

ETE

**RECOMENDAÇÕES
PARA A LICITAÇÃO DE
UMA USINA DE BIOGÁS
EM ETE** E EXEMPLOS DE
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS



ETE

**RECOMENDAÇÕES
PARA A LICITAÇÃO DE
UMA USINA DE BIOGÁS
EM ETE E EXEMPLOS DE
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS**

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 idéias 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.

Recomendações para a licitação de uma usina de biogás em ETE e exemplos de especificações técnicas / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]; autores, Sebastian Rosenfeldt ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

40 p. : il. – [Aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto ; 4]

ISBN 978-85-7958-065-9

1. Biogás em estações de tratamento de esgoto – aspectos técnicos – Brasil. 2. Biogás em estações de tratamento de esgoto – aspectos econômicos – Brasil. 3. Biogás em estações de tratamento de esgoto – aspectos tecnológicos – Brasil. 4. Biogás – saneamento ambiental – Brasil. 5. Energia – fontes alternativas. I. Ministério das Cidades. II. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]. III. Rosenfeldt, Sebastian. 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 possui 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

Sebastian Rosenfeldt (Rotária do Brasil), Christoph Platzer (Rotária do Brasil), Heike Hoffmann (Rotária do Brasil), Carolina Bayer Gomes Cabral (Rotária do Brasil).

Coordenação do material

Christoph Platzer (Rotária do Brasil)

Revisão Técnica

Ministério das Cidades – Gilson Pires e Keyla Nunes
GIZ – Hélinah Cardoso Moreira e Wolfgang Roller

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.

Neste 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

9	1 APRESENTAÇÃO
---	----------------

10	2 ABRANGÊNCIA DO ESTUDO
----	-------------------------

12	3 RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA O DETALHAMENTO DE UM PROJETO
12	3.1 Caracterização qualitativa e quantitativa do biogás gerado
13	3.2 Concepção
15	3.3 Comissionamento e Operação Assistida
16	3.4 Importação
18	3.5 Custos totais compostos por CAPEX, OPEX e receitas
21	3.6 Comparabilidade entre as propostas

22	4 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
23	4.1 Motor-Gerador
31	4.2 Gasômetro
33	4.3 Condicionamento do Biogás
34	4.4 Queimador de biogás
35	4.5 Equipamentos de medição

37	5 REFERÊNCIAS
----	---------------

LISTA DE FIGURAS

- 12 **1:** Dinâmica de produção de biogás em uma ETE com UASB [CABRAL, 2016].
- 14 **2:** Fluxograma de uma ETE com digestor de lodo e sistema de biogás.
- 14 **3:** Fluxograma de uma ETE com UASB e sistema de biogás.
- 15 **4:** Etapas de um empreendimento entre construção e operação.
- 17 **5:** Estrutura do NCM e exemplo para unidade de cogeração.
- 20 **6:** Fases de um projeto.
- 23 **7:** Exemplo de diagrama de tubulação e instrumentação de uma concepção.

LISTA DE TABELAS

- 13 **1:** Composição típica de biogás em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário e digestores de lodo.
- 16 **2:** Atividades típicas de pré-operação e operação.
- 18 **3:** Exemplo para composição de CAPEX.
- 18 **4:** Exemplo para composição de OPEX.
- 19 **5:** Exemplo para determinação de critérios de eficácia e eficiência
- 25 **6:** Caracterização do combustível [biogás].

1

APRESENTAÇÃO

A busca pela universalização dos serviços continua sendo um grande desafio para o setor de saneamento, que ainda conta com a falta de tratamento de cerca de 60% do esgoto gerado. Somado a isto, para reduzir os impactos do lançamento do esgoto tratado, as restrições ambientais estão aumentando, tornando as estações de tratamento de esgoto (ETEs) cada vez mais *energointensivas* para atingir os parâmetros legais de lançamento. Nessa perspectiva, o aproveitamento de biogás proveniente da digestão anaeróbia no tratamento de esgotos representa uma alternativa promissora, não apenas do ponto de vista ambiental, mas também social e econômico, pois apresenta possibilidades de geração de energia descentralizada e em pequena escala. O uso deste gás como um insumo para a melhoria da gestão dos processos da estação tem o grande objetivo de tornar mais sustentável esta prestação de serviço.

Considerando as particularidades relacionadas à natureza desse tipo de empreendimento, identificou-se que deve ser dada atenção especial aos aspectos técnicos, com foco na seleção dos equipamentos e materiais, visto que esses elementos têm influência direta sobre a eficiência da concepção adotada, que abrange, inclusive, questões econômicas, à medida que importantes componentes de uma planta de biogás, por muitas vezes, ainda necessitam ser importados, gerando custos que impactam significativamente em sua viabilidade.

Pensando na falta de *expertise* dos projetistas, gestores e financiadores, sobretudo as prestadoras de serviço de saneamento, no que diz respeito à implementação dessa solução inovadora no país, mas com tecnologia difundida em outros países, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar recomendações e exemplos de especificações técnicas que devem ser consideradas na elaboração de projetos de aproveitamento energético de biogás em ETEs, em complementação ao *Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento*, outra publicação do PROBIOGÁS.

Ressalta-se que tais recomendações consideram as dificuldades enfrentadas pelos órgãos licitantes durante os processos licitatórios, para o caso de obras públicas, de forma que sejam evitadas situações que comprometam o andamento dos certames e, conseqüentemente, o início e o andamento das obras.

Estão alinhados com este documento, os conteúdos das publicações *Orientações para Importação de equipamentos de biogás* e *Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás*, ambas do PROBIOGÁS, as quais são referenciadas pertinentemente ao longo do texto.

ABRANGÊNCIA DO ESTUDO

O presente estudo visa contribuir com recomendações e exemplos de especificações técnicas para a elaboração de um projeto de biogás em estações de tratamento de esgotos. Para isso, deve-se observar que uma planta de biogás pode ser prevista a partir de uma ETE já existente ou no caso de uma nova ETE que preveja o aproveitamento energético do biogás. Para cada caso, alguns aspectos técnicos devem ser mais profundamente analisados.

Além disso, uma ETE pode produzir o biogás a partir de dois processos de tratamento: tratamento anaeróbio do esgoto, com uso de reatores UASB; ou a partir do tratamento do lodo, com uso dos digestores anaeróbios. Já foi comprovado que a produção de biogás, bem como sua qualidade, tem comportamentos diferentes em ambos os casos, e isto também necessita ser levado em consideração. No caso de reatores UASB, o uso energético do biogás ainda não está consolidado, e se faz necessário um melhor monitoramento e quantificação do biogás produzido. Maiores detalhes técnicos relacionados às duas tecnologias podem ser encontrados no *Guia Técnico de aproveitamento energético de biogás de ETEs*.

Considerações importantes de projeto, independentes da tecnologia utilizada, são: a previsão da medição do biogás, o detalhamento técnico dos componentes e materiais e os aspectos construtivos do reator. Da experiência dos projetos existentes, a produção real de biogás está aquém da teórica calculada nos projetos, em especial no caso de reatores UASB. Uma análise sistêmica da estação de tratamento de esgotos, desde a rede coletora, passando pelo pré-tratamento e em seguida o reator UASB, deve ser cuidadosamente realizada para que o biogás seja produzido eficientemente, ressaltando que este é o insumo para a produção de energia e precisa ser garantido.

Para reduzir os riscos de um projeto, é importante um maior nível de detalhamento das especificações dos equipamentos. No caso de uma planta de biogás, deve-se atentar que se faz necessária a importação de equipamentos, que representam uma parcela significativa do custo de investimento, e, muitas vezes, não há manutenção nem fornecimento nacional. Esse estudo exemplifica especificações visando ao maior grau de detalhamento do projeto. Ademais, considera também que, caso os equipamentos e materiais não estejam descritos no Sistema de Preços Custos Índices (SINAPI), devem ser apresentados três orçamentos.

De acordo com o escopo do projeto e seu grau de inovação, pode ser prevista sua execução em etapas, visando à redução de riscos.

Em resumo, na elaboração do projeto, determinação dos custos e aquisição dos equipamentos, deve-se atentar para os seguintes pontos:

- » A determinação dos requisitos técnicos dos equipamentos e sua devida descrição são indispensáveis, para garantir a qualidade adequada sem comprometer a operação do sistema;
- » Importantes componentes de uma planta de biogás, como o conjunto moto-gerador, o gasômetro e equipamentos de medição, ainda não têm fabricação nacional equivalente a produtos importados, porém já existem alguns fornecedores nacionais de equipamentos

- importados, facilitando a aquisição, mas tornando indispensável esta verificação;
- >> A planta de aproveitamento de biogás é composta por uma série de equipamentos com menor ou maior complexidade que devem ser compatíveis entre si;
 - >> Equipamentos apresentam grande variedade de qualidade conforme o fabricante e grande variação nos custos totais formados por CAPEX e/ou OPEX conforme o fabricante ou o acabamento, tornando necessária a análise cuidadosa destes dois tipos de custos.

Em termos práticos, o trabalho apresenta algumas recomendações de projeto e licitação, bem como exemplos de especificações técnicas dos seguintes componentes fundamentais de uma planta de biogás: motogerador; gasômetro; queimador; equipamentos de medição de biogás; tratamento de biogás. Vale ressaltar que o trabalho se utiliza de exemplos tecnológicos para aprofundamento das especificações, sendo que outras tecnologias podem ser escolhidas, dependendo de cada caso.

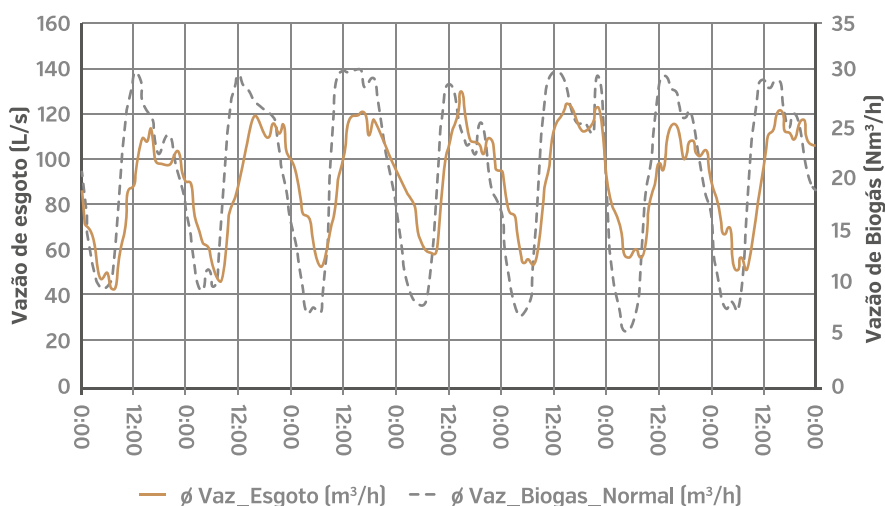
RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA O DETALHAMENTO DE UM PROJETO

Neste capítulo, são apresentadas algumas recomendações referentes a um projeto de aproveitamento energético de biogás.

3.1 Caracterização qualitativa e quantitativa do biogás gerado

Antes de projetar um sistema de aproveitamento de biogás, deve ser quantificada a sua produção. Neste contexto, vale lembrar que cada sistema pode apresentar variações diárias, mas também mensais, podendo ser influenciado, ainda, por mudanças de características do esgoto que aflui a ETE, mas também por alterações da temperatura ambiente e eventos de chuva, como relatado por Possetti *et al.* (2013) e por Cabral *et al.* (2016) para o caso de reatores UASB.

Figura 1: Dinâmica de produção de biogás em uma ETE com UASB [CABRAL, 2016].



A quantidade do biogás e sua dinâmica têm grande influência no equipamento de aproveitamento de biogás e no volume do gasômetro (volume de biogás a ser armazenado). No *Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento*, são apresentados insumos para o dimensionamento do gasômetro conforme o modo de operação. Mesmo com valores reais medidos *online*, deve ser realizada uma verificação de plausibilidade e devem ser realizadas projeções, considerando a evolução da vazão de esgoto afluyente.

Há várias tecnologias apropriadas para a medição *online* da vazão, entre eles o medidor tipo *vórtex* e o medidor mássico por dispersão térmica. Uma relação mais abrangente com vantagens e desvantagens de cada método pode ser consultada no item 5.6.2 do *Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto*.

Na ausência destes valores reais, devem ser adotadas metodologias consolidadas, como indicam, por exemplo, Chernicharo (2007) ou Lobato (2011). O *Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil* – PROBIOGÁS realizou uma campanha de medição de biogás em 10 reatores UASB de várias companhias de saneamento no Brasil,

relacionando a quantidade de biogás gerada à carga orgânica removida na etapa anaeróbia. Será publicado um relatório final deste projeto de pesquisa, indicando mais detalhadamente os resultados do comportamento da produção de biogás nestes reatores, bem como do uso dos equipamentos de medição e as lições aprendidas.

Recomenda-se, antes de projetar instalações de aproveitamento de biogás em ETEs existentes, a realização de medições na referida ETE, visando a uma maior segurança financeira do projeto (PLATZER, 2016).

Outro dado que deveria ser levantado antes de um projeto de aproveitamento de biogás é a composição deste. O conhecimento sobre a composição se torna necessário para o dimensionamento do sistema de condicionamento de biogás. Este visa proporcionar um tratamento para adequar as características do biogás às exigências do tipo de aproveitamento escolhido.

A composição típica do biogás é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição típica de biogás em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário e digestores de lodo.

COMPONENTE	UNIDADE	BIOGÁS DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO DOMÉSTICO	BIOGÁS DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE LODO
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	ppm	1.000 a 5.000	500 a 1.500
Teor de oxigênio (O ₂)	% em vol.	0 a 2	0 a 1
Metano (CH ₄)	% em vol.	60 a 85	60 a 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	% em vol.	5 a 15	20 a 40

Fonte: adaptado de Brasil (2015a).

Como, de maneira geral, as concentrações dos principais componentes variam pouco na mesma instalação, não seria indispensável o monitoramento *online*. Sugere-se ao menos que sejam tomadas amostras de biogás (p.ex. com saco *Tedlar*) em quantidade suficiente para proporcionar uma representatividade segura e analisada em laboratórios especializados. Alternativamente, pode-se utilizar um medidor portátil. Em ambos os casos, as amostras devem ser coletadas durante um período representativo de, no mínimo, uma semana e em horários variados, para que a variação temporal seja contemplada.

No caso de reatores UASB, vale destacar que os resultados encontrados no projeto de medição mostram uma escala de variação da concentração de H₂S significativa. Em vista disto, recomenda-se medir este componente, a fim de evitar problemas de corrosão no motogerador, bem como de prever um dimensionamento correto do tratamento deste composto.

3.2 Concepção

Como descrito no *Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em ETEs*, todo o sistema prévio ao reator UASB deve estar funcionando adequadamente, para que o reator seja mais eficiente na remoção de carga orgânica e na produção de biogás: a rede coletora de esgotos e o pré-tratamento devem ser implantados de forma adequada, garantindo a chegada do efluente e a remoção de sólidos grosseiros e gordura, evitando problemas operacionais do reator.

Em função das recomendações referentes à caracterização qualitativa e quantitativa do biogás gerado (item 3.1), recomenda-se primeiramente a instalação de um sistema de coleta e transporte eficiente do biogás até o

queimador, permitindo um bom monitoramento da produção de gás, antes da contratação da elaboração do projeto de aproveitamento energético. O primeiro passo seria a identificação e a correção dos problemas que interferem na produção de biogás e, caso necessário, a realização de uma primeira licitação referente ao sistema de coleta e transporte do biogás e uma segunda licitação para o sistema de aproveitamento de biogás.

Com isto, seria possível detectar não-conformidades com relação aos reatores anaeróbios, em especial no caso de ETEs existentes, onde, em função de defeitos construtivos, o fechamento hermético poderia estar comprometido e interferir diretamente na quantidade de biogás captada. Para minimizar esta perda, seria necessária a reabilitação do reator, para garantir estanqueidade e impermeabilidade.

A Figura 2 e a Figura 3 mostram sugestões de concepções de sistemas de aproveitamento de biogás, uma com digestores de lodo e outra com UASB.

Figura 2: Fluxograma de uma ETE com digestor de lodo e sistema de biogás.

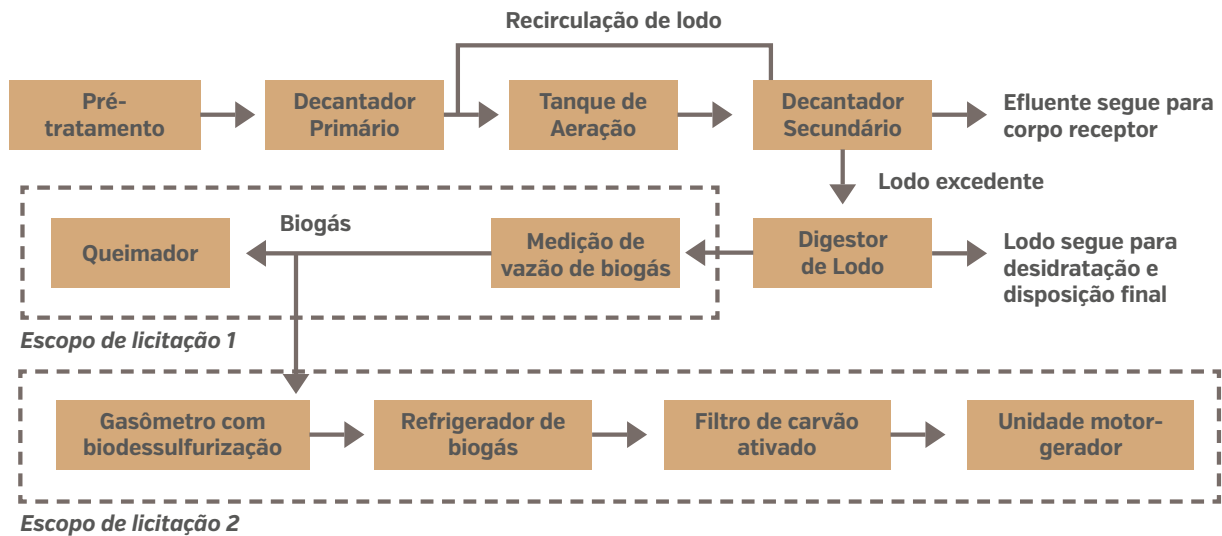
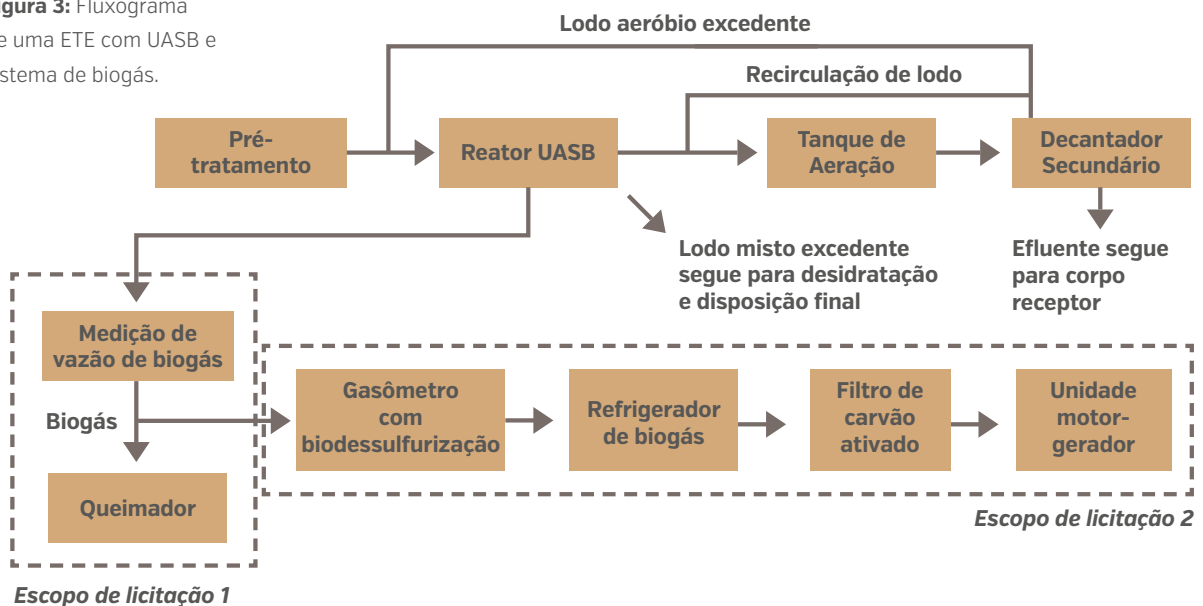


Figura 3: Fluxograma de uma ETE com UASB e sistema de biogás.



Recomenda-se que unidades que têm grande sinergia sejam consideradas como uma única unidade funcional, e, portanto, sejam parte de um mesmo processo licitatório. Isto ocorre, por exemplo, quando se opta por um sistema de biodessulfurização para remoção de sulfeto de hidrogênio (H_2S), que depende tanto do sistema de microinjeção de ar no interior do gasômetro quanto da superfície disponível para fixação de micro-organismos.

Diante disso, é imprescindível o estudo de concepção, levando em consideração os vários conjuntos possíveis de alternativas para cada tecnologia disponível no mercado para o aproveitamento do biogás.

Sugere-se que façam parte do escopo do fornecimento de cada unidade os materiais necessários à instalação dos equipamentos, incluindo desenhos detalhados, a supervisão de montagens eletromecânicas, do comissionamento, do *start-up* e da operação assistida.

3.3 Comissionamento e Operação Assistida

A implantação e a operação de um sistema de aproveitamento de biogás é um processo complexo, tanto pelo grau de inovação dos equipamentos quanto pela interação com o sistema pré-existente que gera o biogás. É recomendável que a empresa contratada possua experiência com o *start-up* de instalações de tratamento de esgoto e de geração de energia elétrica. A empresa ainda deve possuir um quadro de engenheiros e técnicos da área de saneamento, elétrica e automação. Os funcionários devem ser treinados com relação a NR 10 (Instalações e Serviços em Eletricidade), NR 33 (Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados) e NR 35 (Trabalho em Altura). O período para operação assistida varia com o grau de complexidade do projeto e deve ficar em torno de 6 meses.

Com a inserção de um sistema de aproveitamento de biogás, a própria operação do sistema pré-existente se tornará mais complexa. Em casos de estações de tratamento de esgoto dotadas de reatores UASB com sistema de biogás, deve-se atentar mais intensivamente à eficiência do pré-tratamento de esgoto afluente, a remoção de espuma no compartimento de coleta de gás, vedação do compartimento de coleta de gás e a pressurização do sistema, o contrário do que é comumente feito em plantas sem sistema de aproveitamento. Assim, as exigências adicionais demandam a elaboração de novos procedimentos operacionais padrão e sua realização adequada. Esta complexidade torna altamente recomendável a operação assistida (Figura 4).

Figura 4: Etapas de um empreendimento entre construção e operação.



Os principais objetivos da operação assistida são: a minimização de riscos de implantação, especialmente no caso de implantação de novas tecnologias, e a garantia da operacionalidade plena dos equipamentos e sistemas.

A assistência refere-se ao conjunto de atividades que promovam o treinamento e a capacitação da equipe do contratante, que, após a assistência, será responsável pelas atividades de operação e manutenção preventiva e corretiva. Nesta etapa, devem ser transferidos o conhecimento e a experiência necessários para a operação adequada de equipamentos e sistemas.

Durante a operação assistida, um corpo técnico do fornecedor é designado para dar suporte na realização de testes, análises, medidas e ajustes, assegurando que as atividades operacionais sejam executadas em conformidade com os procedimentos padrão.

As atividades tipicamente realizadas durante a pré-operação e a operação são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Atividades típicas de pré-operação e operação.

ETAPA	ATIVIDADES TÍPICAS
Pré-Operação	<ul style="list-style-type: none"> >> Teste de estanqueidade de reatores e tubulações >> Testes funcionais >> Preparação para partida de equipamentos >> Teste do sistema de comunicação, automação e telemetria >> Teste de carga do sistema de geração >> Teste de aceitação de performance do sistema >> Ajustes do sistema para otimização da geração >> Estabelecimento de procedimentos operacionais padrão >> Treinamento da equipe do licitante
Operação	<ul style="list-style-type: none"> >> Execução e validação de procedimentos operacionais e adequação, quando necessário >> Elaboração de procedimentos adicionais, caso seja necessário >> Realização de inspeções e manutenção preventiva, visando à mínima interferência na funcionalidade da planta e à máxima disponibilidade >> Realização de manutenção corretiva com eficácia e eficiência na solução das não-conformidades e falhas

3.4 Importação

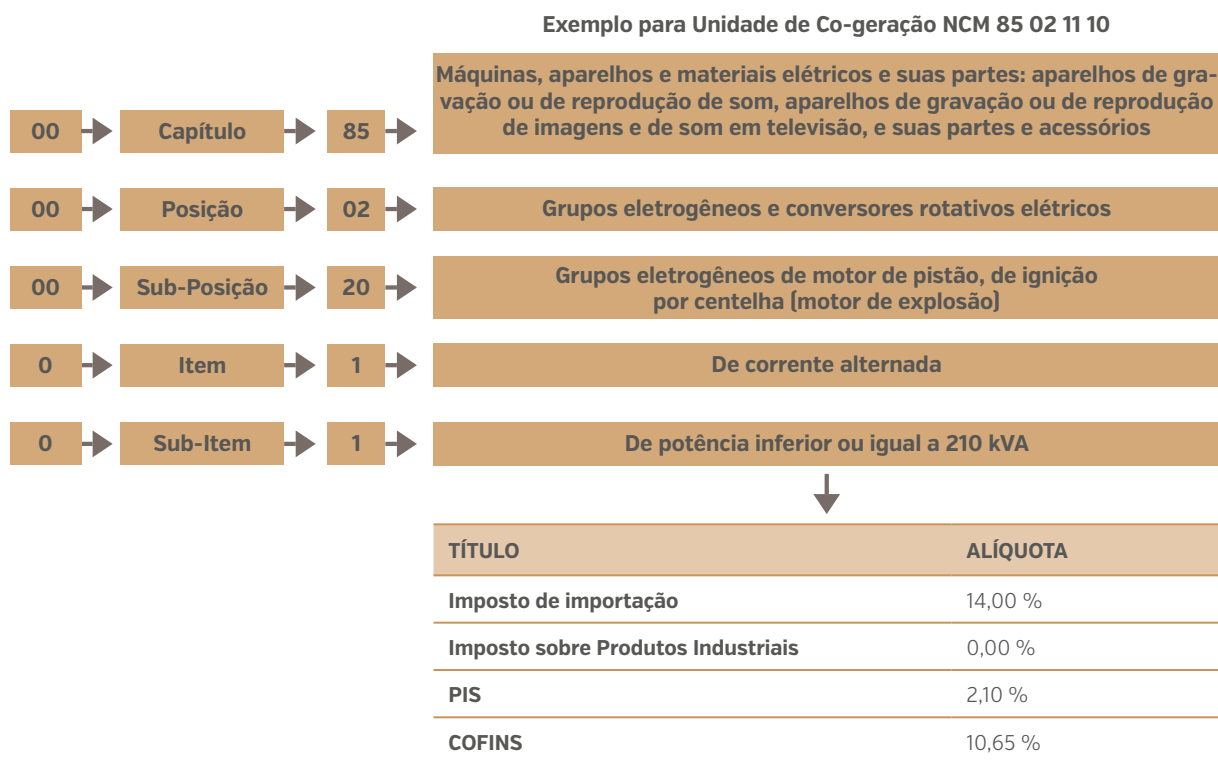
A maior parte dos equipamentos utilizados em plantas de aproveitamento energético necessita ser importada. Porém, vale destacar que alguns equipamentos importados (por exemplo, gasômetros e instrumentos de medição) já podem ser adquiridos junto a representantes localizados no Brasil. Assim, uma pesquisa de mercado nacional pode evitar a importação direta.

Para a aquisição de equipamentos que não são comercializados por representantes nacionais, noções básicas sobre o processo de importação são indispensáveis para a determinação do custo final. Para se chegar ao custo final, devem ser considerados os acréscimos de custo durante o processo no decorrer de possíveis exigências administrativas (licença de importação), aduaneiras (taxas e tributos para liberação) e cambiais (operações de câmbio).

Para uma estimativa de custos gerados em função da importação, deve ser determinada inicialmente a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) do produto, que visa à classificação fiscal. O sistema baseia-se no Sistema Harmonizado (SH), conhecido por HS-CODE, que é o sistema internacional de classificação de mercadorias.

Figura 5: Estrutura do NCM e exemplo para unidade de cogeração.

Na Figura 5, é apresentada a estrutura do NCM, exemplificada para o caso de uma unidade de cogeração. Após a determinação do NCM, podem ser determinados os tributos e suas alíquotas aplicáveis correspondentes.



Vale salientar que os tributos incidem sobre o valor aduaneiro, que, na maioria das vezes, é a soma do valor FOB (*Free on Board*) da mercadoria, do valor referente ao frete e seguro internacional, convertido para Real Brasileiro, adotando a taxa cambial do dia do registro da importação.

O valor FOB pode ser geralmente extraído da proposta do fabricante do equipamento a ser importado, em que ele entrega a mercadoria desembarcadamente a bordo do navio no porto de embarque e implica na responsabilidade do importador pelas despesas e riscos de perda ou dano do produto a partir deste momento.

No caso de não haver produção nacional equivalente do bem a ser importado, pode ser concedido o regime de ex-tarifário, que consiste na redução temporária das alíquotas do imposto de importação. A concessão é dada após avaliação do Comitê de Análise de ex-tarifários, dada legitimidade pela Resolução Nº 66/2014 da Câmara de Comércio Exterior.

Além dos impostos federais, incidem ainda o imposto estadual variável, ICMS, e as seguintes despesas e taxas:

- >> Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante;
- >> Armazenagem;
- >> Capatazia;
- >> Despachante Aduaneiro;
- >> Emissão da declaração de importação
- >> Taxa SISCOMEX.

Para a determinação dos custos totais, recomenda-se fazer uma cotação com uma empresa que oferece importação por conta e ordem ou acompanhamento de importação direta.

Para maiores informações, recomenda a consulta da publicação *Orientações para Importação de equipamentos de biogás*, disponível no site do PROBIOGÁS.

3.5 Custos totais compostos por CAPEX, OPEX e receitas

Com relação aos custos inerentes a um bem durável, estes são compostos por custos de investimento (CAPEX), custos de operação e manutenção (OPEX), e eventuais receitas ou custos evitados.

Um exemplo de composição de CAPEX de um sistema de aproveitamento de biogás é apresentado na Tabela 3. Frise-se que os valores apresentados contemplam o custo de comissionamento, o qual pode variar por equipamento, a depender de sua complexidade.

Tabela 3: Exemplo para composição de CAPEX.

EQUIPAMENTO	PORCENTAGEM SOBRE O CUSTO TOTAL
Elaboração do projeto	3%
Unidade Motor-Gerador	56%
Sistema de Tratamento de Biogás	7%
Gasômetro	11%
Sistema de captação de biogás	5%
Sistema de transporte de biogás	3%
Instalações Elétricas	8%
Medição de vazão de biogás	1%
Medição de composição de biogás	4%
Sistema de queima c/queimador aberto	3%

Fonte: *Elaboração própria.*

A Tabela 4 apresenta um exemplo de composição de OPEX.

Tabela 4: Exemplo para composição de OPEX.

DESCRIÇÃO	Un.	CUSTO UNITÁRIO
Manutenção de geração	R\$/[kWh]	0,0192
Reparação de geração	R\$/[kWh]	0,0288
Manutenção do sistema de tratamento de gás	R\$/m ³	0,0320
Manutenção do Gasômetro	R\$	2% do CAPEX
Manutenção do Sistema de captação de biogás	R\$	2% do CAPEX
Manutenção do Sistema de transporte de biogás	R\$	2% do CAPEX
Manutenção das Instalações Elétricas	R\$	2% do CAPEX
Manutenção da Medição de vazão de biogás	R\$	2% do CAPEX
Manutenção da Medição de composição de biogás	R\$	2% do CAPEX
Manutenção do Sistema de queima	R\$	2% do CAPEX

Autoconsumo de energia elétrica do CHP	R\$	2% da energia elétrica gerada
Consumo de Óleo Lubrificante	R\$/L	25,76
Análises Laboratoriais – Óleo Lubrificante	R\$	435,00
Análises Laboratoriais – Biogás	R\$	1.800,00
Mão de Obra de Operador	R\$/h	25,43
Custos Gerais	R\$/kW _{instalado}	22,40

Fonte: Elaboração própria.

A licitação é um processo administrativo que visa assegurar igualdade de condições a todos que queiram realizar um contrato com o Poder Público. A Licitação é disciplinada por lei e estabelece critérios objetivos de seleção das propostas de contratação mais vantajosas para o interesse público.

A lei 8.666 define na Seção IV no Art. 45 § 1, inciso I, o tipo de licitação por critério de menor preço da seguinte forma: “(...) quando o critério de seleção da proposta mais vantajosa para a Administração determinar que será vencedor o licitante que apresentar a proposta de acordo com as especificações do edital ou convite e ofertar o menor preço (...)”, demonstrando a possibilidade de que a arbitragem seja realizada por meio da consideração do custo total, formado pelo CAPEX, OPEX, receitas e custos evitados.

Nesse sentido, o desafio, de modo geral, conforme Miki (2012), seria a necessidade de estabelecimento de indicadores de desempenho baseados em parâmetros técnicos que são facilmente mensuráveis e objetivos, que demandariam um conjunto de conhecimentos técnicos.

Para exemplificar, é apresentada, na Tabela 5, uma pequena seleção de critérios estabelecidos para a aquisição de um conjunto moto-bomba e uma planta de cogeração.

Tabela 5: Exemplo para determinação de critérios de eficácia e eficiência.

CRITÉRIO	CONJUNTO MOTO-BOMBA	CONJUNTO MOTOR-GERADOR
Eficácia (Capacidade de trabalho)	Vazão de esgoto bombeado a uma determinada altura manométrica	Potência da geração de energia elétrica em kW
Eficiência (Desempenho Operacional)	Potência elétrica específica consumida por determinada vazão bombeada a uma determinada altura manométrica em $[kW/m^3 \cdot h_{\text{manométrica}}]$	Relação entre a energia elétrica gerada e a vazão de metano (energia ingressada do biogás), também nomeada rendimento elétrico em kW/m^3_{metano} ou %

Conforme Miki (2012), a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) já começaram a lançar editais que incorporam os custos dos impactos operacionais no julgamento das propostas.

Outra companhia que adotou o valor presente líquido como indicador para o menor preço é a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), determinando tal procedimento por meio de conjunto de normas que estabelece as condições para especificação e aquisição de conjuntos moto-bomba com potência superior a 25 cv.

Consultando o edital do processo licitatório Nº 006/2010, referente à tomada de preços de conjuntos moto-bomba, a CAERN (2010) estabelece: “(...) julgamento e classificação das propostas de acordo com o menor preço por item, composto pelo valor de aquisição dos equipamentos, acrescido do custo operacional com energia elétrica, calculado para um período de 48 (quarenta e oito) meses (...)”, determinando o valor presente líquido como indicador a ser comparado para determinação do menor preço. Ainda estabelece que os equipamentos devem ter uma garantia mínima de 24 meses, compreendendo também o desempenho dos equipamentos.

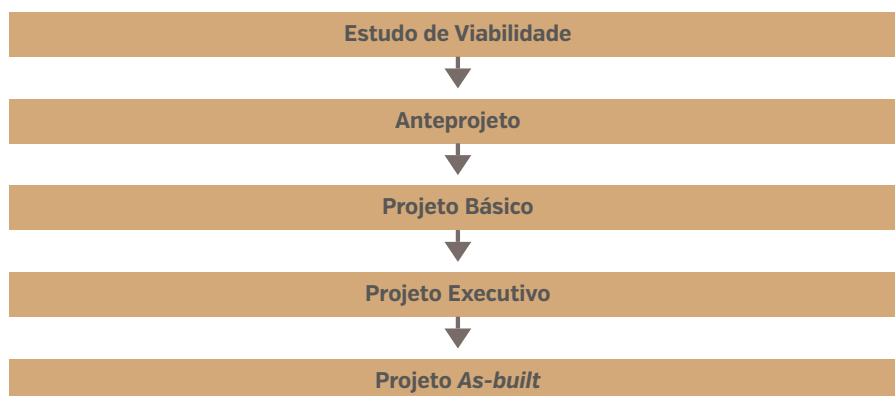
Visando ao cumprimento de determinados parâmetros referentes ao desempenho operacional, deve ser prevista no edital de licitação uma multa para o contratado, em caso de descumprimento de condições preestabelecidas, cuja veracidade seria posteriormente verificada na etapa de inspeção do equipamento.

A adoção das diversas categorias de custos e consideração de métodos dinâmicos de viabilidade econômica, como, por exemplo, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR), em hipótese deve ser cultivado desde a iniciação de qualquer projeto de engenharia.

Altounian (2012) destaca que a viabilidade econômica é a base da decisão se um objeto será licitado ou não. A Figura 6 mostra a ordem das principais etapas com relação à elaboração de projeto.

O Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) também não deixa dúvida de que o estudo de viabilidade é um elemento distinto que antecede a elaboração do projeto básico, quando define o projeto básico no Art. 2 da resolução 361 (CONFEA, 1991) como “(...) uma fase perfeitamente definida de um conjunto mais abrangente de estudos e projetos, precedido por estudos preliminares, anteprojeto, estudos de viabilidade técnica, econômica e avaliação de impacto ambiental, e sucedido pela fase de projeto executivo ou detalhamento.”

Figura 6: Fases de um projeto.



Entende-se que, uma vez determinada uma viabilidade econômica no início de um empreendimento, sob adoção de variados cenários e uma série de premissas, é de primordial importância que estas premissas sejam monitoradas e concretizadas até a realização da obra. Destacam-se parâmetros como rendimento elétrico, durabilidade, disponibilidade operacional ou outros fatores de produtividade, que, em alguns casos, somente podem ser indiretamente garantidos, por exemplo, pela especificação de material adequado.

Somente por estudos de viabilidade técnico-econômica é possível arbitrar correta e monetariamente os balanços diversos entre CAPEX e OPEX, nos quais, por exemplo, um equipamento de qualidade e de CAPEX superior pode se tornar a solução mais econômica quando reflete em uma redução de OPEX e uma vida útil prolongada.

Uma possível metodologia para avaliação econômica que poderia servir de orientação para elaboração de estudos de viabilidade foi apresentada no trabalho *Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás* (BRASIL, 2016) que foi elaborado pelo projeto PROBIOGÁS. Esta análise baseia-se no cálculo do valor presente líquido (VPL) para o horizonte de 25 anos e da taxa interna de retorno (TIR). O trabalho ainda apresenta de forma didática a composição de custos operacionais de plantas de cogeração.

3.6 Comparabilidade entre as propostas

A experiência mostrou que, especialmente no caso dos equipamentos mais complexos (p. ex. motor gerador), a comparação entre as propostas dos fabricantes exige cuidados pelo projetista e comprador, pelas posições opcionais, como, por exemplo, discador GSM (*Global System for Mobile Communications*), circuito de aquecimento, trocador de calor do gás de escape ou catalisador de oxidação, que um proponente considera e outro não, e que podem ser necessárias ou não.

Outra posição que pode resultar em distorções entre as propostas é a montagem e o comissionamento, que, caso não estejam fazendo parte do escopo da proposta, o projetista deve solicitar sua complementação.

O último ponto que deve ser especificado já na solicitação da proposta é o termo internacional de comércio (INCOTERM), que também poderia dificultar a comparabilidade. Para os equipamentos maiores, sugere-se a utilização do INCOTERM “franco a bordo” (FOB), o que significa que o fornecedor deve entregar a mercadoria, desembarçada, a bordo do navio indicado pelo comprador, no porto de embarque. Portanto, todas as despesas até a mercadoria ser colocada a bordo do navio, são da responsabilidade do exportador. Para mercadoria menor, sugere-se o INCOTERM “na fábrica” (EXW), em que o produto e a fatura estão à disposição do comprador no estabelecimento do fabricante e todas as despesas a partir da entrega são de responsabilidade do comprador.

4

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

O fato de que a administração, via de regra, é obrigada a comprar pelo menor preço geralmente leva ao entendimento equivocado de que os aspectos técnicos não podem ser levados em consideração.

Fernandes (2000) destaca que somente não é permitida a restrição injustificada, pois poderia afetar o princípio fundamental da isonomia entre os interessados. Contudo, o Art. 40, inciso VII, da Lei 8.666/93 estabelece que o edital deve indicar o “*critério para julgamento com disposições claras e parâmetros objetivos*”. Fernandes (2000) destaca uma série de dispositivos da Lei nº 8.666/93 que proporcionam a indicação de qualidade do objeto a ser licitado.

Em primeiro lugar, a qualidade dos serviços e dos materiais pode ser determinada por meio do projeto básico, o qual deve ser devidamente justificado. Outra medida para garantir a qualidade desejada são as aprovações depois de cada etapa, antes de começar a subsequente, conforme estabelecido no Art. 7, § 1º, da Lei 8.666/93.

Outro dispositivo da Lei 8.666/93 é trazido pelo Art. 7, § 5º, em que tal dispositivo permite, como exceção à regra, a indicação da qualidade do produto por meio de características e especificações exclusivas, quando tecnicamente justificável.

Mesmo com relação à aquisição de bens, a Lei 8.666/93 estabelece, no Art. 14, que o objeto deve ser caracterizado adequadamente e expressa, no Art. 15, § 7º, a exigência da especificação completa do bem. O inciso I do Art. 15 ainda visa à padronização que estabelece a compatibilidade de especificações técnicas e de desempenho em processos de compras.

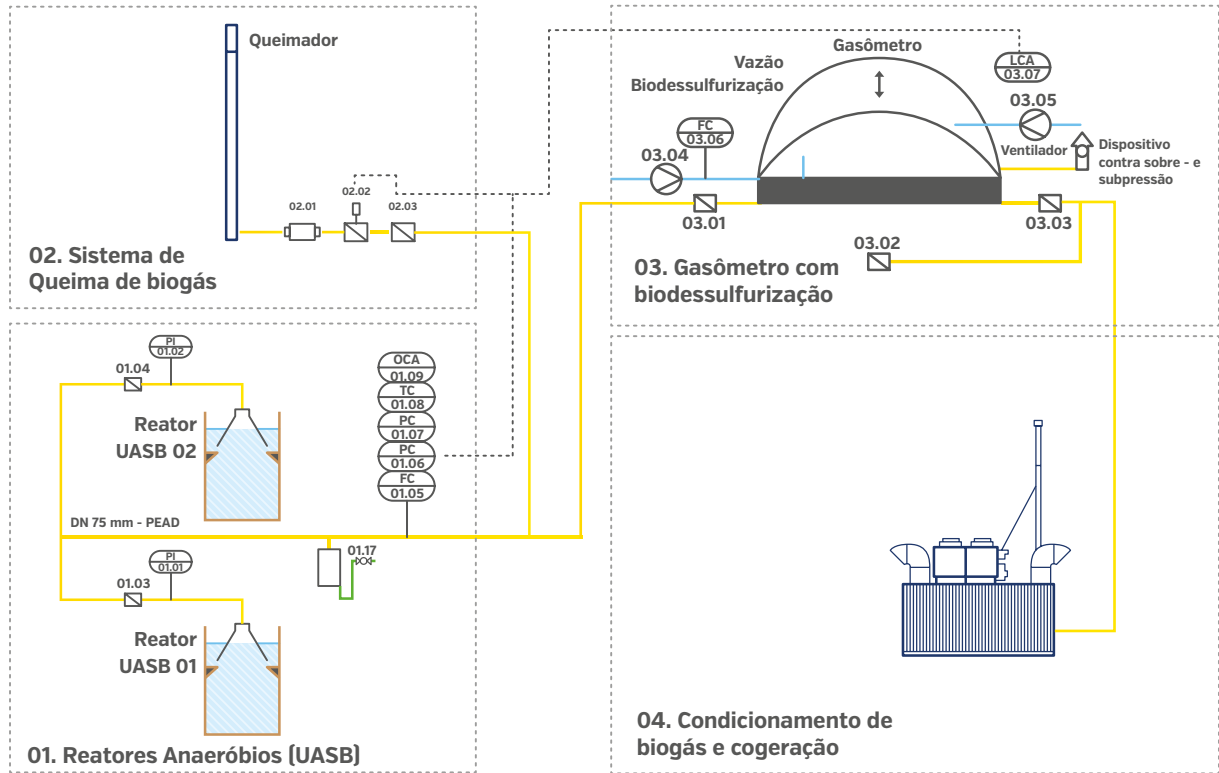
Visando assegurar a qualidade na execução, a administração pública pode ainda:

- >> fazer exigências com relação à qualificação técnica (Art. 30 da Lei 8.666/93);
- >> indicar relação de máquinas, equipamentos e pessoal técnico considerada essencial para o cumprimento da obrigação (Art. 30, § 6º da Lei 8.666/93);
- >> determinar a metodologia de execução a ser avaliada na fase da habilitação (Art. 30, § 8º, da Lei nº 8.666/93).

Vale salientar que o não atendimento da proposta referente às exigências estabelecidas no edital, deve levar à desclassificação no julgamento, conforme Art. 43, inciso IV e Art. 48, inciso I, da Lei nº 8.666/93.

Visando, então, assegurar a qualidade de empreendimentos de biogás, são apresentados e discutidos, a seguir, exemplos de especificações técnicas gerais para os equipamentos principais em projetos de biogás a partir de processos reais analisados. Vale destacar que as descrições apresentadas como exemplos devem ser adaptadas para cada projeto específico e que existem inúmeras outras possibilidades de atingir o mesmo objetivo. Uma possível concepção de um sistema de aproveitamento de biogás por um motor-gerador é apresentada no diagrama de tubulação e instrumentação na Figura 7.

Figura 7: Exemplo de diagrama de tubulação e instrumentação de uma concepção.



4.1 Motor-Gerador *4.1.1 Módulo motor-gerador*

A descrição refere-se a um módulo motor-gerador com gerador síncrono para a geração de energia elétrica em corrente alternada trifásica com 480 V, 60 Hz e calor tecnicamente aproveitável para o combustível biogás e operação contínua.

ATENÇÃO

Um equipamento importado deve trabalhar com a frequência de 60 Hz.

O fornecimento prevê a instalação de 2 unidades para operação permanente.

OBSERVAÇÃO

No exemplo, optou-se pela aquisição de duas unidades para atender à demanda total. Vale salientar que, durante a elaboração do projeto, deve ser determinada a divisão mais adequada, conforme as necessidades do projeto. Mais módulos podem contribuir melhor para a possibilidade de realizar uma implantação em etapas ou para uma maior disponibilidade técnica. Por outro lado, o “efeito escala” impacta significativamente o preço, em que a aquisição de dois ou mais módulos menores, em vez de um único módulo, pode levar à não-viabilidade econômica. O custo específico de kW instalado de motores com uma potência de até 800 kW elétrico pode variar até o fator 3,6.

Balanco energético planejado total:

- >> Potência elétrica P_{el} : 380 kW
- >> Potência térmica aproveitável P_{th} : 404 kW
- >> Energia ingressada $P_{combustível}$: 986 kW

Balanco energético planejado por módulo:

- >> Potência elétrica P_{el} : 190 kW
- >> Potência térmica aproveitável P_{th} : 202 kW
- >> Energia ingressada $P_{combustível}$: 493 kW

Rendimentos energéticos:

- >> Rendimento elétrico mínimo a 100% da potência $\eta_{el,100\%}$: 36,8%
- >> Rendimento elétrico mínimo a 75% da potência $\eta_{el,100\%}$: 36,2%
- >> Rendimento térmico mínimo η_{term} : 46,8%

OBSERVAÇÃO

A potência ingressada corresponde à vazão de biogás seguramente disponível e seu teor de metano. Maiores informações sobre as recomendações com relação à caracterização qualitativa e quantitativa do biogás na seção 3.1.

A relação entre a potência elétrica e a energia ingressada é o rendimento elétrico, e a relação entre a potência e a energia ingressada, o rendimento térmico.

Adicionalmente, deve ser estabelecida, no termo de referência, uma eficiência mínima elétrica e/ou térmica, conforme a estratégia de aproveitamento.

Estas eficiências devem corresponder aos valores adotados no estudo de viabilidade econômica. O rendimento elétrico para motores de combustão interna ciclo Otto situa-se entre 34 e 42% (BRASIL, 2015a). O rendimento térmico para motores de combustão interna situa-se entre 33 e 60% (BRASIL, 2015b).

Devem ser informados pelo proponente:

- >> Potência elétrica P_{el} para 50, 75 e 100% da potência do conjunto motor-gerador;
- >> Potência térmica aproveitável P_{th} para 50, 75 e 100% da potência do conjunto motor-gerador;
- >> Rendimento elétrico η_{el} para 50, 75 e 100% da potência do conjunto motor-gerador;
- >> Rendimento térmico η_{term} para 50, 75 e 100% da potência do conjunto motor-gerador;
- >> Consumo de energia elétrica própria.

Combustível:

O combustível é o biogás proveniente de estação de tratamento de esgoto e será entregue a partir de um gasômetro, onde a pressão operacional mínima é de +2 mbar.

Considerou-se a produção média de biogás de 168 m³/h, com uma composição apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Caracterização do combustível (biogás).

PARÂMETRO	TEOR
Metano CH ₄ mín/máx	50% / 80%
Relação CO ₂ /CH ₄	< 0,9
Número de metano	> 100
Oxigênio O ₂	< 2%
Sulfeto de hidrogênio H ₂ S	< 150 ppm/m ³ _{CH4}
Temperatura mínima	10 °C
Temperatura máxima	35 °C
Umidade máxima	0%
Sílica [S]	< 2mg/m ³ _{CH4}
Amoníaco	< 15 ppm

OBSERVAÇÃO

O bom funcionamento e a eficiência do conjunto motor-gerador podem ser comprometidos por substâncias presentes no biogás, como, por exemplo: umidade, presença de sulfeto de hidrogênio (H₂S), silício (Si), metais e amoníaco. Os poluentes contidos no biogás podem aumentar o desgaste do motor, óleo de motor e outros componentes.

Portanto, um tratamento adequado de biogás (item 4.3) e o monitoramento do seu desempenho (item 4.4) são indispensáveis.

Visando facilitar questões de garantia e responsabilização para o administrador público e projetista, recomenda-se a aquisição do tratamento do biogás junto com o motor-gerador.

Emissões atmosféricas:

Os limites legais referentes às emissões devem ser garantidos com segurança, considerando:

- >> Teor de NO_x inferior a 1.000mg/Nm³;
- >> Teor de SO_x inferior a 1.800 mg/Nm³;
- >> Teor de materiais particulados inferior a 150 mg/Nm³;
- >> Teor de compostos orgânicos voláteis de classe I inferior a 20 mg/Nm³ e classe II inferior a 100 mg/Nm³.

OBSERVAÇÃO

Vale destacar que os limites devem atender à legislação vigente, que pode variar conforme o lugar da implantação da obra. Atualmente, a CONAMA 382/2006 e a CONAMA 436/2011 não estabelecem limites legais para emissões de poluentes atmosféricos para fontes fixas provenientes de geração de energia elétrica com

motor de combustão interna ciclo Otto a partir do biogás. Os valores acima citados foram extraídos da Deliberação Normativa Copam nº 187/2013 do estado de Minas Gerais, referindo-se a fontes fixas pontuais não expressamente listadas nesta deliberação normativa.

Emissões de ruído:

Os limites legais referentes às emissões de ruído devem ser garantidos com segurança.

OBSERVAÇÃO

Vale salientar que o nível de ruído comumente alcançado é de 65 dB em uma distância de 10 metros do contêiner. De acordo com os fabricantes, é possível alcançar níveis inferiores, chegando a 45 dB, caso seja adquirido um isolamento acústico mais sofisticado, o que resulta em custos adicionais.

Ar de refrigeração e de incineração:

Para o dimensionamento do sistema de refrigeração do motor, devem ser considerados:

- >> Temperatura mínima externa de sucção $T_{\text{externa,min}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- >> Temperatura máxima externa de sucção $T_{\text{externa,max}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- >> Temperatura máxima permitida para o ambiente do gerador
 $T_{\text{interna}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
- >> Deve ser informada a radiação térmica do motor pelo proponente e a vazão de ar de refrigeração.

OBSERVAÇÃO

É muito importante determinar a temperatura máxima, para que seja ofertado pelo proponente um motor-gerador com sistema de refrigeração corretamente dimensionado.

4.1.2 Motor a biogás de ciclo Otto

O conjunto motor-gerador deve ser composto por:

- >> Motor ciclo Otto de 4 tempos com turbocompressor, considerando:
 - >> Câster e bloco de cilindros devem ser manufaturados em ferro fundido;
 - >> Apoio da árvore de manivelas e da biela deve ser fabricado em material não corrosivo;
 - >> Pistões concebidos a partir de peça única fabricado em liga leve. Os anéis de pistão e de óleo (anel raspador);
 - >> Bielas devem ser fabricadas em aço ligado;
 - >> Camisas de cilindros de ferro fundido;

- » Cabeçote do cilindro refrigerado a água, fabricado em ferro fundido.
- » Resfriador da mistura ar-combustível, válvula borboleta, regulação de mistura por meio da pressão de alimentação;
- » Misturador de gás que deve permitir manter uma relação constante entre biogás e ar, mesmo com qualidade variável do biogás;
- » Sistema de sucção de ar seco dimensionado para uma temperatura máxima de 40 °C (vide também item 4.1.1) com filtro e indicação de sub-pressão;
- » Sistema de partida composto por motor de arranque elétrico e fonte de alimentação;
- » Ignição eletrônica com uma bobina de ignição por cilindro e regulação eletrônica de rotação;
- » Base de apoio e fixação compacta pintada com amortecedores para redução de vibrações,
- » Acoplamento torcionalmente flexível;
- » Compensador de gás de escape;
- » Compensadores do sistema de resfriamento;
- » Regulador de mistura e potência;
- » Tubulação de gás de escape até o sistema de escape com isolamento resistente às altas temperaturas do sistema;
- » Cuba coletora de óleo.

Devem ser informados pelo proponente:

- » Fabricante e tipo do motor;
- » Volume de deslocamento do motor (cilindrada);
- » Potência elétrica nominal;
- » Potência térmica nominal;
- » Consumo de biogás considerando um poder calorífico inferior a 6,0 kWh/m³;
- » Vazão de ar para combustão;
- » Consumo de óleo lubrificante (g/kWh).

Dimensões e pesos:

Devem ser informados os seguintes parâmetros:

- » Comprimento;
- » Largura;
- » Altura;
- » Peso operacional;
- » Peso líquido;
- » Peso do Gerador.

Pintura:

Todas as peças e componentes que podem receber pintura devem ser pintados, com exceção de peças de alumínio, metal não ferroso, plásticos, materiais zincados e elementos elásticos.

4.1.3 Gerenciamento de Óleo

O conjunto motor-gerador deve ser dotado de sistema de gerenciamento de óleo, composto por um tanque complementar, com volume de 300 litros, bomba para troca, filtro de óleo, visor para verificação do nível de óleo, conexão flexível entre motor e tanque e sistema de controle de funcionamento por meio de temperatura. O reservatório deve possuir uma válvula para esvaziamento. O nível de óleo deve ser monitorado por meio de sensores com desligamento automático do motor, quando estiver abaixo do nível mínimo ou acima do nível máximo preestabelecido.

OBSERVAÇÃO

O volume de reservatório aumentado por meio de utilização de um tanque complementar proporciona maior capacidade de absorção do lubrificante e maiores intervalos de troca de óleo, facilitando, assim, significativamente, a operação e melhorando a segurança operacional.

4.1.4 Gerador

Gerador síncrono para a geração de energia elétrica em corrente alternada trifásica com 480 V, 60 Hz, refrigerado a ar com classe de proteção IP 23.

4.1.5 Quadro de Comando/Controle/Telemetria

Quadro de Comando para o sistema, permitindo a sincronização e o controle programável com a definição de potências de geração conforme níveis de enchimento do gasômetro composto por:

- >> IHM com *Display* para indicação da potência elétrica em kW, energia elétrica em kWh, horas de funcionamento, temperaturas (óleo, água de refrigeração de entrada e saída, gás de escape, ar de mistura), consumo de biogás, velocidade rotacional, mensagens de erros;
- >> Controle de motor-gerador por meio de temperaturas de óleo, ar de mistura, água de refrigeração, falta de água de refrigeração, proteção contra motorização, sobretensão, subtensão, velocidade rotacional mínima e máxima, proteção contra sobrecarga, controle das fases e disjuntor;
- >> Interligação do quadro de comando ao CHP até 6 metros de comprimento de cabo, para instalação na sala de máquinas;
- >> Telemetria *online* por Internet Banda Larga, permitindo o acesso da assistência técnica do fabricante ao CLP em caso de falhas;
- >> Controle e automação que permite a mudança do modo operacional para ilhamento (sem rede da concessionária);
- >> Instalação, teste e *start-up*.

1: Especialmente em um país com as dimensões do Brasil, isto ajuda a reduzir custos de manutenção in loco.

ATENÇÃO

Devem ser levantadas as exigências da companhia de energia elétrica com relação às proteções exigidas, para que estas possam ser especificadas no termo de referência. É recomendável manter um contato próximo com a concessionária de energia elétrica na elaboração das especificações, com a finalidade de evitar imprevistos e custos adicionais após o processo licitatório.

Destacam-se as proteções contra: subtensão, sobretensão, subfrequência, sobrefrequência, desbalanço de corrente, sobrecarga, sobrecorrente instantânea. Estas proteções geralmente conseguem ser realizadas por meio de um único relé de proteção, dependendo do fabricante.

Devem ser informados pelo proponente:

- » Fabricante e tipo do gerador;
- » Potência;
- » Rendimento na potência nominal com $\cos(\phi)$ de 1,00;
- » Corrente nominal;
- » Reatâncias:
 - » Reatância síncrona de eixo direto X_d
 - » Reatância transitória de eixo direto X_d'
 - » Reatância sub-transitória de eixo direto X_d''
 - » Reatância de dispersão do estator X_l
 - » Reatância do estator X
 - » Reatância síncrona em quadratura X_q
 - » Reatância transitória em quadratura X_q'
 - » Reatância sub-transitória em quadratura X_q''
- » Constantes de tempo
 - » Constante de tempo transitória de eixo direto T_{do}'
 - » Constante de tempo sub-transitória de eixo direto T_{do}''
 - » Constante de tempo transitória em quadratura T_{qo}'
 - » Constante de tempo sub-transitória em quadratura T_{qo}'' .

4.1.6 Sistema de Resfriamento

O sistema de resfriamento deve ser composto por:

- » Resfriador de emergência: para extração de calor em excesso composto por estrutura de apoio soldada e zincada, trocador de calor composto por tubulação de cobre, lamelas de alumínio e ventilador axial (baixo ruído) com motor de rotor exterior trifásico. A conexão entre trocador de calor de placas e o resfriador de emergência deve ser realizada com tubulação de até 10 metros e devem ser fornecidos os acessórios de segurança, fixação e termômetro. Os dados técnicos são:
 - » Nível de pressão sonora: 65 dB (A) em uma distância de 10 metros;
 - » Classe de proteção IP 54;
 - » Deve ser informada pelo proponente a potência de refrigeração.

- » Resfriador de mistura: para extração de calor em excesso do ar de alimentação do *intercooler* composto por estrutura de apoio soldada e zincada, trocador de calor com por tubulação de cobre, lamelas de alumínio e ventilador axial (baixo ruído) com motor de rotor exterior trifásico. O sistema está dotado, ainda, de válvula 3-vias com motor de controle eletrônico para uma temperatura constante de retorno, bomba de circulação e tanque de expansão. A conexão com motor-gerador deve ser realizada com tubulação de até 10 metros e devem ser fornecidos os acessórios de segurança, fixação e termômetro. Os dados técnicos são:
 - » Nível de pressão sonora: 65 dB (A) em uma distância de 10 metros;
 - » Classe de proteção IP 54;
 - » Deve ser informada pelo proponente a potência de refrigeração.
- » Circuito de Refrigeração do Motor (Primário) por Trocador de calor de placas
 - » Para separação do circuito de refrigeração primário do secundário com entrada de 70 °C e saída de 85 °C;
 - » Potência de troca de calor de 202 kW;
 - » O sistema está dotado ainda com válvula 3-vias com motor de controle eletrônica para uma temperatura constante de retorno, manômetro, acessório de segurança contra falta de água, bomba de circulação e tanque de expansão.

4.1.7 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação deve ser composto por um soprador para trabalho em áreas classificadas para realização de pré-pressão constante compatível com o sistema e uma vazão compatível ao projeto. O soprador deve ser montado com compensadores em aço inox para redução de vibrações.

O sistema ainda deve possuir um conjunto de regulagem e medição, composto por filtro de gás, duas válvulas solenoide (livre de metal não ferroso), válvula corta-chama, controlador de pressão, manômetro, válvula esfera (livre de metal não ferroso), regulador pressão-zero, mangueira flexível de gás malha de aço (livre de metal não ferroso), abertura para medição 1/2 polegada e um medidor de vazão de biogás (ver capítulo 4.5.1), flangeado, aço inox, visualização à distância no IHM do quadro de comando.

4.1.8 Sistema de escape

Composto por escape flangeado com altura de até 10 metros acima da cota do terreno com comprimento total máximo de 15 metros e 5 cotovelos. Nível de pressão sonora: 65 dB (A) em 10 metros (medição em campo livre).

4.1.9 Sistema de ventilação do ambiente de máquina

O sistema é composto por um ventilador, regulagem automática do ventilador (para manter temperatura no ambiente da máquina constante), duas curvas de ventilação com atenuadores de ruído, sistema de alarme de gás para detecção de atmosfera explosiva no ambiente da máquina.

Ainda devem ser contemplados:

- >> Sistema de alarme ótico e acústico;
- >> Sensor de fumaça;
- >> Integração com sistema de monitoramento de falhas e opção ao desligamento do motor-gerador.

4.1.10 Contêiner do CHP

O motor-gerador deve ser fornecido montado em um contêiner marítimo na cor verde (RAL 6003) que serve de abrigo permanente, que deve ser equipado com:

- >> Forro isolante acústico interno com lã mineral (e = 50 mm);
- >> Revestimento interno de chapa perfurada zincada;
- >> Placas de soalho (e = 3 mm);
- >> Porta dupla;
- >> Iluminação interna e tomadas de 230 V.

Deve ser construída uma base em concreto armado para o assentamento do contêiner do CHP, considerando as características locais do solo.

4.1.11 Comissionamento do motor-gerador

Deve ser considerado um comissionamento no qual serão testadas todas as fases operacionais, verificados os equipamentos de segurança, calibrados os sensores e ajustadas as válvulas de controle.

4.2 Gasômetro

O gasômetro para o armazenamento de biogás deve ser constituído por duas membranas cujo material encontra-se especificado abaixo. A base do gasômetro deve ser constituída por um radier de concreto armado.

Fazem parte do escopo do fornecimento as obras civis e as montagens eletromecânicas com fornecimento de materiais necessários à instalação do equipamento.

A membrana externa deve ser resistente à radiação solar, ação bacteriana e abrasão.

O gasômetro deve atender às seguintes exigências:

- >> Tipo: Gasômetro de membrana dupla;
- >> Caracterização de gás: Biogás a ser armazenado composto por metano (60 a 85% em vol), oxigênio (0 a 2% em vol.), dióxido de carbono (5 a 15% em vol.) e sulfeto de hidrogênio (1.000 a 5.000 ppm);
- >> Volume útil total: 400 m³;
- >> Unidades: 1;
- >> Diâmetro: 11 a 13 metros;
- >> Relação Diâmetro/Altura: 2 a 2,5;
- >> Material da membrana interna: Tecido de poliéster com recobrimento de PVC;

- >> Material da membrana externa: Tecido de poliéster com recobrimento de PVC;
- >> Pressão máxima de + 5 mbar;
- >> Resistência à velocidade do vento de 150 km/h.

OBSERVAÇÃO

Com gasômetros de membrana dupla, sobrepressões de 1 a 30 mbar são realizáveis. Porém, a pressão operacional do gasômetro a ser escolhida deve ser especificada de acordo com o sistema em que está sendo implantado.

O material das membranas externa e interna devem apresentar:

- >> Resistência a fungos;
- >> Resistência ao fogo, de acordo com a norma DIN 4102 classe B1.

A membrana externa deve ser adicionalmente resistente à radiação ultravioleta.

OBSERVAÇÃO

Com relação aos materiais utilizados para a membrana externa e interna, não é necessário que sejam especificados a resistência à ruptura e o peso específico, porque podem variar de fabricante a fabricante conforme os métodos de confecção, garantindo a mesma pressão operacional.

Da mesma forma, sugere-se não especificar determinadas técnicas de soldagem, resistências à flexão (DIN 53359) ou baixas temperaturas (DIN 53361), o que limitaria desnecessariamente a concorrência.

O sistema deve ser dotado, ainda, de um soprador compatível, apresentando as seguintes características:

- >> Tensão: 220/380 V;
- >> Frequência: 60 Hz;
- >> Unidades: Dois, sendo um soprador de prateleira;
- >> Acessórios:
 - >> Válvula de retenção em aço inox 304, que deve ser montada entre o soprador e o gasômetro, visando manter a pressão de ar entre as duas membranas a um nível constante em caso de parada de funcionamento do soprador;
 - >> Válvula de segurança em aço inox 304 contra sobrepressão (+ 4 mbar) e subpressão. (-1 mbar), para uma vazão de alívio de 270 m³/h.

OBSERVAÇÃO

Há uma série de formas de funcionamento, p. ex., com selo hidráulico carregado com glicol ou mecanicamente com esferas.

O sistema deve ser dotado, ainda, de um sistema de medição do nível de enchimento por meio de sensor capacitivo, apresentando as seguintes características:

- » Temperatura de trabalho: 5 °C a 80 °C;
- » Saída analógica: 4-20 mA;
- » Classe de proteção: IP 65.

OBSERVAÇÃO

Nos sistemas de gasômetro de membrana dupla, há principalmente dois tipos de medição de nível de enchimento.

- 1. O sistema capacitivo tipo corda, no qual uma corda percorre por cima da membrana interna e movimenta um peso cuja altura está sendo medida pelo sensor.*
- 2. O sistema ultrassônico, no qual o sensor está montado na face interna da membrana externa, medindo a distância até a membrana interna que varia conforme o nível de enchimento.*

O anel de ancoragem para a fixação das membranas deve ser realizado por meio de mangueira pressurizada inserido num perfil U fabricados em aço inox 304. O perfil U deve ser fixado na base de concreto por meio de chumbadores fabricados em aço inoxidável.

A instalação deve ser acompanhada de painel de controle para o funcionamento automático, conectado ao supervisório da ETE, comunicando por rede Ethernet com protocolo Profibus, Modbus ou equivalente.

4.3 Condicionamento do Biogás

4.3.1 Resfriador de biogás

O sistema será instalado no ambiente externo e deve garantir a remoção total de condensado e uma umidade máxima de 10 g/Nm³ no biogás, considerando que o biogás esteja completamente saturado de vapor de água.

O sistema deve ser composto por um resfriador de biogás em aço inox 304 com drenagem de condensado e abertura para limpeza, composto por resfriador de água montada em base de apoio zincado, trocador de calor com circuito de biogás em aço inox, ciclone de condensado em aço inox, dreno de condensado com diâmetro de 1 pol. e H = 150 mm, entrada de biogás flangeada com DN 80 PN 10 e válvula de borboleta, saída de gás flangeada no ciclone de condensado DN 80 PN 16, termômetro na entrada e saída de gás, manômetro na saída de gás, pressostato de baixa pressão na entrada de gás, trocador de calor termicamente isolado a prova de radiação ultravioleta.

Dados técnicos:

- » Classe de pressão PN 10;
- » Vazão máxima de biogás de 175 Nm³/h;
- » Temperatura de biogás na entrada de 40 °C;

- >> Temperatura de biogás na saída de 7 °C;
- >> Pressão na entrada entre -2 mbar a 5 mbar;
- >> Pressão sonora máxima a 10 metros de distância: 30 dB.

ATENÇÃO

Quando o sistema de resfriamento não for adquirido junto ao fornecedor do motor-gerador, a temperatura e a umidade máxima do biogás, após o resfriamento, devem ser confirmadas pelo fabricante do motor-gerador.

Devem ser informados pelo fornecedor:

- >> Resfriamento máximo com temperatura ambiente de 40 °C;
- >> Potência elétrica máxima;
- >> Potência de refrigeração;
- >> Perda de carga.

4.3.2 Filtro de carvão ativado

2: Utilizar a vazão máxima de biogás do motor gerador

O sistema de filtragem por meio de carvão ativado para uma vazão de biogás² de até 175 Nm³/h deve ser instalado no ambiente externo e deve ser fabricado em aço inox e possuir flanges para conexão à tubulação de biogás.

Deve ser fornecido, ainda, o carvão ativado para o primeiro enchimento e a tubulação em aço inox para conexão ao sistema até um comprimento máximo de 10 metros.

Dados técnicos:

- >> Vazão máxima de biogás de 175 Nm³/h,
- >> Pressão admissível entre 0 e 200 mbar.

Devem ser informados pelo fornecedor:

- >> Volume útil;
- >> Perda de carga.

4.4 Queimador de biogás

O queimador de biogás deve ser dimensionado para a vazão de 270 Nm³/h com uma pressão relativa mínima do sistema de transporte de biogás de 2 mbar.

O queimador deve ser do tipo semi-enclausurado, composto por câmara de queima, difusor, coluna de queima e defletor de proteção contra vento, fabricados em aço inox 304. O difusor deve estar localizado a três metros do nível de terreno.

A ignição deve ser realizada por ignitor eletrônico alimentado por placa solar e bateria. O painel de comando (220 V – monofásico) deve ser constituído de caixa fabricada em termoplástico autoextinguível e resistente aos raios ultravioleta, adequado para trabalhar exposto às intempéries (classe de proteção IP 66). O controle deve permitir identificar a temperatura da câmara de queima e o estado da chama, possuindo uma chave geral (liga-desliga-automático) e um botão de ignição manual.

OBSERVAÇÃO

Há três tipos de queimadores: os abertos, enclausurados (fechados) e semi-enclausurados, que apresentam diferenças com relação à eficiência, ao custo e às possibilidades de monitoramento, apresentados mais detalhadamente no Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto do PROBIOGÁS (BRASIL, 2015a).

O queimador deve estar dimensionado para promover a queima da vazão máxima do projeto, considerando-se ainda um fator de segurança.

Além do sistema de ignição por ignitor eletrônico, também são oferecidos, no mercado nacional, sistemas com chama piloto alimentada por GLP ou biogás.

Opcionalmente, pode ser instalado um sistema de monitoramento da chama por meio de termopar, indiferentemente do sistema de ignição.

O sistema deve ser dotado de uma válvula corta-chamas (corpo em ferro fundido; colmeia, parafusos e porcas em aço inox 304) e de uma válvula reguladora de pressão (corpo em alumínio fundido; parafusos e porcas em aço inox 304; vedação em teflon).

O sistema deve apresentar um coletor de água condensada que seja dotado de um visor de nível tubular e de um dreno sifonado, compatível com a pressão de operação, fabricado em aço inox 304.

4.5 Equipamentos de medição

4.5.1 Vazão de biogás

Deve ser fornecido um medidor de vazão de biogás (vazão normal) estacionário.

O medidor deve ser fabricado em material resistente à corrosão e permitir a medição:

- » de gases impuros, contendo partículas;
- » de gases com teores variáveis de umidade;
- » de gases com teores variáveis dos compostos metano, dióxido de carbono, oxigênio e nitrogênio.

Os dados técnicos são:

- » Range de medição de 10 a 270 Nm³/h;
- » Temperatura ambiente entre +5 e + 50 °C;
- » Pressão relativa do biogás entre +5 e +30 mbar rel.;
- » Display iluminado;
- » Classe de proteção IP 66;
- » Conexão flangeada (DIN);
- » Distância máxima do trecho de aproximação de 20 vezes o diâmetro interno da tubulação;
- » Saída analogia 4-20 mA

OBSERVAÇÃO

Quando for medida a vazão do biogás bruto, as características deste exigem a utilização de um medidor tipo Vórtex.

Já quando for efetuada a medição de um biogás tratado, promovendo a remoção da umidade e das partículas do biogás, o mássico por dispersão térmica.

Estas duas e outras tecnológicas são apresentadas no Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto do PROBIOGÁS.

4.5.2 Qualidade de biogás

Recomenda-se o uso de um sistema de medição estacionário de biogás para análise de qualidade de biogás bruto com relação às concentrações de CH₄ e H₂S em um ponto, para uma usina já instalada.

O sistema deve ser abrigado em um quadro de alumínio para a instalação em ambiente fechado e ser fornecido com fonte de alimentação, controlador, *display*, válvulas de controle e bomba de amostragem e purga. É importante que a instalação seja em um ambiente climatizado.

O sistema deve possuir:

- >> Refrigeração integrada do gás de amostragem, com remoção de condensado;
- >> Entrada de gás de calibração; e
- >> Entrada de ar ambiente para a purga.
- >> Os dados técnicos são:
 - >> Pressão na entrada de gás de amostragem - 100 a +20 mbar rel.;
 - >> Temperatura de gás de amostragem de +5 a 40 °C;
 - >> Umidade relativa de gás de amostragem permitida ≤ 100%
 - >> Temperatura ambiente no local de instalação de +5 a 45 °C;
 - >> Umidade relativa de ambiente no local de instalação de 0 a 95%;
 - >> Classe de Proteção (área classificada): ATEX G IIC;
 - >> 4 saídas analógica 4-20 mA;
 - >> Classe de proteção IP 20.

Os sensores devem atender aos seguintes requisitos:

COMPONENTE	MÉTODO DE MEDIÇÃO	RANGE DE MEDIÇÃO	PRECISÃO DE MEDIÇÃO	CICLO DE MEDIÇÃO
CH ₄	Infravermelho	0-100 Vol.-%	+/- 1% MBE	Descontínuo
H ₂ S	Eletroquímico	0-10.000 ppm ³	+/- 3 ppm (≤ 25 ppm)	Descontínuo

3: É importante ter um sensor com a faixa acima da faixa esperada, caso contrário, a célula se desgasta muito rapidamente.

OBSERVAÇÃO

Vale salientar que os sensores eletroquímicos possuem uma vida útil de, no máximo, 18 meses a partir da fabricação e dependem, ainda, da frequência das medições e do nível de concentrações no biogás.

REFERÊNCIAS

ALTOUNIAN, Cláudio Sarian. **Contratações Eficazes de Obras Públicas**, em 15 de março de 2012 no Fórum Brasileiro de Contratações Públicas e Infraestrutura. Disponível em: [slideshare id=12164893&doc=apresentaodr-claudiosarian-120326150733-phpapp01]

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás/Probiogás**; Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores: Sebastian Rosenfeldt et al. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto/ Probiogás**. Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores: Bruno Silveira et al. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015a.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para Brasil/Probiogás**. Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); Autores: Carolina Cabral et al. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015b.

CABRAL, B. G. C. **Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - UFSC. Florianópolis. 2016.

CABRAL, B. G. C.; PLATZER, C. J.; CHERNICHARO C.A.L.; HOFFMANN, H.; BELLI FILHO, P. **AVALIAÇÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO EM REATORES UASB EM ETE**. XX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. 2016 – Jaraguá do Sul – SC – Brazil. [http://sistema.trabalhosasemae.com.br/repositorio/2016/10/anais/ANAI_20_EEMS_ASSEMAE.pdf]

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2007. 379 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE ENGENHARIA - CONFEA - Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. LDR - **Leis, Decretos, Resoluções**. RESOLUÇÃO Nº 361, DE 10 DE DEZEMBRO DE 1991.

FERNANDES, Jorge Ulisses Jacoby. **A qualidade na Lei de Licitações: o equívoco de comprar pelo menor preço, sem garantir a qualidade**. Jus Navigandi, Teresina, ano 4, n. 38, jan. 2000. Disponível em: [<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=429>]. Acesso em: 25 jan. 2016.

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

UASB Tratando Esgoto Doméstico. Tese [Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos]- Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Minas Gerais, 2011.

MIKI, MARCELO KENJI. **Inovação Tecnológica no saneamento dentro do contexto da Lei de Licitações nº 8666/93.** Revista DAE, v. 60, p. 58-65, 2012.

PLATZER, C. J. **AVALIAÇÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO EM REATORES UASB – Resultados Preliminares do Projeto de Medições. Painel Tema 10 – Biogás de reatores anaeróbios: Estado da arte no Brasil** Apresentação disponível em [<http://www.assemae.org.br/palestras/item/1555-tema-10-biogas-de-reatores-anaerobios-estado-da-arte-no-brasil>], 2016.

POSSETTI, G. R. C. et al. **Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental [ABES], Curitiba, 2013.



Por meio da:



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7958-065-9



9 788579 580659

