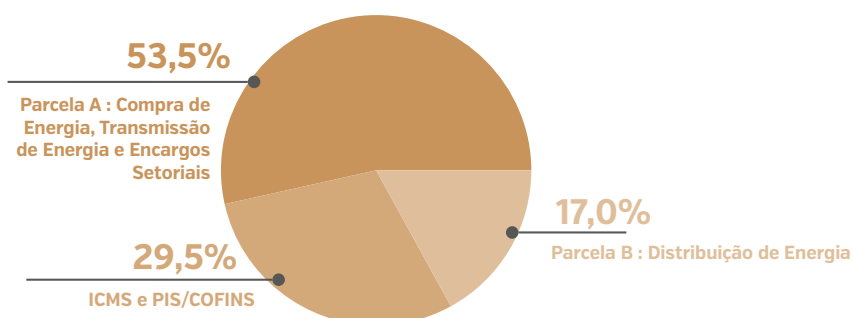
- » Subgrupo B1 – residencial.
- » Subgrupo B2 – rural.
- » Subgrupo B3 – demais classes.
- » Subgrupo B4 – Iluminação Pública.

Composição da Tarifa

Com a finalidade de cálculo tarifário, os custos da distribuidora são classificados em Parcela A e Parcela B.

A Figura 24 apresenta a composição do valor final da energia elétrica. Como se pode observar, a Parcela A representa a maior parcela de custos, seguido pelos custos tributários. Os custos referentes à distribuição de Energia correspondem a apenas 17% do total da tarifa.

Figura 29: Valor final da Energia Elétrica



Fonte: ANEEL, 2016.

Parcela A

A Parcela A é composta pelos custos cujos montantes e preços são não gerenciáveis pela concessão: encargos setoriais, conexão e uso das instalações de transmissão e distribuição e custos com a compra de energia elétrica (ANEEL, 2016).

Os encargos setoriais são recursos destinados ao setor de energia elétrica por meio de políticas de Governo e são definidos em leis. Nesta categoria pode-se citar a Reserva Global de Reversão (RGR), Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH), Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE), Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), Encargo de Serviços de Sistema (ESS), Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética, e Operador Nacional do Sistema (ONS) (ANEEL, 2016).

Entre os encargos setoriais, cabe ressaltar que as ETes possuem descontos de 15% sobre a tarifa do subgrupo B3 para unidades pertencentes ao Grupo B e 15% para tarifa de uso do sistema de distribuição e tarifa de energia das unidades do Grupo A, fornecidos por meio do Decreto nº 7.891 e custeados pela CDE.

Os encargos de transmissão são os custos com o transporte de energia elétrica, que são o Uso das Instalações de conexão, Uso das Instalações da Rede Básica e Demais Instalações de Transmissão (DIT), Contrato de Uso das Instalações da Rede de Distribuição (CUSD), Transporte de Energia Elétrica de Itaipu e Montante do Uso do Sistema de Transmissão (MUST) (ANEEL, 2016).

Os custos com a compra de energia elétrica estão relacionados aos custos da aquisição de energia elétrica para atender à área de concessão: gastos com o suprimento, perdas técnicas e perdas não-técnicas. Os contratos de compra de energia são classificados como: Contratos Bilaterais, Contratos de Itaipu, Contratos de Leilões e CCEAR (ANEEL, 2016).

Parcela B

A Parcela B é composta pelos custos próprios da atividade de distribuição: custos operacionais, remuneração do investimento e cota de depreciação, ou seja, pelos custos gerenciáveis da concessão (ANEEL, 2016).

Os custos operacionais estão ligados à atividade fim da concessionária, como custos de pessoal, material, serviços de terceiros, despesas de operação e manutenção, despesas gerais e outras (ANEEL, 2016).

As despesas de capital englobam a cobertura tarifária com os investimentos realizados pela concessionária de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2016).

A Cota de Depreciação refere-se à recomposição do capital investido e remuneração dos investimentos, à rentabilidade do negócio de distribuição (ANEEL, 2016).

Estrutura tarifária

É o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento.

Os consumidores do Grupo B possuem tarifa monômnia, ou seja, tarifa constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) (CARÇÃO, 2011).

Consumidores do Grupo A possuem tarifas binômias, ou seja, tarifas constituídas por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW). Existem três modalidades de tarifação para este grupo: estrutura tarifária horossazonal verde, estrutura tarifária horossazonal azul e a estrutura tarifária convencional binômnia, sendo que esta será extinta a partir das revisões tarifárias das distribuidoras (ANEEL, 2016). A seguir, será feita uma breve descrição das estruturas tarifárias horossazonais verde e azul.

Estrutura tarifária horossazonal verde

Essa modalidade é estruturada para aplicação de preços diferenciados para a demanda de potência e para o consumo de energia elétrica (PROCEL, 2011):

- >> Demanda: preço único para o horário de ponta e fora de ponta de carga do sistema elétrico da concessionária. Apesar de não estar explícito, a Resolução nº 456 permite a contratação de dois valores diferentes de demanda: um para o período seco e outro para o período úmido. O valor da demanda faturada é o maior entre demanda contratada e demanda registrada.
- >> Consumo: um preço para o horário de ponta de carga em período úmido; um preço para horário fora de ponta de carga em período úmido; um preço para o horário de ponta de carga em período seco; um preço para horário fora de ponta de carga em período seco.

Estrutura tarifária horossazonal azul

Essa modalidade é estruturada para aplicação de preços diferenciados para a demanda e para o consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e do período do ano, obedecendo aos segmentos horossazonais abaixo (PROCEL, 2011):

- >> Demanda: um preço para o horário de ponta de carga do sistema elétrico da concessionária e um preço para o horário fora de ponta de carga do sistema elétrico da concessionária. O valor da demanda faturada é o maior entre demanda contratada e demanda registrada.
- >> Consumo: um preço para o horário de ponta de carga em período úmido; um preço para horário fora de ponta de carga em período úmido; um preço para o horário de ponta de carga em período seco; um preço para horário fora de ponta de carga em período seco.

ANEXO – A

Tabela 9: Resumo das normas para adesão referentes à geração distribuída em diferentes estados do Brasil

Estado	Concessionária	Norma	Site
Acre	Eletrobrás Distribuição Acre	Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Baixa Tensão	www.eletobrasacre.com
		Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Média Tensão	
Alagoas	Eletrobrás Distribuição Alagoas	Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Baixa Tensão	www.eletobrasalagoas.com
		Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Média Tensão	
Amapá	CEA	Norma Técnica de distribuição para conexão de acessantes à rede de distribuição da CEA – Conexão em Baixa tensão	www.cea.ap.gob.br
		Norma Técnica de distribuição para conexão de acessantes à rede de distribuição da CEA – Conexão em Média tensão	
Amazonas	Eletrobrás Distribuição Amazonas	Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Baixa Tensão	www.eletobrasamazonas.com
		Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Média Tensão	
Bahia	Coelba	Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão	www.coelba.com.br
		Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição em Média Tensão	
Ceará	Coelce	Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Colece	www.coelce.com.br
Distrito Federal	CEB	Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB-D – Conexão em baixa e média tensão	www.ceb.com.br
Espírito Santo	EDP Escelsa	Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição em baixa tensão	www.edp.com.br
		Conexão de micro e minigeradores ao sistema de distribuição em média tensão	
Goiás	Celg D	Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D	www.celg.com.br

Maranhão	Cemar	Conexão de microgeração distribuída ao sistema de distribuição em baixa tensão	www.cemar.com.br
		Conexão de minigeração distribuída ao sistema de distribuição em média tensão	
Mato Grosso	Energisa	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br
Mato Grosso do Sul	Energisa	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br
	Elektro	Conexão entre Microgeração e Minigeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da ELEKTRO	www.elektro.com.br
Minas Gerais	Energisa MG	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br
	CEMIG	Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão	www.cemig.com.br
		Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão	
Pará	Celpe	Conexão de microgeração distribuída ao sistema de distribuição em baixa tensão	www.celpe.com.br
Paraíba	Energisa Paraíba	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br
Paraná	Copel	Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel	www.copel.com
Pernambuco	Celpe	Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão	www.celpe.com.br
		Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição em Média Tensão	
Piauí	Eletrobrás Distribuição Piauí	Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Baixa Tensão	www.eletobraspiaui.com
		Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Média Tensão	
Rio Grande do Norte	Cosern	Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão	www.cosern.com.br
		Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição em Média Tensão	
Rio Grande do Sul	CEEE	Acesso de Microgeração e Minigeração com Fontes Renováveis e Cogeração Qualificada ao Sistema de Distribuição	www.ceee.com.br
	RGE	Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica	www.rge-rs.com.br
	AES Sul	Conexão de Minigeração e Microgeração Distribuída	www.aessul.com.br

Rio de Janeiro	Ampla	Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Ampla/Coelce	www.ampla.com	
	Energisa NF	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br	
	Light	Procedimento para a conexão de microgeração e minigeração ao sistema de distribuição da Light SESA BT e MT – até Classe 36,2 kV	www.light.com.br	
Rondônia	Eletrobrás Distribuição Rondônia	Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Baixa Tensão	www.eletobrasrondonia.com	
		Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Média Tensão		
Roraima	Eletrobrás Distribuição Roraima	Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Baixa Tensão	www.eletobrasroraima.com	
		Norma técnica para a conexão de acessantes à rede de distribuição das distribuidoras Eletrobrás – Conexão em Média Tensão		
Santa Catarina	CELESC	Requisitos para a conexão de micro ou mini geradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição	www.celesc.com.br	
São Paulo	AES Eletropaulo	Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração Distribuída com a Rede de Distribuição da AES Eletropaulo com Paralelismo Permanente Através do Uso de Inversores - Consumidores de Média e de Baixa Tensão	www.aeseletropaulo.com.br	
	CPFL	Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica	www.cpfl.com.br	
	ELEKTRO	Conexão entre Microgeração e Minigeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da ELEKTRO	www.elektro.com.br	
	EDP Bandeirante		Conexão de micro e minigeração ao sistema de distribuição de baixa tensão	www.edp.com.br
			Conexão de micro e minigeração ao sistema de distribuição de alta tensão	
Sergipe	Energisa Sergipe	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br	
Tocantins	Energisa Tocantins	Critérios para a conexão de acessantes de micro e mini geração distribuída ao sistema de distribuição da Energisa	www.energisa.com.br	

ANEXO – B

Figura 25: Formulário de solicitação de acesso para microgeração distribuída com potência igual ou inferior a 10 kW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF:		
2- Dados da Unidade Consumidora		
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1.	ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração	<input type="checkbox"/>
2.	Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação.	<input type="checkbox"/>
3.	Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.	<input type="checkbox"/>
4.	Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg	<input type="checkbox"/>
5.	Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012	<input type="checkbox"/>
6.	Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)	<input type="checkbox"/>
7.	Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	<input type="checkbox"/>
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____ / _____ / _____		
Local	Data	Assinatura do Responsável

ANEXO - C

Figura 26: Formulário de solicitação de acesso para microgeração distribuída com potência superior a 10 kW

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº: CEP:	
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão: monofásica <input type="checkbox"/> bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>		
Tipo de ramal: aéreo <input type="checkbox"/> subterrâneo <input type="checkbox"/>		
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>		
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração	<input type="checkbox"/>	
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo	<input type="checkbox"/>	
3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção	<input type="checkbox"/>	
4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.	<input type="checkbox"/>	
5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg	<input type="checkbox"/>	
6. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012	<input type="checkbox"/>	
7. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)	<input type="checkbox"/>	
8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	<input type="checkbox"/>	
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	____/____/____	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

ANEXO - D

Figura 27: Formulário de solicitação de acesso para minigeração distribuída

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Grupo B <input type="checkbox"/>	Grupo A <input type="checkbox"/> Classe:
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Localização em coordenadas:	Latitude:	Longitude:
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>
Transformador particular (kVA):	75 <input type="checkbox"/>	112,5 <input type="checkbox"/> 225 <input type="checkbox"/> outro:
Tipo de instalação:	Posto de transformação <input type="checkbox"/>	cabine <input type="checkbox"/> subestação <input type="checkbox"/>
Tipo de ligação do transformador:		
Impedância percentual do transformador:		
Tipo de ramal:	aéreo <input type="checkbox"/>	subterrâneo <input type="checkbox"/>
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de minigeração		<input type="checkbox"/>
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo		<input type="checkbox"/>
3. Estágio atual do empreendimento, cronograma de implantação e expansão		<input type="checkbox"/>
4. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção		<input type="checkbox"/>
5. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.		<input type="checkbox"/>
6. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg		<input type="checkbox"/>
7. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012		<input type="checkbox"/>
8. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)		<input type="checkbox"/>
9. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)		<input type="checkbox"/>
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
6 - Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	____/____/____	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável



Por meio da:



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7958-070-3



9 788579 580703

