

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Hélinah Cardoso Moreira

**Biogás em estações de tratamento de esgotos:
os principais legados da cooperação técnica
Brasil-Alemanha**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como
requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Urbana e Ambiental

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza

Coorientador: Prof. Gustavo Rafael Collere Possetti

Rio de Janeiro
Setembro de 2017



Hélinah Cardoso Moreira

**Biogás em estações de tratamento de esgotos:
os principais legados da cooperação técnica
Brasil-Alemanha**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Reinaldo Castro Souza

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. Gustavo Rafael Collere Possetti

Coorientador

Companhia de Saneamento do Paraná, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Prof^a. Soraida Aguilar Vargas

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Prof. Isaac Volschan Junior

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de Setembro de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Hélinah Cardoso Moreira

Engenheira Ambiental formada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2013. Desde 2013, trabalha na cooperação alemã para desenvolvimento sustentável por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ GmbH)*, onde foi coordenadora da componente esgotos do projeto de cooperação PROBIOGÁS. Atualmente, coordena um projeto de cooperação na área de resíduos sólidos urbanos e clima.

Ficha Catalográfica

Cardoso Moreira, Hélinah

Biogás em estações de tratamento de esgotos: os principais legados da cooperação técnica Brasil-Alemanha / Hélinah Cardoso Moreira; orientador: Reinaldo C. Souza; coorientador: Gustavo R.C. Possetti – 2017.

174 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2017.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental – Teses. 3. Legado do PROBIOGAS. 4. Aproveitamento energético do Biogás. 5. Estação de tratamento de esgoto. 6. Projeto de cooperação Brasil – Alemanha. I. Souza, Reinaldo C.; Possetti, Gustavo R.C. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

A oportunidade de cursar um mestrado profissional durante a implementação de um projeto de cooperação foi irrecusável, mas também imaginava que não seria fácil. Trabalhar e estudar é sempre um grande desafio, que se torna mais suave quando se conta com a ajuda de amigos, familiares, professores, colegas de trabalho e de grandes inspirações.

Agradeço ao meu coorientador Gustavo Possetti, pois sem sua dose de motivação, suporte e força não teria concluído essa etapa da minha vida.

Agradeço ao meu orientador Reinaldo Souza, que com sua leveza e pensamento positivo me deu suporte para concluir este trabalho.

Agradeço à Christiane Pereira, pessoa que me incentivou desde o início nessa jornada até os últimos instantes, sendo peça fundamental nesta etapa de minha vida.

Aos meus amados pais, seres essenciais em minha vida e que sempre me apoiam em todas as minhas escolhas, sempre incondicionais quando o assunto é o meu desenvolvimento.

À Anna Heuseler, companheira da vida que me aguentou nessa fase e me deu a estrutura necessária para seguir com minhas metas.

Agradeço à GIZ, que me deu essa grande oportunidade e me colocou em contato com o tema, me dando espaço e confiando em meu trabalho, nas pessoas do Victor Valente e Wolfgang Roller.

Agradeço às fontes inspiradoras, a todos e a cada parceiro que atuou comigo ao longo do projeto e contribuiu para o meu crescimento profissional.

Gratidão!

Resumo

Cardoso Moreira, Hélinah; Souza, Reinaldo C. (Orientador); Possetti, Gustavo R.C. (Coorientador). **Biogás em estações de tratamento de esgotos: os principais legados da cooperação técnica Brasil-Alemanha.** Rio de Janeiro, 2017. 174 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Apesar dos avanços verificados nos últimos anos, o aproveitamento energético do biogás no Brasil ainda não é uma prática consolidada no tratamento de esgotos. Em estações de tratamento de esgotos (ETEs) com processos anaeróbios, o biogás se mostra como um produto estratégico econômico, social e ambientalmente, em muitos países do mundo, em especial na Alemanha. O projeto de cooperação técnica Brasil-Alemanha – PROBIOGÁS – foi o propulsor da discussão do biogás no saneamento no país. O presente trabalho retrata as principais ações e impactos do PROBIOGÁS no setor de tratamento de esgotos brasileiro e propõe uma continuidade às ações desenvolvidas por meio de instituições chave. Além disso, são levantados os desafios e perspectivas do biogás no setor, usando como base o histórico na Alemanha. No âmbito do PROBIOGÁS, os resultados foram bastante exitosos e consolidam as bases para o avanço do tema no Brasil. Como legados do projeto, desenvolveram-se diversas referências técnicas nacionais, promoveu-se a integração de diversos atores chave, fomentou-se a pesquisa aplicada e foram desenvolvidas capacidades de mil e oitocentas pessoas. Apesar disso, ainda se faz necessário que todo o conhecimento produzido seja replicado para as diversas realidades no país. Além disso, os principais desafios passam pela fragilidade da estratégia de gestão, pouca integração entre o desenvolvimento científico e sua aplicação, e necessidade de desenvolvimento de capacidades. Por fim, fica claro que, para o desenvolvimento de projetos de biogás de ETEs bem-sucedidos torna-se indispensável a incorporação do conceito de ETE Indústria.

Palavras-chave

Legado do PROBIOGÁS; aproveitamento energético do Biogás; estação de tratamento de esgoto; projeto de cooperação Brasil – Alemanha.

Extended Abstract

Cardoso Moreira, Hélinah; Souza, Reinaldo C. (Advisor); Possetti, Gustavo R. C. (Co-Advisor). **Biogas in wastewater treatment plants: the main legacies of the Brazil-Germany technical cooperation.** Rio de Janeiro, 2017. 174 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The current context of sewage treatment in Brazil is critical: only 40% of all generated wastewater is treated (ANA, 2015). Therefore, the expansion of the provision of sewage treatment services must take place within a scenario of investment difficulties, more stringent quality standards, higher energy and sludge operation costs and sewer rates that do not reflect real costs.

Given that the provision of this service is not compromised and to move forward effectively on this issue, a change in management and paradigm breakdown must be done by establishing the concept of “Industrial” waste water treatment plant (WWTP).

This concept envisions the WWTP as a closed loop, which receives an effluent for treatment and that through the efficiency of its processes delivers a treated effluent, seeking to optimize costs, recover and value the by-products and promote public health, based on a sustainable servicing of the institutional, social, environmental and economic dimensions.

One of the potential by-products of sewage treatment is the biogas. This is because the UASB reactors for the treatment of domestic sewage is consolidated in the country (VAN HAANDEL *et al.*, 2006; CHERNICHARO *et al.*, 2015), considering the WWTP in operation, in different sizes and in the projects contemplated by the Growth Acceleration Program (PAC, in Portuguese). Chernicharo (2017) counted 908 anaerobic reactors that serve about 23 million inhabitants and routinely produce biogas. Considering the diagnosis of WWTPs carried out by the Agência Nacional de Águas - (2016), a Brazilian water agency, it shows that more than a third of the plants use anaerobic reactors.

By transforming biogas from a by-product of the treatment process into a renewable energy source, WWTP also promotes a new level of service delivery, generating distributed energy that provides an improvement in the management of its energy and in the treatment processes. From the point of view of service

provision, biogas plays a strategic role because it acts as a fuel to promote a sustainable service from a social, environmental and economic perspectives.

The Brazil-Germany technical cooperation project to promote the energetic use of biogas in Brazil – PROBIOGÁS – was the result of cooperation between the two governments that had a goal of incorporating this alternative source of energy in the Brazilian energy matrix, thereby promoting more efficient sanitation services and reducing the emission of greenhouse gases.

PROBIOGÁS initiative was coordinated by the Brazilian government by the National Secretariat of Environmental Sanitation of the Ministry of Cities, and the German government through the German cooperation agency for sustainable development – GIZ. Beginning in 2013 and lasting for four years, the project has increased the motivation for innovation in the sewage treatment sector, having planted the biogas seed as a potential lever for the valorization of sewage treatment services.

Cooperation with Germany on this theme was providential, as the country is a reference in this area in terms of public policy, capacity development, standards and regulations, market development and counting with 10,786 biogas plants (Fachverband BIOGÁS, 2016). The country currently has approximately 10,000 sewage treatment plants, of which 2,214 WWTPs with an equivalent population greater than 10 thousand inhabitants represent 90% of the country's sewage treatment capacity (DWA, 2010). Of these, 1,252 WWTPs perform anaerobic digestion of sludge and use the biogas as an energy source (BUNDESAMT, 2015). A German WWTP generates about 50% of its energy demand from biogas. The WWTPs are seen as industrial processes, according to the concept of “Industrial” WWTP.

In Brazil, despite the advances made in recent years, the energetic use of biogas is still not a consolidated practice in sewage treatment, as the fuel is burned and wasted in the atmosphere. This fact confirms the need to disseminate technical knowledge and information that supports decision makers and the transition to a more sustainable service delivery.

This study aims to portray the main actions and impacts of the PROBIOGÁS project in the Brazilian sewage treatment sector, to propose a continuity to the actions developed through key institutions and to evaluate the challenges and

perspectives of biogas in the Brazilian sewage treatment sector, based on the German development scenario.

The main actions and impacts of the PROBIOGÁS cooperation project in the sewage sector were systematized and evaluated in three main themes: framework conditions; technical and scientific cooperation; and capacity building and training. Framework conditions means the set of legal frameworks, market, economic, social and environmental conditions, that is, the state of the art of the subject in Brazil. A comparative analysis was carried out in 2012, before the cooperation project, and in the year 2016, after project performance. In addition, a survey of the projects of WWTPs with an energetic use of biogas was conducted.

In Figure 1, it can be observed how the actions and impacts of PROBIOGÁS were structured, in the three themes and in their respective sub-themes.

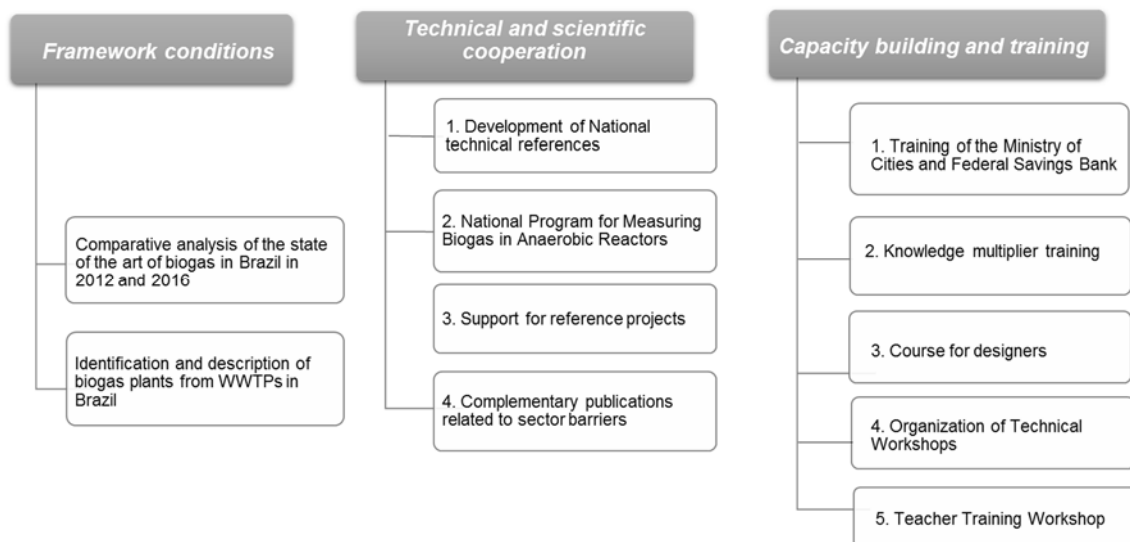


Figure 1 – Structuring of the main actions and impacts of PROBIOGÁS.

Figure 2 summarizes the steps taken to develop the results within the theme of Framework Conditions.

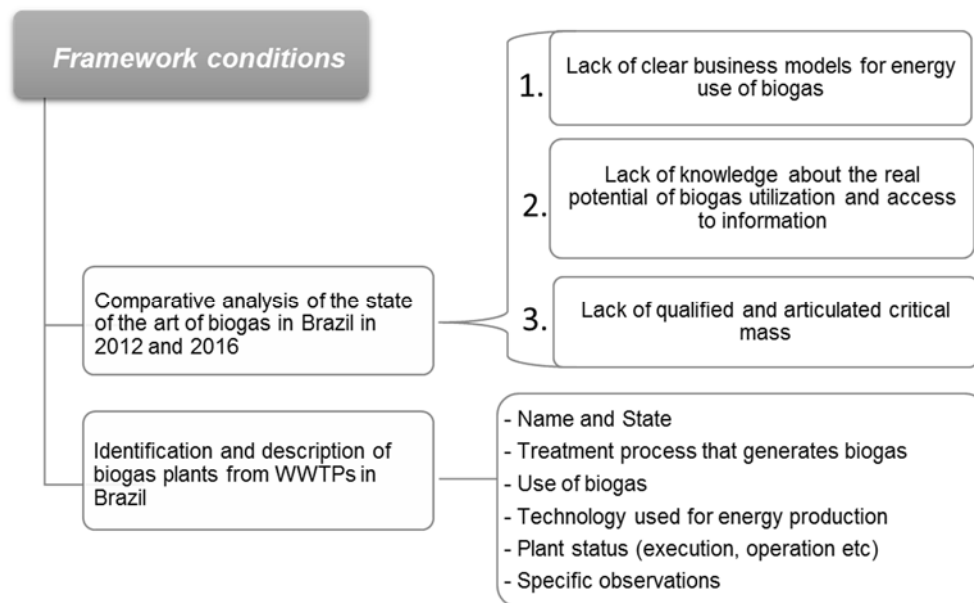


Figure 2 – Structuring of the results of the framework conditions.

In order for the initiatives and legacy of PROBIOGÁS to be perpetuated, it is important that key actors continue some actions. From a personal critical analysis, some key actors with this potential were selected, working from the point of view of the development of actions focusing on the energetic use of biogas in WWTP in Brazil.

After the identification of these actors, an evaluation of models of qualitative matrices that could better reflect a systematization between the agents and qualitative parameters was carried out. The methodologies studied were the Growing Inclusive Markets (GIM), which was adapted for the context here discussed, and the SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) matrix.

Table 1 shows the aspects considered in the analysis in the first column and, the selected institutions in the second column. In this Table, the columns are not directly related to each other, but describe only what was analyzed.

Table 1 – Qualitative parameters and key actors considered in the analysis.

Qualitative parameters	Groups / Institutions identified
Roles (point of view of the biogas in WWTPs)	Government: divided into Ministry of Cities, the energy sector and the environment sector.

Benefits and Interests	Financial Institutions: CAIXA, International banks, Brazil Bank and BNDES.
Threats and Weaknesses	Training Institutes: those who worked directly with PROBIOGÁS, such as SENAI and Federal Institutes (IFs), as well as universities in general.
Coordination Costs	Service providers: municipal, state and private
Potential for continuity over PROBIOGÁS's actions (Low, medium, high)	Technology companies: a group of companies that offer services and equipment necessary for the development of the biogas market in Brazil.
	Sanitation Associations: ASSEMAE, AESBE and ABCON.
	ABES

Source: Own elaboration.

After consolidating the qualitative matrix, a critical analysis was performed to categorize the institutions into three levels: low, medium or high potential for continuity the mainly actions of the PROBIOGÁS.

In order to discuss the challenges and prospects of the biogas of WWTPs in Brazil, a comparison was made of the history of Germany with the advances that occurred in Brazil after the PROBIOGÁS project. For this purpose, Germany was used as a reference and some thematic criteria for comparison were defined. In Table 2, the selected comparability criteria can be viewed.

Table 2 – Comparability criteria between Brazil and Germany.

1. Clear business models for the energy use of biogas

- a) Legal and regulatory instruments**
- b) Incentive mechanisms**
- c) Business opportunities**
- d) Management strategy**

2. Technical knowledge and available information

- a) Applied scientific development
- b) National guides and technical references

3. Qualification of professionals and the provision of services

- a) Capacity building
 - b) Quality of service provision
-

Source: Own elaboration.

After evaluating the three themes and their respective subtopics, it was observed that the main challenges for the development of biogas of WWTPs in Brazil are:

- The fragility of management strategies, which hinders the long-term vision and the development of the “Industrial” WWTP concept, as well as, consequently, the establishment of sustainable business models. In addition, for public service providers, the scenario is more challenging, since they need to go beyond political will to establish institutional arrangements that facilitate the management of the biogas system.
- The lack of integration between scientific development and its application, which hampers the advances of the sector and creates a bottleneck between the knowledge developed in academia and in the company.
- The qualification of the workforce and the valuing of the professionals of the sector, which are fundamental aspects of the paradigm shift, since once unqualified, would not be able to operate biogas systems.

In terms of legacies of the PROBIOGÁS project, several national technical references were developed, the feasibility for biogas models was strengthened, the integration of several key players was promoted, applied research was developed and capacities of two thousand people were developed, including in the form of training of knowledge multipliers. Despite this, these advances have reached only the most elite of sanitation companies, and it is still necessary that all this knowledge be replicated in different socioeconomic realities of Brazil.

There are currently 10 WWTPs in Brazil with different business models for biogas use: 3 WWTPs use the biogas generated in anaerobic reactors such as electric power via net metering (pilot project), self consumption or only for thermal use for sludge drying (2); 5 WWTPs with anaerobic digestion of sludge, making only electric, thermal and electric use (3) or purifying the biogas into biomethane; and a codigestion of sludge with organic residues of large generators, using the biogas for electric and thermal energy sources. This portfolio already permits learning from these experiences, and the lessons learned must be disseminated to facilitate new projects.

The national biogas measurement program in UASB reactors has provided a great learning experience for all the sanitation utilities involved, despite all their challenges. The energetic use of biogas requires the optimization of the design, operation and rehabilitation of these reactors, in order to perform feasibly technically and economically.

Regarding the reference designs supported by PROBIOGÁS, the operation of a full-scale UASB reactor with an energetic use of biogas has been an important legacy, especially for providing learning experience. However, it was reinforced that some challenges still need to be overcome in existing WWTPs and that the defined institutional model should have a quick response time, so as not to compromise the system operation.

Another partnership worth mentioning was with Water and Sanitation Company of Paraná State (Sanepar), which developed technical references, the first WWTP connected to net metering and provided credit to KfW for the rehabilitation of 10 WWTPs projects and 8 construction works. These new projects represent a great opportunity for anaerobic reactors to demonstrate viability for the energetic use of biogas.

A very important role that PROBIOGÁS exercised and which will not be supplied with the end of the project is the power of articulation among key actors and the role of leadership in the biogas initiatives.

With the end of PROBIOGÁS, in addition to its legacy, it is expected that key institutions will continue some activities. Through the matrix of evaluation of potential institutions, there was a high potential for the Training Institutes and for the National Institute of Science and Technology (INCT, in Portuguese) of Sustainable WWTPs. With an average continuity potential, the Ministry of Cities,

the Financial Institutions, the ABES, the Sanitation Associations and the service providers were evaluated. Finally, the institutions that presented a low potential to replicate the knowledge and activities of the cooperation project are the energy and environment sectors and technology companies. This is because the sanitation market is not the focus of action or does not justify a stark mobilization.

Finally, in discussing the remaining challenges, it is observed that the viability of the energetic use of biogas in WWTP in Germany was achieved due to several factors, and transforms over time, but is always linked to the internal process of the WWTP, i.e. the need to use existing resources for optimization of costs and efficiency gains. This means that the theme should have the same importance for Brazil. However, this is not the reality.

Considering the WWTP as a business model, a big difference observed between the countries is from the perspective of the management strategy, where the concept of "Industrial" WWTP is a state of the art concept in Germany but is not yet consolidated in Brazil. The long-term vision of the role of a WWTP is still a weakness in the management of sewage treatment in Brazil.

Despite the challenges, national advances can be noted and bring many possibilities for the consolidation of more biogas projects in the sector. There are new projects under construction, and there exists the capacity of some sanitation utilities to incorporate this theme as a priority. It is believed that state-owned companies or private concessions will be better able to leverage biogas use initiatives in large-scale WWTPs, with the main motivation being more energy efficiency, transforming by-products into resources and consequently generating economic benefits.

Another great potential is the ongoing projects of Sanepar, which by having the largest anaerobic reactors park in Brazil, can become a worldwide reference in this area, in addition to effectively implementing WWTPs with biogas energy utilization. Sanepar has a great advantage because, in addition to having taken the financing for these projects, it has been acting from the beginning of PROBIOGÁS in the three main challenges raised, in other words, it is increasingly prepared in terms of management, personnel training and integration between research and practice.

This study was entirely inspired by and reflected in the real work of four years, through the experience of conducting this cooperation project lived by the

author of the thesis. The greatest contribution of this work was undoubtedly to make the activities and impacts of PROBIOGÁS as transparent as possible, and to be able to transform the knowledge gained into knowledge disseminated.

The remaining of this document contains the formal presentation of the dissertation, written in Portuguese, composed of 5 chapters. The first one deals with the introductory concepts. It is followed by a thorough bibliographical review in chapter 2. Chapter 3 contains the description of the methodology adopted in this work and in chapter 4 the results obtained are presented and discussed. Finally, in chapter 5 the important conclusions are drawn, considering proposals of new studies.

Keywords

Legacy from PROBIOGÁS; energetic use of biogas; wastewater treatment plant; Brazil-Germany cooperation project.

Sumário

1 Introdução	26
1.2. Objetivo geral	30
1.3. Objetivos específicos	30
1.4. Estrutura do trabalho	31
2 Revisão bibliográfica	33
2.1. A produção de biogás em sistemas de tratamento de esgotos	33
2.2. Biogás em sistemas de tratamento de esgotos na Alemanha	39
2.3. Biogás em sistemas de tratamento de esgotos no Brasil	55
2.2.1. O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS)	63
2.2.1.1. Principais atividades da componente esgotos	65
3 Metodologia	68
3.1. Principais ações e impactos do PROBIOGÁS	68
3.2. Proposta de continuidade por instituições parceiras	75
3.3. Desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs	77
4 Resultados e discussões	80
4.1. Condições quadro	80
4.1.1. Avanços do biogás no Brasil	80
4.1.2. Plantas de biogás de ETEs	88
4.2. Cooperação técnico-científica	96
4.2.1. Desenvolvimento de referência técnica nacional sobre biogás de ETE	96
4.2.2. Projeto nacional de medição de biogás em reatores anaeróbios	99
4.2.3. Apoio a projetos de referência	107
4.2.4. Publicações complementares relacionadas às barreiras do setor	113
4.3. Desenvolvimento de capacidades e treinamentos	116

4.3.1. Capacitação do Ministério das Cidades e Caixa Econômica Federal	116
4.3.2. Treinamento de multiplicadores	118
4.3.3. Curso para projetistas	127
4.3.4. Organização de eventos técnicos	134
4.3.5. Oficina de capacitação de professores	135
4.3.6. Resumo dos eventos, treinamentos e capacitações realizadas	138
4.4. Proposta de continuidade das ações	146
4.5. Desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs	153
5 Considerações finais	158
6 Referências bibliográficas	165

Lista de Figuras

Figura 1 – Structuring of the main actions and impacts of PROBIOGÁS.	8
Figura 2 – Structuring of the results of the framework conditions.	9
Figura 3 – Número de plantas de biogás nos países do Grupo 37 da Agência Internacional de Energia sobre bioenergia.	38
Figura 4 – Número de plantas de biogás na Europa.	42
Figura 5 – Possibilidades de uso do biogás.	44
Figura 6 – Destinação final do lodo de ETE na Alemanha.	45
Figura 7 – Número de ETEs com produção de biogás e produção anual de gás a partir de digestores anaeróbios de lodo na Alemanha.	45
Figura 8 – Números de ETEs com uso elétrico do biogás e produção anual de energia na Alemanha.	46
Figura 9 – Número de publicações relevantes sobre o tema Energia e Esgoto de 1980 a 2007 na Alemanha.	47
Figura 10 – Histórico do preço de energia elétrica na Alemanha.	47
Figura 11 – Produção e uso do biogás de ETEs na Alemanha.	48
Figura 12 – Uso do biogás em motogeradores/produção de energia elétrica em ETEs na Alemanha.	49
Figura 13 – Produção de energia elétrica em ETEs na Alemanha.	49
Figura 14 – Potência total instalada e plantas em ETEs instaladas com uso da EEG na Alemanha.	52
Figura 15 – Evolução do consumo de energia elétrica nos setores de água e esgoto no Brasil de 2003 a 2014.	58
Figura 16 – Estruturação das principais ações e resultados do PROBIOGÁS.	68
Figura 17 – Estruturação dos resultados das condições quadro.	70
Figura 18 – Estruturação dos resultados da cooperação técnico-científica.	71

Figura 19 – Estruturação dos resultados do tema desenvolvimento de capacidades e treinamentos.	72
Figura 20 – Estratégia de capacitação do PROBIOGÁS.	74
Figura 21 – Plantas de biogás em operação no Brasil.	89
Figura 22 – Etapas de desenvolvimento do guia técnico sobre aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.	96
Figura 23 – Processo de elaboração de referências técnicas nacionais sobre biogás de ETEs.	98
Figura 24 – Fluxograma das principais etapas do projeto de medição de biogás em reatores anaeróbios.	100
Figura 25 – Mapa com as ETE participantes no projeto de medição.	101
Figura 26 (a) – Reator anaeróbio seguido pelo gasômetro e o motogerador (dentro da casa).	111
Figura 26 (b) – Grupo motogerador de energia elétrica movido a biogás instalado na ETE Ouro Verde.	111
Figura 27 (a) – Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (DAFA) da ETE Jacuípe II em Feira de Santana/BA.	113
Figura 27 (b) – Vista do contêiner com o motogerador (à esquerda) e do gasômetro (à direita) da ETE Jacuípe II, em Feira de Santana/BA.	113
Figura 28 – Treinamento do módulo I sobre o tema introdução ao biogás e aspectos técnicos do seu uso para o MCID e Caixa.	117
Figura 29 (a) – Treinamento dos multiplicadores na ETE em Hamburgo, da Hamburg Wasser.	123
Figura 29 (b) – Discussão da grade curricular entre os especialistas brasileiros e alemães.	123
Figura 30 – Resultados da pesquisa de interesse por capacitação realizada pelo Ministério das Cidades.	124
Figura 31 – Processo de desenvolvimento do curso para operadores.	126
Figura 32 (a) – Curso para projetistas ministrado em Curitiba.	131

Figura 32 (b) – Participantes do curso para projetistas ministrado em Recife.	131
Figura 33 (a) – Curso para projetistas voltado às prestadoras privadas de saneamento realizado no auditório da ETE Ribeirão Preto.	133
Figura 33 (b) - Participantes do curso para projetistas na ETE Ribeirão Preto.	133
Figura 34 – Etapas do desenvolvimento de cursos para projetistas.	133
Figura 35 – Número de participantes nos quatro <i>workshops</i> .	134
Figura 36 (a) – Visita técnica ao CePTS.	138
Figura 36 (b) – Aula ministrada nas instalações da UFMG.	138

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Qualitative parameters and key actors considered in the analysis.	9
Tabela 2 – Comparability criteria between Brazil and Germany.	10
Tabela 3 – Número de ETEs de acordo com porte.	40
Tabela 4 – Preços médios da água potável e do tratamento de esgotos na Alemanha.	41
Tabela 5 – Compensação da EEG para geração de energia elétrica a partir de biogás de ETE conforme §25 EEG.	51
Tabela 6 – Potencial de produção de energia do biogás em ETEs na Alemanha.	52
Tabela 7 – Tarifa média praticada e despesa total média dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2015	56
Tabela 8 – Instituições participantes na definição da estratégia de capacitação do PROBIOGÁS.	73
Tabela 9 – Matriz apresentada no treinamento para elaboração de casos do guia da Iniciativa Incluir	76
Tabela 10 – Critérios de comparabilidade entre Brasil e Alemanha.	79
Tabela 11 – Condições quadro nos anos de 2012 e 2016 no Brasil relacionadas aos modelos de negócios para o uso energético do biogás.	82
Tabela 12 – Condições quadro nos anos de 2012 e 2016 no Brasil relacionadas a falta de conhecimento do setor e de informações sobre as reais potencialidades de aproveitamento do biogás.	84
Tabela 13 – Condições quadro nos anos de 2012 e 2016 no Brasil relacionadas à falta de massa crítica qualificada e articulada sobre o biogás.	86
Tabela 14 – Estações de tratamento de esgotos com aproveitamento energético do biogás no Brasil: status e especificações.	90
Tabela 15 – Pesquisas e publicações durante o projeto de medição de biogás em ETEs.	102

Tabela 16 – Atividades e resultados da cooperação do PROBIOGÁS com a Sanepar.	110
Tabela 17 – Publicações do PROBIOGÁS sobre biogás de ETEs.	113
Tabela 18 – Etapas do processo de capacitação do MCID e da Caixa	117
Tabela 19 – Carga horária e local de cada etapa da formação de multiplicadores.	119
Tabela 20 – Instituições selecionadas a participar do processo de capacitação de multiplicadores.	119
Tabela 21 – Proposta de projeto de transferência apresentada pelas instituições.	120
Tabela 22 - Módulos da grade curricular e seus respectivos macroconteúdos.	121
Tabela 23 – Conteúdos abordados no projeto de transferência intitulado “Aproveitamento energético de biogás em ETEs”, realizado pelo SENAI-PR com a Sanepar.	125
Tabela 24 – Conteúdo do curso sobre aspectos construtivos de reatores anaeróbios voltado aos projetistas.	129
Tabela 25 – Estrutura do curso “Aproveitamento energético de biogás: aspectos operacionais e construtivos de reatores UASB e digestores anaeróbios.”	132
Tabela 26 – Estrutura da oficina de treinamento dos Institutos Federais.	136
Tabela 27 – Atividades de capacitação organizadas pelo PROBIOGÁS.	140
Tabela 28 – Análise dos principais atores e de seus potenciais de continuidade às iniciativas do PROBIOGÁS.	147

Lista de Siglas

ABBM	Associação Brasileira de Biogás e Metano
ABCON	Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABIOGÁS	Associação Brasileira de Biogás e de Biometano
AESBE	Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
AHK	Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASSEMAE	Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento
BMUB	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit</i> – Ministério do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear da Alemanha
BMZ	<i>Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung</i> – Ministério de Cooperação Econômica e Desenvolvimento da Alemanha
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAESB	Companhia Estadual de Saneamento de Brasília
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> – Despesas de capital ou investimento
Caixa	Caixa Econômica Federal
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
COPASA	Companhia de saneamento de Minas Gerais

CRReED	<i>Center for Research, Education and Demonstration in Waste Management</i> – Centro de Pesquisa, Educação e Demonstração em Gestão de Resíduos
CTGÁS-ER	Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DWA	<i>Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall</i> – Associação Alemã para Água, Esgotos e Resíduos
DQO	Demanda química de oxigênio
EBA	<i>European Biogas Association</i>
EEG	<i>Erneuerbare Energie Gesetz</i> – Lei de Fomento a Energias Renováveis
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
FESPSP	Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> – Agência Alemã de Cooperação Internacional
IFAT	<i>Fachmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft</i> – Feira para a gestão de Água, Esgotos, Resíduos e matérias primas
IFB	Instituto Federal de Brasília
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
iNDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
iNoPa	Programa Novas Parcerias Integradas
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
KfW	Banco de Desenvolvimento Alemão
kW	Quilowatt

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCID	Ministério das Cidades
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MEC	Ministério da Educação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NUCASE	Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
NURENE	Núcleo Nordeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEX	<i>Operational Expenditure</i> – Despesas Operacionais
PAC	Programa de aceleração do crescimento
pH	Potencial hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RALF	Reator anaeróbio de leito fluidizado
ReCESA	Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
SAAE ITABIRA	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMAE SJRP	Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto de São José do Rio Preto

SENAI-PR	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná
SINDCON	Sindicato Nacional das Empresas Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SANESUL	Empresa de Saneamento Básico de Mato Grosso do Sul
CTTE	Câmara Técnica de Tratamento de Esgotos das ABES
PNMC	Política Nacional de Mudança do Clima
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SPE	Sociedade de Propósito Específico
TWh	Terawatt-hora
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i> – Reator anaeróbio de fluxo ascendente

1 Introdução

O contexto atual de tratamento de esgotos no Brasil ainda é crítico: apenas 48,6% da população têm seus esgotos coletados, e 40% de todo esgoto gerado é tratado (ANA, 2015). As metas e os recursos financeiros previstos no Plano Nacional de Saneamento Básico para a universalização e a melhoria dos serviços de saneamento se mostram bastante ousados e estabelecem que 93% dos esgotos coletados sejam tratados em 2033, estabelecendo investimentos da ordem de 182 bilhões de reais entre 2014 a 2033, para atender tal objetivo (Plansab, 2013).

Contudo, quando observados os marcos regulatórios do saneamento no Brasil, bem como os respectivos investimentos, sabe-se que os últimos dez anos foram os mais representativos para a expansão do saneamento básico, sendo a gestão dos resíduos sólidos urbanos e o tratamento de esgoto as linhas menos prioritárias.

No que diz respeito à evolução do índice de coleta de esgoto, ocorreu uma variação positiva de aproximadamente 15% no período de 2004 a 2013. Menos significativa foi o incremento do índice de esgoto tratado, o qual apresentou avanços de apenas 5,3% (ABES, 2015). A partir de 2007, a Lei Federal 11.445/07 propiciou diretrizes mais claras para a implementação do saneamento básico em nível nacional, além dos investimentos financeiros realizados por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), em dois períodos: de 2007 a 2010 e de 2011 a 2015.

No âmbito do tratamento dos esgotos, a visão de eficácia na prestação desse serviço tinha como foco o tratamento da fração líquida, não se preocupando com a melhoria da gestão dos subprodutos gerados após o efluente ser tratado.

Com o passar dos anos, o papel de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) está se tornando mais tecnicamente abrangente e legalmente restritivo: abrangente, pois os subprodutos sólidos e gasosos estão começando a ser observados no processo de tratamento, inicialmente ainda vistos como passivos ambientais; restritivo, pois as exigências legais para o descarte das frações líquida e sólida estão cada vez maiores, tornando a prestação de serviço cada vez mais complexa e energointensiva.

Uma ETE tem como principal finalidade tratar os esgotos domésticos e descartá-los no corpo receptor, garantindo a qualidade do meio ambiente e o bem-estar da população, representando fundamental infraestrutura no âmbito socioambiental e promovendo condições cada vez mais indispensáveis à qualidade de vida humana nas cidades. Por essas razões, a prestação desse serviço precisa ser viável economicamente, para que possa se sustentar a longo prazo.

Para que a prestação desse serviço não seja comprometida e para que o Brasil consiga efetivamente avançar nesse tema, uma mudança da gestão e de quebra de paradigma precisa ser feita, instaurando-se o conceito de ETE indústria.

Esse conceito vislumbra a ETE como um ciclo fechado, que recebe um efluente para tratamento, e que, por meio da eficiência de seus processos, entrega um efluente tratado, buscando otimizar os custos, recuperar e valorizar os subprodutos e promover a saúde pública, baseada em um serviço sustentável nas dimensões institucional, social, ambiental e econômica (Jetten *et al.*, 1997; Zakkour *et al.*, 2002; Foresti *et al.*, 2006; Skerlos *et al.*, 2009; Stilwell *et al.*, 2010; Verstraete & Vlaeminck, 2011; McCarty *et al.*, 2011; Mo & Zhang, 2013; Jordão & Pessôa, 2014).

No setor de tratamento de esgotos, existe um grande potencial para a redução de gases de efeito estufa, pois a tecnologia anaeróbia de tratamento de esgotos domésticos é consolidada no país (Van Haandel *et al.*, 2006; CHERNICHARO *et al.*, 2015; Billota & Ross, 2016; Cakir & Stenstrom, 2005), em estações em operação, em diferentes portes e nos projetos contemplados pelo PAC. Para se ter uma ideia dessa consolidação, Chernicharo (2017) contabilizou 908 reatores anaeróbios que atendem cerca de 23 milhões de habitantes e que produzem, rotineiramente, o biogás. Considerando o diagnóstico de ETEs realizado pela Agência Nacional de Águas (2016), observa-se que mais de um terço das estações utilizam os reatores anaeróbios.

O processo anaeróbio de tratamento de esgotos gera, como subproduto, o biogás, composto majoritariamente por metano, o qual tem um potencial de aquecimento 28 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2014). Esse subproduto poluente pode ser visto como uma potencial fonte de energia renovável, caso seja aproveitado energeticamente (Coelho *et al.*, 2005; Salomon & Lora, 2009; Stehlik, 2009; Justi *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2015). Assim, em ETEs, o biogás se mostra como um produto estratégico econômica, social e ambientalmente.

O potencial energético do biogás está relacionado à quantidade de metano em sua composição, fator determinante para o seu poder calorífico. Ao se

promover o biogás de subproduto do tratamento para fonte renovável de energia, a ETE também se promove a um novo patamar em sua prestação de serviço, gerando energia distribuída que pode proporcionar melhorias na gestão de sua energia consumida e nos seus processos de tratamento.

As ampliações da prestação de serviço de tratamento de esgotos continuam como meta, dentro de um cenário de dificuldades de investimento, padrões de qualidade mais exigentes, maiores gastos com energia elétrica e tarifas de esgotos que não refletem a realidade de custos.

Esse cenário abre portas para a discussão do conceito de ETE indústria e da inserção da eficiência energética na gestão e nos processos nas ETEs, onde o biogás representa um enorme potencial.

O projeto de Cooperação Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS) foi a primeira iniciativa em nível nacional, a fortalecer o biogás enquanto fonte renovável de energia a partir de todos os tipos de substratos, possibilitando a geração distribuída, o reaproveitamento de subprodutos e a maior eficiência de processos, em especial no setor de saneamento.

O PROBIOGÁS foi fruto de uma cooperação entre os governos que tinha, como plano de fundo, incorporar essa fonte alternativa de energia na matriz energética brasileira, promover o saneamento de forma mais eficiente, mas, acima de tudo, reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

O PROBIOGÁS foi coordenado, por parte do governo brasileiro, pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e, por parte governo alemão, pela Agência de Cooperação Alemã para Desenvolvimento Sustentável – GIZ. Com início em 2013 e duração de quatro anos, o projeto despertou uma grande motivação à inovação no setor de tratamento de esgotos, consolidando as bases necessárias para o biogás se destacar como fonte estratégica para a valorização do serviço de tratamento de esgotos no Brasil.

Ao longo do projeto, diversos outros fatores propiciaram a consolidação da discussão do biogás em ETEs. No setor elétrico, ocorreu, em 2015, uma grande crise que impactou diretamente o setor de saneamento, que, mesmo com subsídio em sua tarifa, sofreu com os elevados custos de energia e, em muitos casos, com a manutenção de uma baixa tarifa de coleta e tratamento de esgotos (PERES, 2015).

Dados do SNIS (2016) mostram que as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento atingiram R\$ 3,5 bilhões, tendo sido consumidos 12,74 TWh no ano de 2014. Com a crise de energia em 2015, o custo

operacional com energia elétrica ultrapassou, em muitas empresas, o custo de pessoal, representando o maior custo operacional das ETEs.

Do ponto de vista do planejamento energético nacional, a ampliação da matriz energética brasileira e a inserção de novas fontes alternativas de energia é um grande objetivo, abrindo um potencial mercado para a geração distribuída de energia.

Do ponto de vista climático, o Brasil apresenta uma Política Nacional sobre Mudança do Clima e ratificou seu compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa no Acordo de Paris, em 37% em 2025, quando comparado à emissão em 2005. Essa meta foi apresentada pelo governo brasileiro como uma pretendida contribuição nacionalmente determinada (iNDC) visando contribuir com a mitigação de emissões de gases de efeito estufa e apoiar o desenvolvimento sustentável em nível global. Para atingir essa meta, todos os setores necessitam contemplar e buscar medidas de eficiência energética e de uso de fontes renováveis.

A cooperação com a Alemanha sobre o fomento do biogás enquanto fonte alternativa de energia foi providencial, em vista do país ser uma referência em políticas públicas, desenvolvimento de capacidades, normativas, desenvolvimento de mercado, atualmente, contando com 10.786 plantas de biogás (Fachverbund Biogas, 2016).

A partir do ano de 2000, o fomento a políticas de incentivo ao desenvolvimento desta fonte renovável de energia na Alemanha, proporcionou o grande crescimento do número de plantas de biogás para geração de energia elétrica de base. No setor de tratamento de esgotos, o aproveitamento energético do biogás é visto como um processo, associado à valorização de recursos e à eficiência energética. Seu uso é voltado para a redução de custos operacionais e melhoria de processos, a partir da geração de energia térmica e elétrica. Vale destacar que o biogás oriundo do tratamento de esgotos na Alemanha é resultado de um processo de estabilização do lodo, ou seja, um processo de tratamento da fase sólida. Atualmente, contando com cerca de dez mil ETEs e um milhão de soluções individuais (até 50 pessoas equivalente), uma estação gera para autoconsumo cerca de 50% da energia demandada na planta a partir do biogás oriundo da estabilização anaeróbia do lodo (BMU, 2011).

No Brasil, apesar dos avanços alcançados nos últimos anos, o aproveitamento energético do biogás ainda não é uma prática consolidada no tratamento de esgotos, sendo ainda queimado e/ou desperdiçado à atmosfera. Esse fato ratifica a necessidade de disseminação e de sensibilização de

conhecimento técnico e de informações que deem suporte à tomada de decisão e à transição para uma prestação de serviço mais sustentável.

Contribuindo para esse fim, o PROBIOGÁS desenvolveu atividades fundamentais que deixaram um legado significativo para o país, no setor de tratamento de esgotos. Os impactos do projeto e a sustentabilidade de suas ações precisam, contudo, ser consolidados e retratados para todo o setor, visto que a inserção efetiva do tema biogás nas práticas gerenciais e operacionais das ETEs serão observadas a médio e longo prazos.

A partir disso, o presente trabalho visa identificar e analisar os resultados da cooperação Brasil-Alemanha no tema biogás em ETEs, avaliando os legados desta cooperação para o Brasil. Logo, o problema da pesquisa pode ser resumido na seguinte pergunta: “De que forma a cooperação Brasil-Alemanha contribuiu para a consolidação do tema aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil? ”

1.2. Objetivo geral

Identificar o legado e as perspectivas do aproveitamento energético do biogás proveniente de ETEs brasileiras a partir do PROBIOGÁS.

1.3. Objetivos específicos

- Apresentar as principais ações e impactos do PROBIOGÁS no setor de tratamento de esgotos brasileiro.
- Propor a transição de responsabilidades das iniciativas no setor após o PROBIOGÁS, visando à perenidade das ações desenvolvidas durante o projeto.
- Realizar uma análise crítica acerca dos desafios remanescentes e das perspectivas do biogás no tratamento de esgotos no Brasil a partir da comparação com o histórico da Alemanha.

1.4. Estrutura do trabalho

O presente estudo foi estruturado em cinco capítulos, sendo o primeiro introdutório, com o objetivo de contextualizar a relevância do tema e de apresentar os objetivos do trabalho, além de sua estrutura.

O Capítulo 2 fornece insumos sobre o estado da arte da discussão do tema no Brasil, referenciando publicações e estudos necessários para entendimento do trabalho. Além disso, discorre sobre o contexto do biogás no saneamento na Alemanha e no Brasil, que justificam a existência de um projeto de cooperação técnica sobre o tema entre os países. É apresentada a estrutura de condução do projeto e um detalhamento sobre seus objetivos. No tópico sobre o biogás em ETEs na Alemanha, busca-se descrever o desenvolvimento de políticas de biogás e o motivador para o uso energético de biogás na Alemanha, servindo, até certo ponto, como modelo para o Brasil.

O Capítulo 3 fornece a metodologia utilizada para desenvolvimento dos resultados, descrevendo, primeiramente, as etapas para a definição das principais ações e impactos do PROBIOGÁS. Em seguida, apresenta-se o desenvolvimento do processo para se identificarem as instituições com potencial de replicar ou dar continuidade a algumas ações do projeto. Como último passo, apresenta os métodos realizados para o levantamento dos desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs. Para isso, foi utilizado o modelo alemão como referência comparativa.

Por sua vez, no Capítulo 4, são apresentados os impactos do projeto de cooperação técnica Brasil-Alemanha sobre a temática biogás em ETEs, divididos em três vertentes: condições quadro, que configuram o estado da arte do tema no Brasil antes do projeto, em 2012, e após sua finalização em termos de marcos legais e oportunidades; cooperação técnico-científica, que abrange as ações voltadas ao desenvolvimento de referências técnicas nacional e de projetos de referência; e, desenvolvimento de capacidades e treinamentos, que apresenta as principais ações e resultados sobre a ótica de disseminação de conhecimento e capacitação.

Além das ações e impactos do projeto, o Capítulo 4 propõe uma continuidade por parte de outras instituições, tendo em vista a finalização do projeto de cooperação. Por fim, a seção faz uma análise crítica dos desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs.

Para finalizar, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais do estudo a partir de uma reflexão dos resultados do projeto de cooperação e sobre a proposição de novos trabalhos.

2

Revisão Bibliográfica

2.1.

A produção de biogás em sistemas de tratamento de esgotos

De acordo com Jordão e Pessôa (2014), o termo esgoto refere-se aos despejos provenientes de diversas modalidades do uso e da origem das águas, como o uso agrícola, o residencial, o comercial e o industrial. O esgoto doméstico provém principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou outros dispositivos que utilizam a água para fins domésticos. Suas características variam quantitativa e qualitativamente com a sua utilização.

As discussões desse trabalho terão foco no tratamento de esgotos domésticos, sob responsabilidade municipal. A escolha dos tipos de tratamento a serem construídos em uma ETE dependerá sempre da legislação ambiental, das características do corpo receptor e do tipo de uso da água à jusante do ponto de lançamento. Tipicamente, quanto maior é a sofisticação empregada em uma ETE, maiores são seus custos de implantação, operação e manutenção (Jordão & Pessôa, 2014).

Outra constatação importante é a de que as tecnologias de tratamento de esgoto disponíveis e em operação no Brasil variam bastante, de acordo com a escala da população atendida, nível de renda da municipalidade, área disponível, confiabilidade, eficiência, simplicidade, custos de investimento e operação, dentre outros.

Os processos de uma ETE podem ser divididos em níveis de tratamento, de acordo com as substâncias indesejáveis que se deseja remover, sendo eles: preliminar, primário, secundário e terciário, seguindo as etapas física, biológica e química. O esgoto é composto por 99,9% água e 0,1% por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e microrganismos (Sperling, 2005).

No caso de sistemas convencionais, a remoção da carga orgânica é feita por microrganismos, em que se propiciam as melhores condições ambientais para sua atuação. Esses microrganismos podem atuar em meio aeróbio ou anaeróbio, dentre outras características ambientais.

Em se tratando de processo aeróbio para tratamento de esgotos, o processo de lodos ativados merece destaque, uma vez que é uma tecnologia mundialmente consolidada que evoluiu ao longo do tempo para atender aos diversos objetivos e às eficiências desejadas para o tratamento de esgotos.

No Brasil, o processo de lodos ativados foi inicialmente estudado em 1934, em São Paulo, e implantado em forma de operação normal em Brasília, nos anos 60 (Jordão & Pessôa, 2014). A matéria sólida contida nos esgotos, denominada lodo, constitui uma quantidade média de 0,08% do volume total dos esgotos domésticos e também deve ser gerenciada.

Destaca-se que a utilização dos sistemas de lodos ativados é preponderante em ETEs brasileiras com capacidade instalada superior a 100 mil habitantes, representando 44% de todas as alternativas adotadas (Chernicharo *et al.*, 2017).

Em ETEs, o biogás pode ser produzido de duas formas: através do tratamento anaeróbio dos esgotos (fase líquida) ou da estabilização anaeróbia do lodo (fase sólida).

Caso a ETE com sistemas de lodos ativados apresente uma etapa de tratamento da fase sólida, uma prática comum de tratamento é sua estabilização anaeróbia visando à conversão parcial da matéria orgânica em líquidos, sólidos dissolvidos, subprodutos gasosos e alguma destruição de microrganismos patogênicos, como a redução dos sólidos secos do lodo.

A digestão anaeróbia é o processo de degradação biológica da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio que, dentre outros subprodutos, gera o biogás (Holm-Nielsen *et al.*, 2009). A digestão anaeróbia ocorre em etapas sequenciais, sendo cada uma delas caracterizadas pela atividade de grupos específicos de microrganismos. Somente na última etapa, chamada metanogênese, é formado o biogás (Silveira *et al.*, 2015).

A outra rota tecnológica para a geração de biogás em ETEs é o tratamento anaeróbio do esgoto, merecendo destaque a tecnologia dos reatores de manta de lodo do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), amplamente aplicada no Brasil (Foresti, 2002; Foresti *et al.*, 2006). Cabe ressaltar que existem variações desses reatores, sobretudo quanto a suas características construtivas. Nesse sentido, têm-se, por exemplo, os reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF), os quais são amplamente utilizados no Estado do Paraná.

O reator UASB reúne as funções de decantador primário, reator biológico e decantador secundário. Esse tem origem na Holanda, nos anos 70, inicialmente destinado a esgotos industriais com forte concentração de matéria orgânica. Nos países de clima quente, passou a ser uma solução de tratamento para esgotos

domésticos, em especial, por apresentar baixos custos de implantação e operação. Do ponto de vista energético, essa tecnologia apresenta um consumo energético bem baixo e ainda gera o biogás, um gás combustível.

O biogás é uma mistura de gases gerados durante a digestão anaeróbia da matéria orgânica, cuja composição depende das condições físico-químicas no interior do digestor (pH, alcalinidade, temperatura) e da presença de outros ânions, como o sulfato e o nitrato (Noyola, Morgan-Sagastume, & López-Hernández, 2006).

Segundo Noyola *et al.* (2006), o biogás de reatores UASB que tratam esgotos domésticos apresenta uma composição de metano (70 a 80%), nitrogênio (10 a 25%), devido à parcela de N₂ dissolvida no esgoto doméstico, e dióxido de carbono (5 a 10%). Quando comparado à composição do biogás a partir da digestão anaeróbia dos lodos, observa-se que o teor de metano é um pouco menor neste (60 a 70%), o teor de dióxido de carbono é na ordem de 20 a 40% e a fração de nitrogênio é menor (cerca de 2%). Logo, o biogás de ETEs pode apresentar características quantitativas e qualitativas diversas, dependendo do processo que o origina, sendo os substratos o esgoto ou o lodo, em sistemas de tratamento de esgotos. Dependendo da fonte que o produz, deverá ser avaliado seu tratamento, considerando o uso final desejado (Lobato, 2011; Kymäläinen, 2012; Lobato *et al.* 2012).

O potencial energético do biogás está relacionado à quantidade de metano em sua composição, fator determinante para o seu poder calorífico. O poder calorífico inferior do metano é 35,9 MJ.Nm⁻³ e o do biogás com 60% de metano é 21,5 MJ.Nm⁻³, correspondendo a 67% do poder calorífico inferior do gás natural (Silveira, *et al.*, 2015).

O uso energético do biogás está bem fundamentado na literatura (Szklo & Tomaskim, 2001; Balat, 2009; Pöschl *et al.*, 2010; Weiland, 2010; Wisser *et al.* 2010; Lobato *et al.*, 2012; Yanwen Shen *et al.*, 2015). Há trabalhos que demonstram que o biogás pode auxiliar na redução dos custos operacionais de ETEs associados à energia elétrica (Mc Carty *et al.*, 2011; Lobato, 2011; Lima, 2014; Valente, 2015; Rosenfeldt *et al.*, 2015; Cabral, 2016) e com a gestão de lodos e escumas (Onyeche, 2004; Bougrier *et al.*, 2006; Van Handeel, 2009; Lobato, 2011; Baten *et al.*, 2012; Possetti *et al.* 2012; Venkatesch & Elmi, 2013; Tonini *et al.* 2014; Rosa *et al.*, 2016). Camargo (2009), inclusive, discutiu a utilização do biogás como combustível veicular e Ryckebosch *et al.* (2011) avaliaram as formas de enriquecimento a biometano.

Quando esse potencial combustível não é aproveitado, ele pode representar um impacto ambiental negativo no que tange ao seu potencial de aquecimento global, 28 vezes maior do que o gás carbônico (IPCC, 2014). Os principais gases de efeito estufa emitidos por atividades antrópicas são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), especialmente em atividades de geração de energia e de transporte (IPCC, 2007).

Os processos de tratamento de esgotos podem emitir esses três gases, dependendo da presença ou ausência de oxigênio no processo. Lima & Salvador (2014) e El-Fade & Massoud (2001) avaliaram a geração de metano e demonstraram que o volume de metano produzido nos processos anaeróbios, como lagoas e reatores anaeróbios, é relevante.

Segundo o IPCC (2006), as principais alternativas tecnológicas para a redução das emissões de gases de efeito estufa no tratamento de esgotos são as seguintes:

1. Substituição de um processo anaeróbio por um aeróbio, uma vez que isso tornaria o tratamento de esgotos com zero emissões, caso operado adequadamente.
2. Introdução de tecnologias de recuperação e queima de metano, como *flares*, em sistemas existentes de tratamento anaeróbio. Naturalmente, a eficiência do queimador é crucial, pois define qual parcela do gás sofrerá combustão completa até a formação de CO_2 .
3. Introdução de tecnologias de recuperação e queima do biogás para fins energéticos. Essa alternativa tem a peculiaridade de gerar uma fonte renovável de energia e de promover a ETE a uma unidade geradora descentralizada.

Ao se promover o biogás de subproduto do tratamento para uma fonte renovável de energia, a ETE promove uma revitalização de todo seu processo, que vai além da geração de energia (Koga, 2016). A autoprodução de energia representa não somente uma efficientização energética de ETE, mas contribui também para o fomento à descentralização da geração de energia elétrica no país.

Segundo a ANEEL (2016), pode-se conceituar geração distribuída de energia elétrica, 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).

A produção de biogás pode ser multiplicada por meio da co-digestão, que é o tratamento simultâneo de certas quantidades de material orgânico de diferentes

fontes em um digestor anaeróbio. A adição de co-substratos pode resultar em um aumento na produção de biogás de 40 a 200% (Silveira *et al.*, 2015) *apud* Braun (2002).

Outras vantagens desse processo são a possibilidade de aproveitar a capacidade de um digestor existente, otimizar as condições técnicas do processo, como relação entre nutrientes e manutenção de pH, e responder à demanda de energia elétrica ou térmica da ETE.

Deve-se tomar cuidado, entretanto, com a seleção dos substratos compatíveis, de forma a aumentar a produção de metano, buscando evitar aqueles que possam inibir sua geração e, mais ainda, visando não contaminar o composto resultante (Silveira *et al.*, 2015).

Em nível mundial, a produção de biogás de ETEs é fundamentada na digestão anaeróbia do lodo (Batstone & Viridis, 2014) e seu uso energético é motivado, inicialmente, pela necessidade de aquecimento do digestor. Posteriormente, o aumento do preço da energia elétrica se torna um segundo fator decisivo.

Nos Estados Unidos existem mais de 16.000 ETEs, sendo que cerca de 1.500 realizam a digestão anaeróbia do lodo (NACWA, 2012). 85% das ETEs com digestão anaeróbia de lodo utilizam o biogás energeticamente, sendo 49% para aquecimento do próprio digestor (WERF, 2016).

A Agência Internacional de Energia criou o grupo *IEA Bioenergy Task 37*, composto por especialistas para discutir o tema biogás em diversos países do mundo. Bachmann (2016) apresenta a produção de biogás em diversos países no mundo a partir da digestão anaeróbia de lodo em ETEs. Na Suécia e na Suíça, por exemplo, 40 e 49% de toda a produção de biogás, respectivamente, é originada da digestão anaeróbia do lodo.

O grupo *IEA Bioenergy Task 37* demonstrou que a Alemanha é o país com mais plantas de biogás, com mais de 10 mil, enquanto que os outros não chegavam a mil plantas, vide figura 3. Com relação a produção de biogás de ETEs, merece destaque também a Suíça.

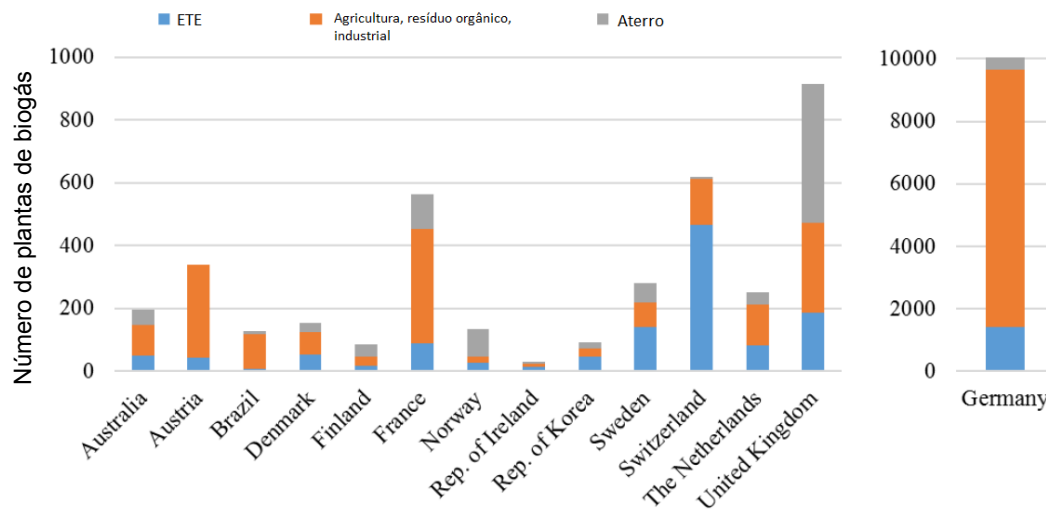


Figura 3 – Número de plantas de biogás nos países do Grupo 37 da Agência Internacional de Energia sobre bioenergia.

Fonte: Adaptado de IEA Bioenergy Task 37, 2016.

A Alemanha demonstra ser referência no tema biogás mundialmente, motivo pelo qual o presente trabalho avalia o estado da arte do biogás de ETEs na Alemanha, além do fato do projeto de cooperação ter sido bilateral, demonstrando o potencial de troca de conhecimento entre o Brasil e a Alemanha.

Nos países de clima frio, o uso da tecnologia anaeróbia para tratamento da fase líquida só é aplicado para efluentes industriais, com elevada carga orgânica. Nesse caso, o Brasil se destaca por ter consolidado esta tecnologia para tratamento de esgoto doméstico e por deter o conhecimento desse processo. (Aiyuk *et al.*, 2006). Contudo, essa tecnologia não visava uma coleta eficiente e uma otimização da produção de biogás, criando a necessidade da otimização dos reatores para tal fim (Miki, 2010; Lobato *et al.* 2012; Silveira *et al.* 2015).

Os reatores UASB, segundo Lobato (2011), apresentam uma produção volumétrica estimada de biogás de 14 NL.hab⁻¹.d⁻¹ (média para a situação típica), produção menor que a encontrada em digestores de lodo, com produção estimada de biogás de 25 NL.hab⁻¹.d⁻¹ (Andreoli *et al.*, 2001). Na melhor situação, o valor médio da produção volumétrica de biogás em reatores UASB foi de 17 NL.hab⁻¹.d⁻¹.

Do ponto de vista da prestação de serviço de tratamento de esgotos, o biogás exerce um papel estratégico por ser um combustível para a promoção mais sustentável desse serviço. Sustentável por abarcar os seguintes aspectos.

Econômico: a utilização energética do biogás proporciona uma redução dos custos operacionais, em especial dos custos com energia elétrica e de

gerenciamento do lodo. Dependendo da demanda energética da ETE também pode funcionar como uma fonte adicional de receita, caso a ETE exporte energia. Além disso, a versatilidade dessa fonte combustível permite um gerenciamento da demanda energética para diferentes usos (térmico, elétrico, veicular) e em diferentes horários (ponta e fora ponta).

Ambiental: o biogás é uma fonte renovável de energia que está sendo naturalmente produzida em processos anaeróbios, e pode ser estimulada e otimizada. Por outro lado, caso não seja aproveitada, representa um potencial gás de efeito estufa, com emissão relativa a 28 vezes o gás carbônico. Sendo queimado, ele reduz seu potencial poluidor, mas é uma energia desperdiçada à atmosfera. Seu aproveitamento energético, além de fechar o ciclo do tratamento de esgotos, representa uma melhoria da qualidade do tratamento, por demandar maior controle de processos e, conseqüentemente, melhor performance da ETE.

Social: para que o processo de captura e uso energético do biogás se materialize, faz-se necessária uma mudança de paradigmas no setor e, conseqüentemente, o desenvolvimento de capacidades. Para o profissional da ETE se engajar na operação de mais um processo, é importante que haja uma valorização desse serviço e do profissional, para que todos na cadeia possam agregar valor. Ou seja, a consolidação do aproveitamento energético, conseqüentemente, elevará a capacidade técnica do profissional. Outro aspecto relevante é a redução do odor nas vizinhanças, um grande problema operacional enfrentado nas estações anaeróbias (Noyola *et al.*, 2006; Chernicharo *et al.*, 2010). Para o uso energético, o gás necessariamente deverá ser eficientemente coletado e isso implica na vedação e canalização dos gases no processo, garantindo a redução de odores.

Mediante esses aspectos estratégicos, o grande desafio que ainda se estabelece é a mudança cultural de como o tratamento de esgotos é visto por todos os atores que são, de alguma forma, responsáveis.

2.2.

Biogás em sistemas de tratamento de esgotos na Alemanha

A Alemanha apresenta uma população de cerca de 81,49 milhões de habitantes, sendo dividida em 16 estados federativos e abrangendo uma área de 357.167 m².

A história do saneamento na Alemanha se iniciou em 1848, com a implementação do primeiro sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto

em Hamburgo. Já a tecnologia de lodos ativados completou 100 anos de aplicação em 2014 (DWA, 2016).

O país apresenta, hoje, um índice de 99,1% de abastecimento de água e, nos últimos anos, tem mantido seu consumo de água na ordem de 121 L/hab.dia. O esgoto produzido conta com uma rede de coleta que atende a 97% da população, o restante contando com soluções individuais como pequenas ETEs ou fossas sépticas (DWA, 2016).

Esses dados mostram que a universalização dos serviços de saneamento já foi cumprida, porém é um serviço que deverá sempre ocorrer, cada vez mais eficiente e rigoroso do ponto de vista ambiental.

Na Alemanha, existem cerca de 10 mil estações de tratamento de esgoto, sendo que 2.214 ETEs com população equivalente maior que 10 mil habitantes, representam 90% da capacidade de tratamento de esgoto do país, relativo a 140 milhões de habitantes (DWA, 2010). Observa-se na Tabela 3 a quantidade considerável de ETEs de pequeno porte na Alemanha.

Tabela 3 – Número de ETEs da Alemanha de acordo com porte.

Porte (habitante equivalente)	Número (aproximado)
> 100 mil hab	260
50 mil < x ≤ 100 mil	315
10mil < x ≤ 50 mil	1660
5mil < x ≤ 10 mil	865
1mil < x ≤ 5 mil	2385
≤ 1 mil	4150

Fonte: Adaptado de DWA, 2016.

Existem duas leis na Alemanha que regulam o tratamento de água e os padrões de lançamento, respectivamente, a *Wasserhaushaltsgesetz (WHG)* de julho de 2009 e a *Abwasserordnung*. Com relação à emissão gasosa no tratamento de esgoto, existem regulações de emissão gasosa que controlam a queima de gases e seus limites de lançamento, chamadas *BImSchV* e *die Verwaltungsvorschrift TA Luft*.

O lodo bruto gerado no tratamento de esgoto é tratado na Alemanha majoritariamente de forma anaeróbia, em digestores de lodo. Por meio desse processo é produzido o biogás, e sua produção depende da eficiência deste tratamento, por exemplo, com a injeção contínua do lodo, controle da temperatura da digestão, desaguamento prévio do lodo e tempo de retenção no reator.

A produção do lodo pode ser multiplicada por meio da co-digestão com outros substratos potencialmente degradáveis, tendo que ser garantido, naturalmente, que o substrato utilizado não afete o processo de estabilização e que o lodo digerido não contenha contaminantes.

O estado da arte do tratamento de esgoto na Alemanha é a remoção biológica dentro dos limites estabelecidos legalmente, a remoção de nutrientes, como o nitrogênio e fósforo, a otimização contínua dos processos, o rigoroso monitoramento e a busca constante pela eficiência energética. A tecnologia consolidada para tratamento de esgotos é a aeróbia com o sistema de lodos ativados. As estações são vistas como processos industriais, seguindo o conceito de ETE indústria (Dichtl, 2004).

As fontes de receita para manutenção do sistema pelo usuário são a tarifa e a taxa. A tarifa total paga pelo usuário é maior para o tratamento de esgoto em relação àquela praticada nos serviços de abastecimento de água, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Preços médios da água potável e do tratamento de esgotos na Alemanha.

Preço médio da água potável e tarifas de tratamento de esgoto	Valor
Água potável	85 euros/pessoa.ano
Esgoto	145 euros/pessoa.ano
Tarifa de água	1,70 euros/m ³
Tarifa de esgoto	2,15 euros/m ³ de efluente 0,85 euros/m ² de área cimentada (sistema de drenagem)

Fonte: Adaptado de (DWA, 2016).

Com relação ao aproveitamento energético de biogás, a Alemanha é uma referência mundial, apresentando 10.786 plantas, em um total de 17.240 plantas de biogás na Europa (EBA, 2014), e apresentando o maior mercado de biogás europeu. Todas essas plantas totalizam uma potência instalada de 8.293 MWel. Na Figura 4 pode ser observado o número de plantas de biogás distribuídas nos países europeus.

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento do biogás na Europa são diversos, tais como:

- incentivos para o investimento nas instalações;
- preços preferenciais de venda da eletricidade produzida à rede;
- facilidades de ligação à rede elétrica;

- agilidade dos processos da parte dos governos e administrações;
- maior acesso a financiamentos; e,
- incentivos fiscais.

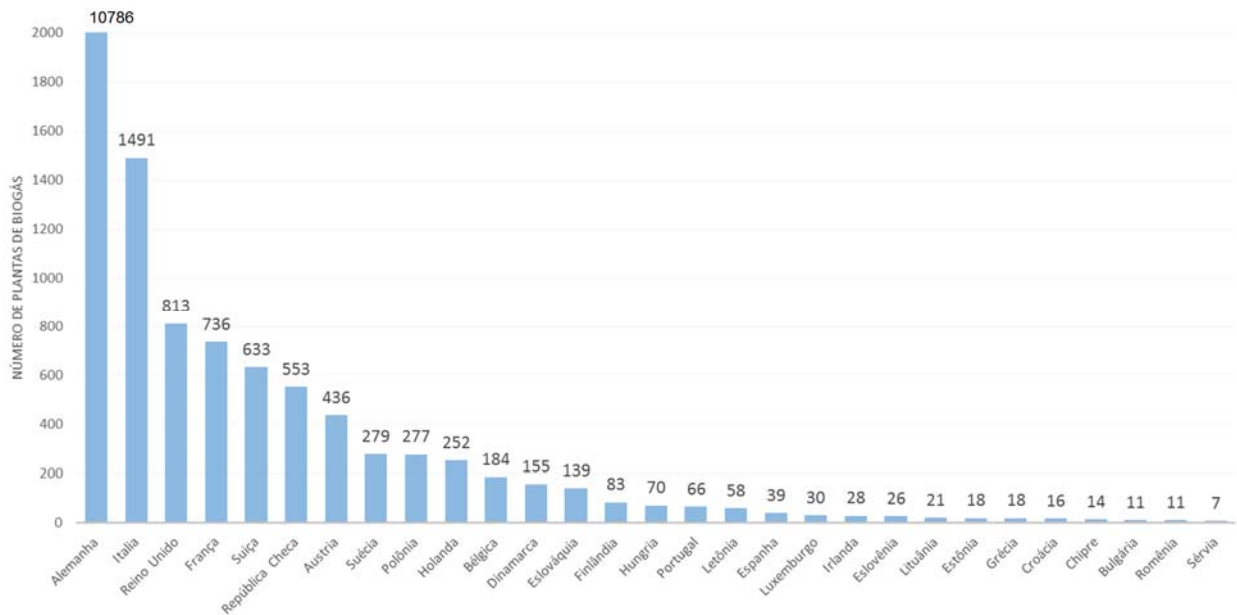


Figura 4 – Número de plantas de biogás na Europa.

Fonte: Adaptado de EBA, 2014.

Com relação à produção e ao aproveitamento energético de biogás de ETEs na Alemanha, 1.252 ETEs que realizam a digestão anaeróbia do lodo produziram 5.823 GWh de biogás em 2014. Desse total, 91% foram utilizados como energia elétrica e térmica, em motores de cogeração. Contudo, quando se compara ao fornecimento total de eletricidade, a partir de energias renováveis, no ano de 2014, o esgoto contribuiu com, apenas, cerca de 1% na matriz energética (Bundesamt, 2015).

Para que as ETEs operem com eficiência e sustentabilidade, a capacitação dos profissionais é de extrema importância. A Alemanha atua fortemente nessa área desde os anos 80 e apresenta uma demanda contínua de treinamento desses profissionais que operam as estações. Todos os novos profissionais passam por treinamento vocacional e outros complementares, ao longo do tempo.

O treinamento vocacional consiste em um sistema dual, por meio de um contrato de 3 anos com a prestadora de serviço. O funcionário recebe aulas 7 semanas por ano, sendo os dois primeiros anos de conhecimentos básicos e o último ano de especialização.

Outro formato de capacitação e troca de conhecimentos em tratamento de esgotos chama-se Vizinhança DWA, que existe desde 1968. Esse formato prevê a troca de experiências entre prestadoras e têm os seguintes objetivos:

- Troca de experiências entre ETEs
- Solução de problemas local
- Treinamento regular adicional para os operadores
- Troca de informações sobre novas regulações
- Motivação dos funcionários
- Comparação dos resultados anuais dos processos de tratamento de esgotos.

De 1984 a 2002, treinou-se cerca de 1.100 técnicos especialistas em esgoto por ano e, atualmente, cerca de 250 mil pessoas atuam no setor de água, sendo cerca de 10% engenheiros, 15% técnicos especialistas, 70% técnicos, e 5% ajudantes (Knitschky & Lenz, 2016).

Por fim, outro diferencial da troca de conhecimentos é a existência de 152 institutos de pesquisa em saneamento, contando com cerca de 4.300 especialistas que atuam na área de pesquisa e desenvolvimento tecnológico no setor (Knitschky e Lenz, 2016).

2.2.1. Histórico do uso energético do biogás

Desde antes da segunda guerra mundial, já se fazia o aproveitamento do potencial energético do biogás a partir da degradação anaeróbia do lodo na Alemanha. A produção de biogás foi realizada, pela primeira vez, em 1921 em um tanque *Imhoff*¹ equipado com um coletor de gás (DWA, 2010). O objetivo inicial era intensificar a digestão do lodo, e, aos poucos, foi se adaptando e sendo realizado o aquecimento dos reatores.

O Instituto Estatístico Federal da Alemanha tem dados de produção de biogás desde 1964, e, desde 1968, detém também informações sobre autoprodução de energia em ETEs.

O uso do biogás em ETEs na Alemanha iniciou-se com a simples queima e utilização térmica em caldeiras, e foi se aperfeiçoando ao longo do tempo, até os motores de cogeração mais eficientes e robustos. Vale lembrar a necessidade de

¹ O tanque *Imhoff* destina-se ao tratamento primário do esgoto, à semelhança dos tanques sépticos comuns. Compõe-se de uma câmara superior de sedimentação e outra inferior de digestão. A comunicação entre os dois compartimentos é realizada unicamente por uma fenda que dá passagem aos lodos.

aquecimento de instalações da ETE, em vista de invernos severos, um comportamento diferente do Brasil.

Apesar de todas as alternativas de aplicação apresentadas na Figura 5, muitas ETEs na Alemanha optaram, na época, pela estabilização aeróbia do lodo, visto que o preço da energia era pouco oneroso e os custos de destinação de lodo não eram elevados, não justificando o investimento no tratamento anaeróbio separado. Vale ressaltar que a Alemanha não utiliza a tecnologia anaeróbia para tratamento de esgotos domésticos, em especial devido às condições climáticas e a padrões de lançamento.

Enquanto o custo da energia elétrica era baixo, a eficiência energética não era o foco da gestão dos processos. Somado a isso, até a década de 80, os requisitos de lançamento do efluente tratado não eram tão exigentes, e o consumo específico médio das estações era da ordem de 17,5 kWh/hab.ano, aumentando significativamente para cerca de 35 kWh/hab.ano em 2010 (DWA, 2010).

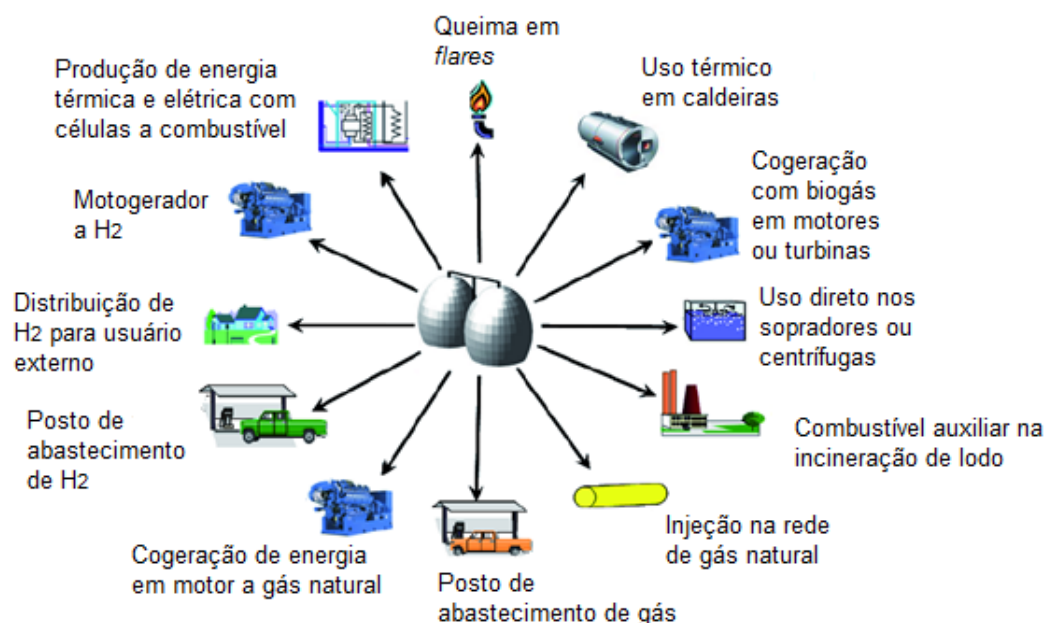
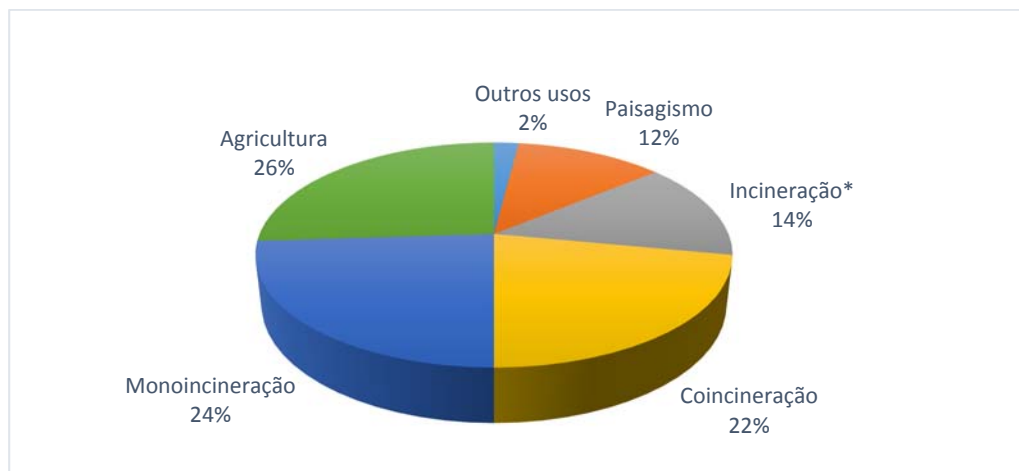


Figura 5 – Possibilidades de uso do biogás.
Fonte: Adaptado de (DWA, 2010).

A partir da década de 80, o tema energia começou a ganhar mais força no tratamento de esgoto, e a produção de energia térmica para aquecimento do digestor de lodo foi se intensificando. A disposição do lodo, nessa época, independentemente do tipo de estabilização, era feita na agricultura ou destinada em aterros sanitários. Com a mudança da legislação de resíduos e a meta de que apenas resíduos com menos de 5% de matéria orgânica poderiam ser enviados para aterro, a destinação do lodo nesses locais passou a não ser mais uma opção.

A aplicação agrícola também começou a ser criticada em alguns estados. A tendência que tem se intensificado na Alemanha, então, é a utilização térmica do lodo, representando, hoje, cerca de 60% da disposição final, vide Figura 6.



*não foi informado que tipo de queima, mono ou coincinação.

Figura 6 – Destinação final do lodo de ETE na Alemanha.
Fonte: Adaptado de (DWA, 2016).

Na Figura 7, pode-se observar, historicamente, o aumento do número de ETEs e o conseqüente aumento da produção de biogás até o ano de 2006.

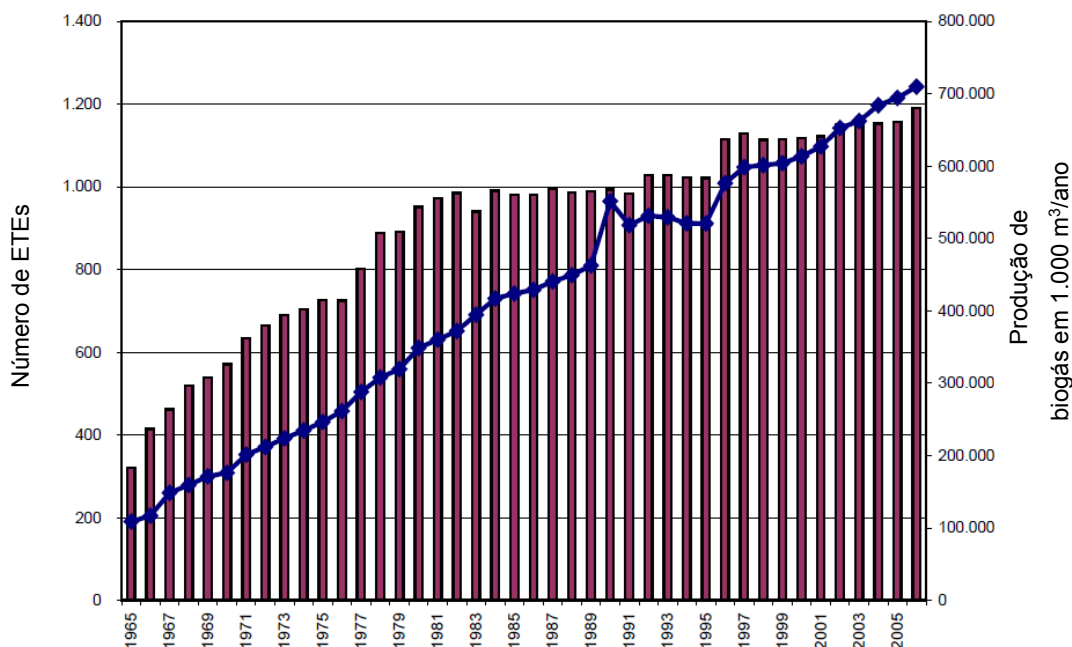


Figura 7 – Número de ETEs com produção de biogás e produção anual de gás a partir de digestores anaeróbios de lodo na Alemanha.
Fonte: Adaptado de (DWA, 2010).

Em 2006, 1.190 ETEs produziram cerca de 710 milhões de m³/ano de biogás, o que representa cerca de 12% do número total de plantas (Figura 7).

Dessas plantas, cerca de 780 usam um motorizador e produzem energia térmica e elétrica, e as demais apenas energia térmica (DWA, 2010).

O uso de 507 milhões de m³/ano de biogás gerou cerca de 0,936 TWh/ano de energia elétrica (Figura 8), com uma eficiência elétrica de cerca de 26,1% (DWA, 2010).

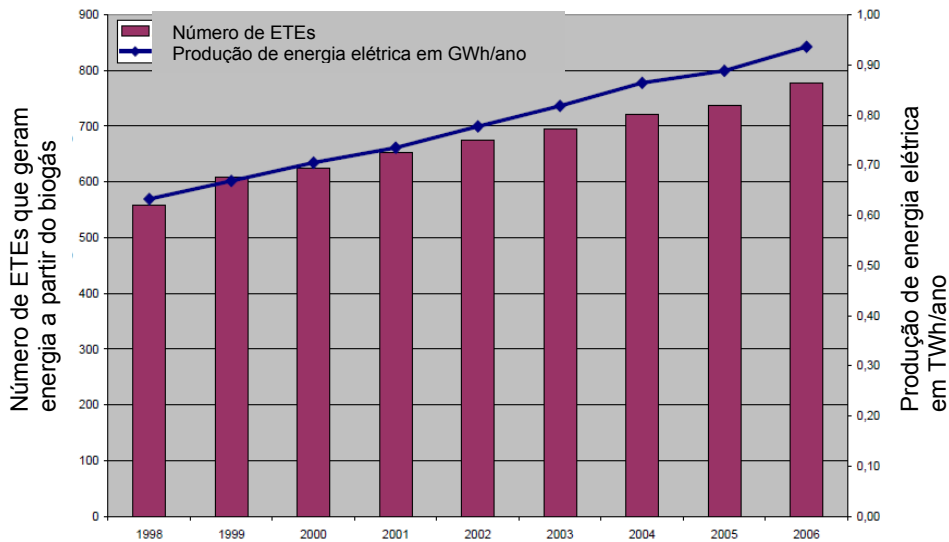


Figura 8 – Número de ETEs com uso elétrico do biogás e produção anual de energia na Alemanha.

Fonte: Adaptado de (DWA, 2010).

Na Figura 9 pode ser observado como se deu o aumento do número de publicações sobre o tema *Esgoto e Energia* na Alemanha, entre os anos de 1980 e 2007, somando um total de cerca de 400 referências bibliográficas. Dentro desse horizonte temporal, pode-se destacar que a crise do petróleo, que afetou diretamente o preço da energia, tem uma correspondência direta com o desenvolvimento do tema *Esgoto e Energia*, nos anos de 1981 e a partir de 2004 (Figura 10).

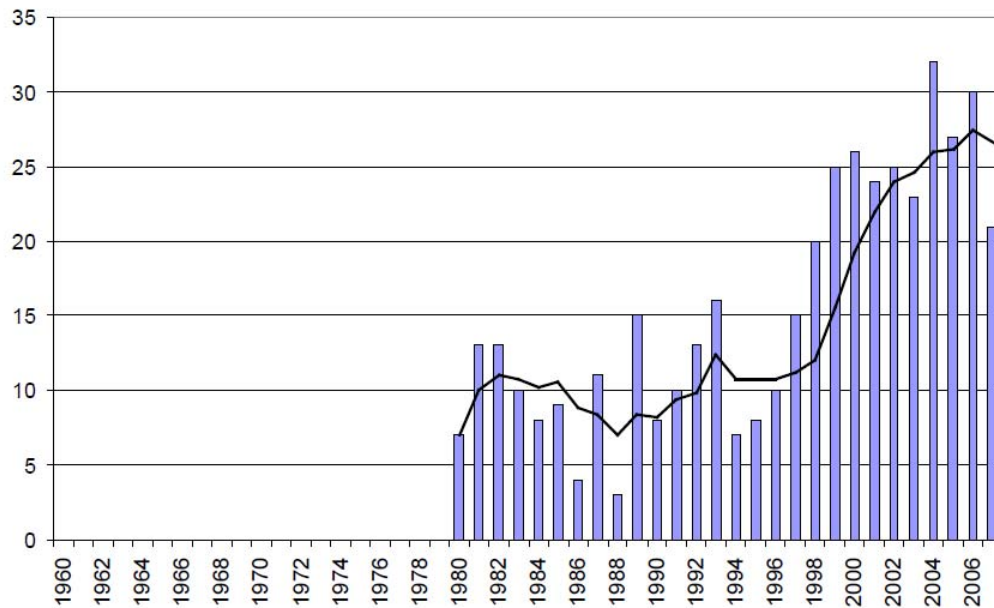


Figura 9 – Número de publicações relevantes sobre o tema *Energia e Esgoto* de 1980 a 2007 na Alemanha.
Fonte:(DWA, 2010).

Na Figura 10, nota-se o aumento do preço da energia elétrica, temporalmente relacionado ao aumento de referências técnicas no setor de saneamento sobre o tema *Energia* da Figura 9.

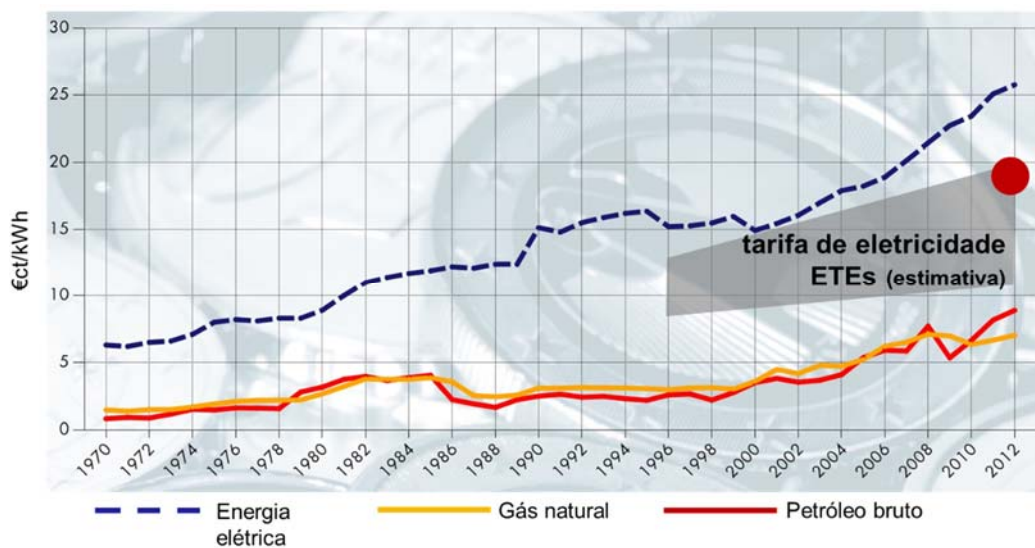
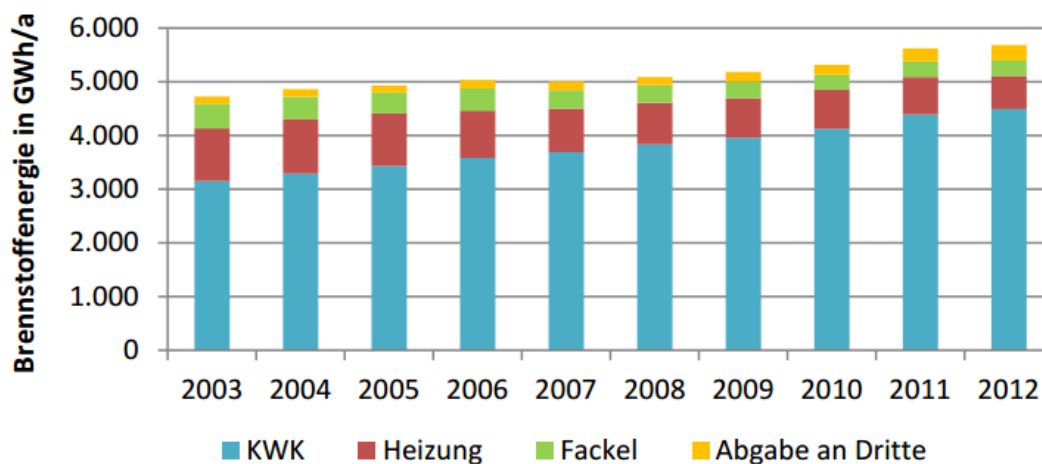


Figura 10 – Histórico do preço de energia elétrica na Alemanha.
Fonte: (SCHRÖDER, 2013).

Tipicamente, as ETEs representam o maior consumidor de energia municipal na Alemanha, variando de 4,2 a 4,4 TWh/ano (Schröder, 2013). Esse fato mostra a grande necessidade de otimização da gestão de energia em ETEs,

com foco na redução do consumo energético, aumentando sua eficiência e a autoprodução de energia. Naturalmente, em vista das exigências legais e das condições climáticas, as ETEs alemãs demandam mais energia que aquelas do Brasil.

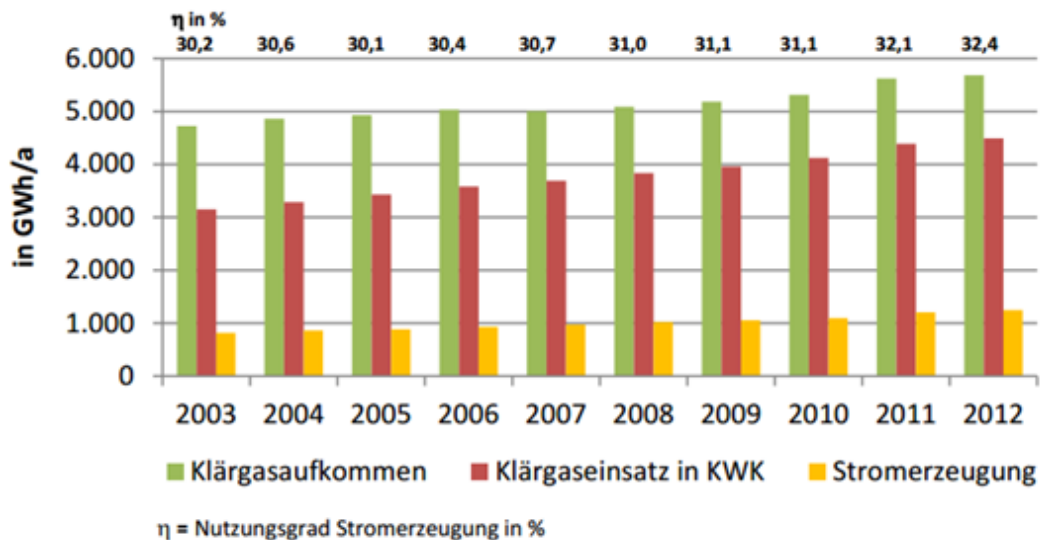
A Figura 11 apresenta a crescente produção de gás de 2003 a 2012, alcançando 5,7 TWh em 2012. Em 2011, 79% do biogás produzido foi usado em motores de cogeração, 11% utilizado para aquecimento, 5% cedido a terceiros e 5% queimado em *flare*.



Legenda: *Brennstoffenergie in GWh/a – Energia produzida em GWh/ano*
KWK – Motores de cogeração
Heizung – Aquecimento
Fackel – Flare
Abgabe an Dritte – Cedido a terceiros

Figura 11 – Produção e uso do Biogás de ETEs na Alemanha.
 Fonte: Adaptado de (ZSW, 2014).

Considerando o biogás que foi utilizado em motogeradores, com uma eficiência de conversão que vai de 30,2% em 2003 até 32,4% em 2012, observa-se, na Figura 12, que a eficiência de conversão é um parâmetro que pode aumentar ainda mais a produção de energia no futuro.



Legenda: *Klärgasaufkommen – Produção de biogás*
Klärgaseinsatz in KWK – Injeção de biogás em motor de cogeração
Stromerzeugung – Produção de energia elétrica
η – eficiência de conversão em energia elétrica (%)

Figura 12 – Uso do Biogás em Motogeradores/Produção de energia elétrica em ETEs na Alemanha.

Fonte: Adaptado de (ZSW, 2014).

A escolha pela produção de energia elétrica com motogeradores já foi explicada pelo elevado custo operacional com energia elétrica, e, ainda, pela possibilidade do uso térmico para o aquecimento do digestor de lodo. Com relação ao modelo de negócio para o uso dessa energia, o que se observa é que apenas 6% da energia elétrica produzida é injetada na rede, sendo a maior parte utilizada diretamente para autoconsumo (Figura 13).

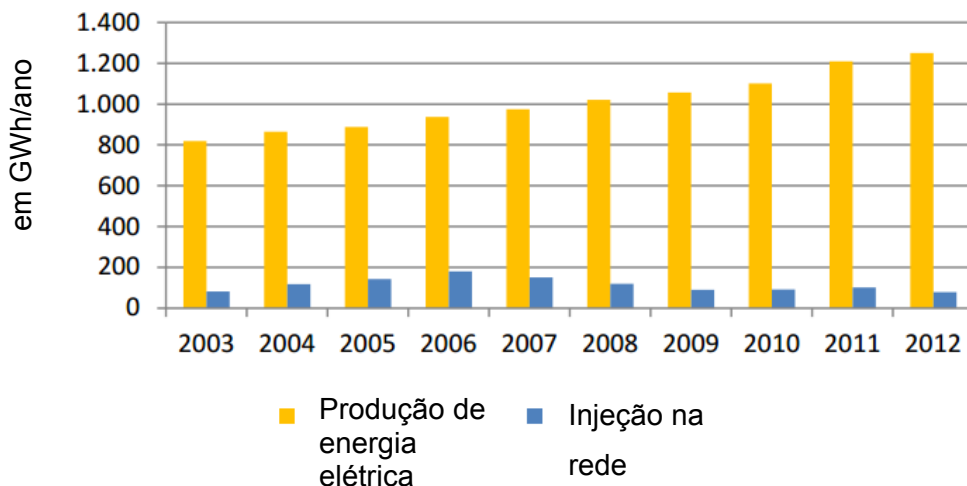


Figura 13 – Produção de Energia elétrica em ETEs na Alemanha.

Fonte: Adaptado de (ZSW, 2014).

Para a injeção da energia na rede, existe a Lei de Fomento a Energias Renováveis (EEG), responsável pela transformação da matriz energética da Alemanha na última década. Em vigor no ano de 2000, a Lei de Energias Renováveis tinha como objetivo macro a promoção de fontes renováveis de energia, facilitando o desenvolvimento sustentável do fornecimento de energia, a proteção do meio ambiente e reduzindo os custos de fornecimento da matriz alemã. Com essa lei foram garantidos bons preços a longo prazo – com o uso do incentivo das tarifas *feed in*² e, com isso, prioridade, estabilidade e preços interessantes.

Essa lei considerou as seguintes fontes renováveis: energia hidrelétrica (ondas, marés, gradiente salino e fluxo de energia), energia eólica, solar (térmica ou fotovoltaica), geotérmica, energia de biomassa, como biogás, biometano, gás de aterro, gás de ETEs e gases da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos domiciliares e industriais.

Os operadores dessas plantas receberam uma tarifa fixa pela energia elétrica injetada na rede, de acordo com a capacidade de produção da instalação, a quantidade de energia produzida e a fonte de energia renovável utilizada.

Dessa forma, o gerenciamento dessas condições propiciou que todas as fontes fossem competitivas no mercado, de acordo com o interesse do governo em desenvolver os mercados específicos, subsidiando seus custos.

Em outra abordagem para estimular o desenvolvimento de novas tecnologias com melhor relação custo-benefício, com a consequente atualização de sua matriz energética, a EEG prevê a redução das tarifas estipuladas para cada tipo de fonte renovável, ano a ano, de acordo com a data de início de funcionamento da instalação (Miranda, 2012).

Esse incentivo do governo modificou completamente o perfil da produção de energia elétrica no país, que, no ano de 2000, tinha apenas 6,2% de fontes renováveis, 23,5%, em 2012, e, em 2016, representa 32,3% de toda energia elétrica bruta produzida. Como metas de governo, prevê-se, ainda, um aumento desse valor para outro entre 40 e 45% no ano de 2025 e, para o ano de 2035, que esta contribuição chegue a 55-60% (BMW, 2016).

² Uma tarifa *feed-in* é um mecanismo de incentivo de adoção de energias renováveis por meio da criação de uma legislação que obrigue as concessionárias regionais e nacionais a comprarem eletricidade renovável em valores acima do mercado, estabelecidos pelo governo.

A referida lei passou por algumas emendas ao longo dos anos, em especial em 2004, 2009, 2012 e 2014, que foram modelando o crescimento dessas fontes de energia. Mesmo com esse incentivo para fontes renováveis, em vista da elevada demanda energética na própria ETE, o modelo de negócio mais interessante para o uso energético do biogás na Alemanha ainda é o autoconsumo.

A tarifa *feed in* concedida à energia elétrica injetada na rede a partir de ETEs foi regulamentada na § 25 EEG 2012 (Seibert-Erling & Salomon, 2014). A tarifa paga depende da potência nominal a ETE e é acompanhada por um decréscimo anual de 1,5% em um prazo de 20 anos. Na Tabela 5 pode-se observar como ocorreu a evolução da tarifa *feed in* para as ETEs, a partir das definições de porte.

Tabela 5 – Compensação da EEG para geração de energia elétrica a partir de biogás de ETE conforme §25 EEG.

Ano de entrada em operação	Até 500 kWel, em centavos de euro/kWh	Até 5 MWel, em centavos euro/kWh
2012	6,79	5,89
2013	6,69	5,80
2014	6,59	5,71
2015	6,49	5,63
2016	6,39	5,54

Fonte: Adaptado de (ZSW, 2014).

Para a produção de energia elétrica que contemple o tratamento prévio do gás, existe, segundo a EEG 2012, um bônus na tarifa, para a classe de até 5 MWel. Esse bônus varia de acordo com o volume de gás tratado, conforme indicado a seguir:

- até 700 Nm³/h: 3,0 ct/kWh
- até 1.000 Nm³/h: 2,0 ct/kWh
- até 1.400 Nm³/h: 1,0 ct/kWh

Mesmo com essa política pública de incentivo, observa-se, na Figura 14, que o modelo de uso da energia não foi significativo para o contexto das ETEs. A potência instalada total de biogás em ETEs aumentou de 149 MW em 2003 para 236 MW em 2012, cerca de 58%. Se for analisada a participação de plantas que usaram o incentivo da EEG, tem-se, de 2009 a 2012, um total de menos de 1 MW de potência instalada por ano. As plantas que não usaram esse incentivo,

representam, de 2009 a 2010, um aumento de 8 MW e, de 2010 a 2011, cerca de 33 MW de motores implantados (ZSW, 2014).

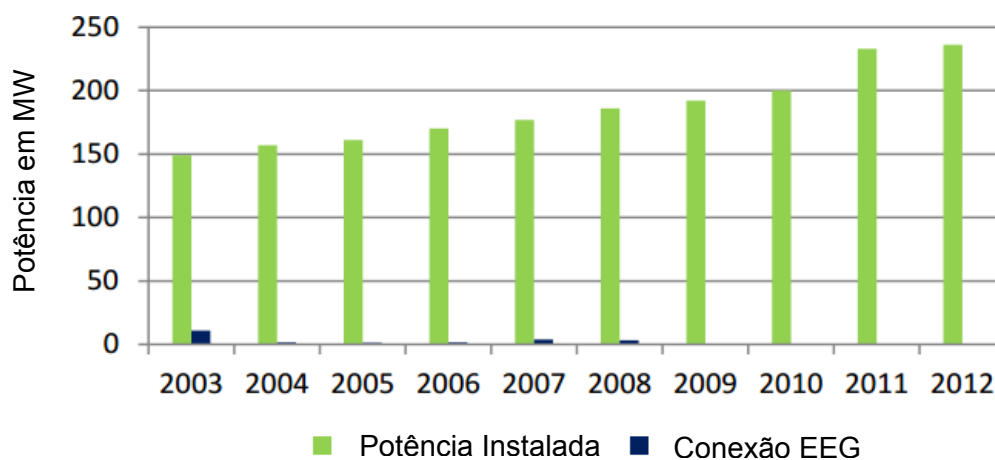


Figura 14 – Potência total instalada e plantas em ETEs instaladas com uso da EEG na Alemanha.

Fonte: Adaptado de (ZSW, 2014).

Para os próximos anos, espera-se um aumento moderado da produção de energia elétrica em ETEs a partir do biogás, em especial com a troca de motores com elevado grau de eficiência, construção de novos digestores de lodo mais eficientes e substituição dos digestores aeróbios para anaeróbios em ETEs abaixo de 25 mil habitantes, aumento da co-digestão com gorduras, resíduos da indústria alimentícia e selecionados (DWA, 2010).

Quando se abordam todas as possibilidades de aumento de eficiência da produção de biogás, em longo prazo, observa-se a possibilidade de se quadruplicar sua produção elétrica, para 3,9 TWh/ano. Esse valor representa 900.000 famílias de quatro pessoas atendidas. Em médio prazo, é realístico pensar em duplicar a produção de energia elétrica, como pode ser visualizado na Tabela 6 (DWA, 2010).

Tabela 6 – Potencial de produção de energia do biogás em ETEs na Alemanha.

Produção de Energia	Primária	Térmica	Elétrica	Eficiência Térmica	Eficiência Elétrica	Eficiência Total
Produção de gás atual apenas CHP ¹	3,60 TWh/a	1,80 TWh/a	0,94 TWh/a	50%	26%	76%
Apenas produção térmica	1,34 TWh/a	1,21 TWh/a		90%		
+Equipando todas as plantas >10mil hab. com CHP	5,44 TWh/a	2,72 TWh/a	1,74 TWh/a	50%	32%	82%
+Aumento da eficiência energética ²	7,86 TWh/a	3,54 TWh/a	3,14 TWh/a	45%	40%	85%

+Produção de energia em células de combustível	7,86 TWh/a	3,14 TWh/a	3,93 TWh/a	40%	50%	90%
	1. Ano base 2006					
	2. Melhoria na produção de gás e maior rendimento do motor CHP					

Fonte: Adaptado de (DWA, 2010).

Segundo DWA (2010), o potencial térmico de ETEs é suficiente para suprir sua demanda. Considerando também algumas suposições, considera-se a produção de energia elétrica a partir do biogás para 10 mil habitantes economicamente viável, em especial pelo aumento dos custos com energia elétrica, o que não dispensa, naturalmente, a necessidade de um estudo de viabilidade específico do projeto para confirmar a viabilidade de um digestor de lodo com aproveitamento energético de biogás.

Fazendo-se uma análise global de potencial de produção de energia em ETEs, expande-se a visão do biogás para outras potenciais fontes. Na Alemanha, são consideradas as seguintes possibilidades:

- Uso térmico e elétrico do biogás do tratamento anaeróbio de lodo;
- Energia a partir da incineração do lodo;
- Energia térmica do esgoto ou da canalização (por meio de troca de calor); e,
- Energia hidráulica por quedas d'águas (PCHs) na própria condução do tratamento de esgoto ou na rede.

Além desses potenciais diretos, outras alternativas indiretas podem ser aplicadas:

- Co-digestão com outros substratos, como a gordura, efluente industrial e resíduos orgânicos (Leible & Kälber, 2004);
- Energia geotérmica; e,
- Energia solar (térmica ou fotovoltaica).

A co-digestão merece destaque por possibilitar aumento significativo da produção de biogás, permitindo, além da cobertura do consumo de energia, a exportação do excedente. A Alemanha tem uma norma que orienta a co-digestão e descreve as possibilidades de substratos e potenciais, chamada "*Technische Rahmenbedingungen für die Vergärung von Abfällen*" - *Condições e parâmetros técnicos para a codigestão de resíduos*, Merkblatt ATV-DVWK-M372.

Por fim, vale destacar que as ETEs na Alemanha não possuem apenas a função de tratar esgoto, mas são vistas como uma indústria, que tem diversos processos que necessitam de uma gestão de melhoria contínua em eficácia e eficiência. A longo prazo, as ETEs serão exportadoras de energia, pois terão um

consumo cada vez menor e aproveitarão cada vez mais as possibilidades de geração de energia.

A Alemanha vivencia novos desafios no tratamento de esgotos, pois o nível de remoção de poluentes está cada vez mais rígido. Para isso, tecnologias tipicamente mais energointensivas devem ser aplicadas, sendo o paradigma atual como remover micropoluentes sem elevar a demanda energética.

Todo esse contexto demonstra que o maior propulsor da inovação e, conseqüentemente, da consolidação do aproveitamento energético de biogás de ETEs foram os custos operacionais, em especial de energia elétrica, somado ao crescente rigor dos padrões ambientais para a gestão do lodo e tratamento de efluentes.

Por outro lado, o contexto político energético da Alemanha também precisa ser ressaltado como um diferencial, pois a política de fomento à entrada das energias renováveis em maior peso na matriz energética nacional e o concomitante desligamento da participação da energia nuclear mudou o rumo energético e abriu novas possibilidades de mercado para o país.

De todo modo, a estrutura de remuneração prevista pela EEG como forma de incentivo para geração distribuída e renovável, no caso de ETEs, demonstrou não determinar o melhor modelo de negócios. Para ETEs com população equivalente inferiores a 50 mil habitantes, a análise econômica demonstrou que essas modalidades de remuneração não são viáveis. Para ETEs grandes, atingiria a viabilidade. Contudo, seria mais viável a utilização para autoconsumo, conforme demonstrado na Figura 13. A DWA ratifica a não viabilidade do incentivo da EEG para plantas inferiores a 50 mil habitantes e defende a posição que o sistema de incentivo da EEG deveria ser fortalecido em locais onde a viabilidade está no limite, especialmente para pequenos municípios que ainda não conseguem viabilizar o uso energético do biogás.

A co-digestão se mostra, sem dúvida, como uma possibilidade de aumento da viabilidade das plantas de biogás. Muitas ETEs têm capacidade ociosa em seus digestores e poderiam co-digerir resíduos úmidos de fácil degradação, com a infraestrutura e a tecnologia existente. No caso, o sistema da EEG atual não inclui a co-digestão, sendo a DWA a favor da inclusão de um bônus para este processo.

Por outro lado, devem ser considerados alguns limitantes para esse processo, em especial com relação a quais tipos de resíduos podem ser utilizados. Cada Estado na Alemanha apresenta diferentes requisitos para essa escolha.

Existe uma lista de potenciais resíduos elaborada pelo Instituto de Pesquisas em Energia e Meio Ambiente (IFEU, em alemão) com a qualidade definida³.

Com relação à energia produzida, após o estabelecimento da EEG, a maioria das ETEs produz energia de forma constante ao longo do ano, tendo uma armazenagem reserva de um dia. Contudo, elas possuem o sistema de controle e conhecimento para gerenciarem a energia produzida com base na necessidade, ganhando em flexibilidade. Se existisse um prêmio para essa flexibilidade, as ETEs poderiam investir em maiores gasômetros e motores, cobrindo os picos e baixas de demanda energética na rede. Caso essa opção de gerenciamento de carga seja fomentada no futuro, a ETE poderia, por exemplo, em momento de baixa demanda de energia, realizar a eletrólise da água, produzindo hidrogênio. Esse, por sua vez, poderia ser injetado diretamente na rede de gás natural ou ser processado por meio do dióxido de carbono da corrente de escape de um grupo motogerador para metano sintético (ZSW, 2014).

Todo o avanço alemão sobre o tema de aproveitamento energético de biogás foi um fomentador para o intercâmbio da cooperação Brasil-Alemanha nessa temática. O estado da arte do aproveitamento energético de biogás de ETEs também é recente na Alemanha, pois teve um avanço notável nos últimos quinze anos, porém o cenário de tratamento de esgotos encontra-se em outro patamar.

Contudo, o que se observa é que o fomento a iniciativas de aproveitamento energético veio a partir de condições quadro, nas quais a autoprodução de energia encontrou um espaço de viabilidade e necessidade. A cultura alemã sobre o entendimento da importância da prestação de serviço eficiente também é outra: a consciência ambiental e o entendimento do sistema são fomentados na educação das pessoas que, desde pequenas, têm uma proximidade com essas questões. Isso impacta diretamente na disposição em pagar pelo serviço, que é oneroso, e em políticas de educação ambiental mais fortes, que trazem maior transparência entre o prestador do serviço e o beneficiado.

2.3.

Biogás em sistemas de tratamento de esgotos no Brasil

A população atual do Brasil é de cerca de 200 milhões de habitantes, sendo praticamente 86% urbana (Agência Nacional de Águas, 2015). Somado ao cenário

³ Título da publicação: *Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen*, publicado pelo *Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz* (MUNLV) NRW.

de concentração populacional em cidades, cada vez mais industrializadas e energointensivas (Valente, 2015), o consumo de água e a geração de resíduos são intrínsecos ao contingente populacional e apontam a necessidades urgentes de melhoria do saneamento ambiental.

O tratamento de esgotos é uma responsabilidade municipal, que pode ser conduzida diretamente pela autarquia, repassada a uma concessão privada ou à competência estadual. Esse serviço no Brasil ainda carece de investimentos e de cobertura à sociedade, pois apenas 42,7% do esgoto gerado recebe um tratamento e 74% do esgoto coletado é tratado (SNIS, 2015).

Quando se avalia a tarifa média cobrada pelo serviço de água e esgoto, observa-se uma variação significativa, comprovando as grandes diferenças regionais de condição para a prestação dos serviços. Na Tabela 7 pode ser observada a variação desses valores, comparada com a variação da despesa total das prestadoras de serviços.

Tabela 7 – Tarifa média praticada e despesa total média dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2015.

Abrangência	Variação da tarifa (média) (R\$/m³)	Tarifa média (R\$/m³)	Variação da despesa total (média) (R\$/m³)	Despesa total média (R\$/m³)
Regional	1,11 a 5,19	3,20	2,06 a 5,55	3,25
Microrregional	1,64 a 5,25	3,80	1,40 a 5,12	3,57
Local	0,30 a 6,79	2,37	0,30 a 10,60	2,25
Brasil	0,30 a 6,79	2,96	0,30 a 10,60	2,96

Fonte: Adaptado de SNIS (2015).

Normalmente, a tarifa de esgotos é cobrada a partir da tarifa de água, caso a prestadora ofereça esse serviço. O Instituto Democracia e Sustentabilidade (IDS) e a Aliança pela Água (2017) apresentam a comparação entre o valor da tarifa de água e esgoto em diferentes regiões operadas pela Companhia Estadual de Saneamento de São Paulo (Sabesp) e mostra uma variação de 80 a 100% do valor cobrado na tarifa de esgoto, a partir da tarifa da água. Em São Paulo, por exemplo, na classe de consumo até 10 m³, a tarifa de água e esgoto é igual, totalizando cada uma R\$ 22,28/mês. No caso da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), a fatura apresenta, de maneira segregada, os serviços prestados, especificamente a diferenciação para os usuários que têm seu esgoto somente coletado e os que têm seu esgoto coletado e tratado. Isto ainda é uma exceção quando comparado à qualidade de informação fornecida por todas as

prestadoras do país. Nesse caso, a tarifa de esgoto varia de 50% a 90% do valor da tarifa de água, dependendo se há tratamento do esgoto ou somente a coleta.

Vale destacar que o decreto regulamentador da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (Decreto Federal nº 7217/2010) avançou ao estabelecer que as tarifas, enquanto meio de remuneração pelos serviços de saneamento, devem observar algumas diretrizes (art. 46), dentre elas o “estímulo ao uso de tecnologias modernas e eficientes, compatíveis com os níveis exigidos de qualidade, continuidade e segurança na prestação dos serviços” e o “Incentivo à eficiência dos prestadores dos serviços”.

Independente do arranjo institucional de prestação do serviço de saneamento, sabe-se que o propósito de uma ETE é tratar o esgoto, garantindo o descarte do efluente ao corpo hídrico segundo os padrões de lançamento do efluente e as características do corpo receptor. O biogás nesse contexto se apresenta, inicialmente, como um subproduto do tratamento anaeróbio do esgoto doméstico ou do lodo de esgoto, que quando valorizado demonstra aspectos positivos de ordem ambiental, econômica e social.

A PNSB, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PMMC) são grandes marcos legais que direcionam o setor de tratamento de esgotos para uma melhor eficiência energética, redução de custos operacionais, melhoria na gestão do lodo e na queima eficiente e uso energético do biogás produzido no processo.

As linhas de atuação do projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – são aderentes, convergentes e coerentes com os normativos legais que regulamentam o setor de saneamento brasileiro. Destaca-se, nesse sentido, o alinhamento da iniciativa proposta com a Lei 11.445/2007. A referida lei define, em seu Art. 49, que um dos objetivos da Política Federal de Saneamento Básico é fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico, a adoção de tecnologias apropriadas e a difusão dos conhecimentos gerados de interesse para o saneamento básico.

Da mesma forma, a Lei nº 12.305/2010, que institui a PNRS, confere novos desafios à gestão dos resíduos sólidos, estabelecendo, por exemplo, a restrição de encaminhar para os aterros sanitários apenas os rejeitos. Tal restrição torna indispensável a busca por alternativas de tratamento de esgoto que propiciem menor geração e melhor aproveitamento dos subprodutos do tratamento, nesse contexto o lodo e a espuma. Essas alternativas visam uma melhor gestão dos processos na ETE, à redução dos custos operacionais e à mitigação dos impactos ambientais no gerenciamento de seus subprodutos.

A prestação de serviço de tratamento de esgotos deveria ser responsável por todas as fases do tratamento: líquida, sólida e gasosa. Contudo, inicialmente, o foco no Brasil foi dado apenas na fração líquida, a que era regulada, e, com o passar do tempo, o foco atual também está na fase sólida, o lodo gerado no processo. A fase gasosa, na grande maioria das ETEs, quando é contemplada, isso é feito com a utilização de um queimador de gás.

O cenário está mudando, especialmente devido aos custos operacionais do sistema. 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).

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).

No ano 2014 as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento atingiram R\$ 3,5 bilhões, tendo sido consumidos 12,74 TWh (Figura 15). Essa quantidade equivale ao consumo doméstico de cerca 22 milhões de habitantes no Brasil em um ano.

Conforme dados do SNIS, a tendência de consumo energético é crescente no setor, o que causa possíveis impactos negativos por via da emissão de gases do efeito estufa, agravadores das mudanças climáticas.

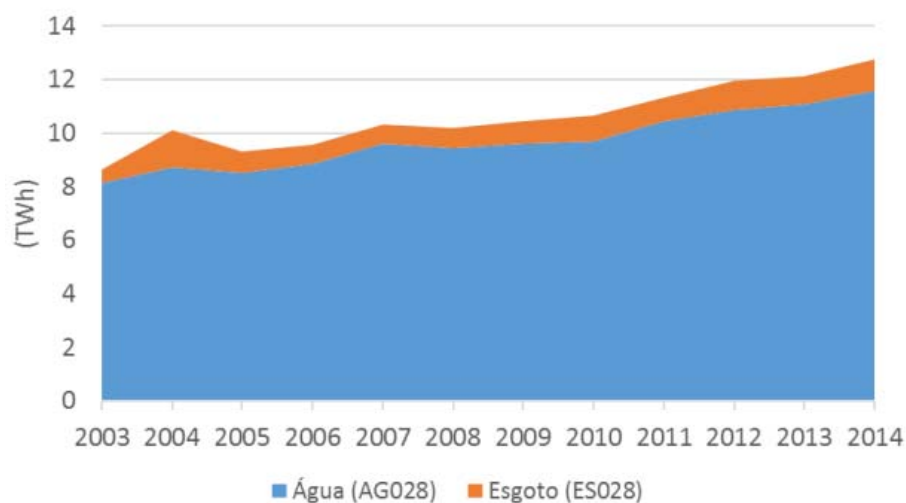


Figura 15 - Evolução do consumo de energia elétrica nos setores de água e esgoto no Brasil de 2003 a 2014.

Fonte: SNIS, 2016.

Outro custo operacional significativo é o do gerenciamento do lodo, que varia significativamente geograficamente, especialmente relacionado à distância e acordo com aterros próximos. Valente (2015) apontou valores que variaram entre 70 a 184 R\$/t para lodos com teor de sólidos entre 20 e 30% (SEMAE, SANASA, SANEPAR, SABESP, CEDAE, SANESUL, 2014).

O biogás entra nesse ciclo podendo gerar benefícios para gestão do lodo de e/ou para o gerenciamento energético da ETE. Mesmo tendo a possibilidade de aproveitar o biogás de dois caminhos (esgoto ou lodo) e tendo um potencial destacado no tratamento de esgotos, o aproveitamento do biogás ainda não é uma realidade no Brasil. Zanette (2009) demonstrou um potencial teórico de produção de biogás de ETE de 7,3 milhões de m³/dia. Contudo, atualmente existem poucas ETEs que utilizam energeticamente o biogás produzido.

Após quatro anos, observa-se claramente os avanços do setor e as possibilidades do biogás alavancar no Brasil. Contudo, quando se fala de biogás, é importante ressaltar que o tema envolve diferentes setores, que não necessariamente tem uma relação direta entre si: o setor agropecuário, agroindustrial, elétrico, de gás, de saneamento, dentre outros entes governamentais que precisam discutir o biogás enquanto fonte de energia descentralizada e renovável.

Em termos de mecanismos de incentivo a energias renováveis, observa-se mundialmente a aplicação da tarifa *feed-in*, em que o governo garante um contrato por tempo determinado de uma tarifa mais vantajosa para geradores que utilizem essas fontes, como o biogás. Jende *et al.*, (2016) mostram que 98 países ou províncias aplicaram esse mecanismo até 2013. Contudo, no Brasil não se discute ainda este mecanismo como uma possibilidade para o biogás. De todo modo, existem vários outros mecanismos, praticados em diferentes níveis (federal, estadual e municipal).

Uma oportunidade de utilização energética do biogás em nível federal é a micro ou minigeração distribuída. A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 define a geração distribuída como sendo centrais geradoras de energia elétrica que utilizam cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Segundo atualização da norma, dada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, os limites da potência instalada são as seguintes:

- Microgeração Distribuída \leq 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.

Um motivador para a ETE virar uma unidade geradora é desenvolver a capacidade de gerenciar sua demanda energética. No Brasil, um dos mecanismos mais difundidos de gerenciamento da energia pelo lado da demanda é a tarifação horossazonal (tarifas diferenciadas na hora da ponta e fora da ponta, no inverno e no verão, possibilitando ao consumidor gerenciar seu consumo de acordo com sua conveniência) (EPE, 2015). Essa tarifação é aplicada, no Brasil, a consumidores atendidos em alta tensão. Para esses consumidores, a autogeração de energia é estratégica especialmente em horários de ponta, para redução dos gastos com energia elétrica.

Outra vantagem está relacionada a segurança no fornecimento de energia, pois muitas ETEs estão localizadas em áreas remotas que sofrem com a instabilidade da energia. Villani (2014) relatou as interrupções de energia elétrica que causaram paralisações na ETE como um grande motivador para o desenvolvimento do projeto de recuperação energética de São José do Rio Preto, em São Paulo. Uma ETE, então, pode realizar uma geração distribuída, que dependendo da potência instalada, se enquadra na micro ou minigeração.

Chernicharo *et al.* (2016) inventariaram 1.667 ETEs que têm capacidade instalada de atendimento a aproximadamente 75% da população urbana de toda a região, onde verifica-se uma participação expressiva de sistemas que empregam reatores UASB, lagoas de estabilização e lodos ativados, para todos os portes de ETEs. Os reatores UASB, por sua vez, encontram-se em cerca de 40% das 1.667 ETEs inventariadas, demonstrando a elevada aceitação da tecnologia anaeróbia como primeiro estágio do processo de tratamento, independentemente do porte da estação. Entre aquelas ETEs com capacidade instalada de atendimento inferior a 10.000 habitantes, os reatores UASB figuram em 32% das ETEs implantadas. Essa proporção eleva-se para 51% quando da análise específica de ETEs de médio porte. Nota-se ainda a presença significativa dos reatores UASB entre as opções tecnológicas aplicadas a estações com capacidade instalada de tratamento superior a 100.000 habitantes (40% das ETEs implantadas), em número superior ao processo de lodos ativados.

Nos últimos quatros anos, realizaram-se estudos mais detalhados sobre a viabilidade do aproveitamento energético do biogás de ETEs. Santos *et al.* (2014) destacaram os principais componentes necessários para o funcionamento de uma

usina de biogás de ETE e seus custos respectivos, gerando equação que podem ser utilizadas nos estudos econômicos de projetos futuros.

As ETEs de grande porte com a tecnologia de reatores UASB apresentam um grande potencial para o aproveitamento energético do biogás: Valente (2015) e Rosenfeldt *et al.* (2015) chegaram em uma viabilidade a partir de 100 mil habitantes, que varia de acordo com o modelo de negócio e condições estabelecidas.

Rosenfeldt *et al.* (2016) demonstraram a viabilidade econômica da instalação de uma planta de cogeração de 200 kW de potência instalada a partir do biogás de reatores UASB seguido por lodo ativado, como a tecnologia mais viável comparada a outros arranjos anaeróbios. O estudo focou na geração de energia elétrica, mas considerou a possibilidade adicional da utilização de uma parcela de energia térmica que está sendo gerada no conjunto motogerador para e secagem do lodo, em que o teor de sólidos pode ser aumentado, por exemplo, de 25 a 90%, diminuindo significativamente o volume do lodo a ser depositado em aterros sanitários e, portanto, reduzindo um dos maiores custos operacionais em ETEs. Além disso, há vantagens ambientais, uma vez que se reduz a demanda por aterros sanitários e conseqüentemente, aumenta sua vida útil.

Valente (2015) avaliou a escala mínima de viabilidade técnica-econômica do uso energético de biogás pela tecnologia de UASB seguido por lodo ativado a partir de cinco arranjos de uso, encontrando no arranjo de cogeração a escala mínima de viabilidade para 138 mil habitantes.

Ribeiro *et al.* (2016) comparam três cenários de diferentes escalas populacionais sob a perspectiva de recuperação de energia e de nutrientes a partir do tratamento de esgotos por reatores UASB seguido de filtro biológico. Até uma população de 10.000 habitantes, é proposto o uso térmico direto do biogás para aquecimento em fogões ou para higienizar o excesso de lodo gerado no reator UASB. Para uma população de 10 a 100 mil habitantes, sugere-se o aproveitamento térmico do biogás para a secagem do lodo gerado nos reatores anaeróbios, podendo reduzir cerca de 30% do volume de lodo transportado e disposto em aterros. Já para o cenário populacional acima de 100.000 habitantes, é indicado o uso da cogeração para a produção de energia elétrica, e térmica para a secagem do lodo.

Muita pesquisa e estudos foram realizados sobre os reatores UASB nos últimos 10 anos que influenciam diretamente no conhecimento sobre o potencial de produção de biogás. Noyola *et al.* (2006), Chernicharo (2007), Campello (2009), Donosobravo *et al.* (2013), focaram mais na tecnologia anaeróbia.

Considerando a capacidade instalada dos reatores anaeróbios implantados em ETEs de maior porte levantados por Chernicharo *et al.* (2017) para atender 10,7 milhões de habitantes, há potencial de geração de energia elétrica da ordem de 108,1 GWh.ano⁻¹, capaz de atender a demanda mensal de 48.830 domicílios.

Com o foco no biogás desses reatores, Souza (2010) avaliou as perdas de metano dissolvido no efluente, Lobato (2011) desenvolveu um modelo matemático para estimar a produção de biogás nesses reatores considerando as diversas perdas e os potenciais usos do biogás. Possetti *et al.* (2013), Waiss e Possetti (2015), Silva, Possetti e Coelho (2014) trazem medições reais do biogás em estudos de caso e análises de influência em sua produção.

Uma visão mais sistêmica da ETE, por meio do balanço de massa e energia, foi realizada por Shirado (2014) e Koga (2016). Ambas contribuíram com a análise de fluxo de materiais e energia em uma ETE anaeróbia, visando o aprimoramento de sua gestão e identificando os potenciais energéticos e custos evitados.

O que a maioria dessas pesquisas indicava que o potencial teórico de produção de biogás em reatores UASB diferem do potencial real medido nas ETEs. Isso pode ser ratificado por meio do projeto nacional de medição de biogás em reatores UASB, iniciativa do PROBIOGÁS e por Silva (2015). Silva (2015) quantificou a produção de biogás em escala real a partir de reatores anaeróbios, estimando o potencial real de geração de energia na ETE Atuba Sul. A autora demonstra também a diferença entre o potencial estimado e o real de biogás, recomendando que as tomadas de decisão sejam baseadas em resultados de medições e caso não seja possível, que seja utilizado o método proposto por Lobato (2011). Cabral (2016) apresenta alguns resultados da campanha de medição do PROBIOGÁS, qualitativos e quantitativos do biogás medido, demonstrando que a vazão de biogás tem um comportamento periódico e variável de acordo com as condições operacionais, sofrendo influência de eventos significativos de chuva, conforme evidenciado por Possetti *et al.* (2013). Com relação à produção de biogás, a mesma ficou majoritariamente dentro do pior cenário estimado por Lobato (2011), devido a grandes perdas. Para os reatores com boa vedação, foi estimado uma geração de energia elétrica específica de 17,8 kWh/hab.ano.

Outro avanço na pesquisa aplicada para o setor foi a elaboração do programa computacional Probio 1.0, resultado de uma parceria entre a Sanepar e a Universidade Federal de Minas Gerais. Esse programa foi desenvolvido para estimar as taxas de produção de biogás em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico, usando como base o modelo proposto por Lobato (2011).

2.2.1. O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

A cooperação técnica entre os Governos do Brasil e Alemanha foi firmada desde 1996, ratificada pelo decreto 2.579 de maio de 1998, que promulga o Acordo Básico de Cooperação Técnica.

No ano de 2008, foi claramente firmado entre os governos o objetivo em cooperar no setor de energia com foco em energias renováveis e eficiência energética. Somado a isso, em 2009 foi celebrado entre os dois governos um Memorando de Entendimento sobre cooperação no combate à mudança do clima.

Todos esses acordos prévios serviram como base para que, em 2011, as negociações intergovernamentais expressassem o interesse numa cooperação relativa ao tema de biogás. Para o governo brasileiro, a cooperação neste tema se mostrava interessante devido a possibilidade de inserir em sua matriz energética mais uma fonte renovável, promover um saneamento mais eficiente e fomentar iniciativas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa. Pelo lado alemão, a motivação para essa cooperação se baseava no potencial impacto de redução de emissões de gases de efeito estufa, a nível global, e um potencial novo mercado para difusão de tecnologias de biogás.

Após essa manifestação de interesse, os Ministérios alemães de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) e de Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMUB), disponibilizaram a verba inicial de 7 milhões de euros para cooperação técnica (com ampliação posterior para 10 milhões no total) e de 75 milhões para cooperação financeira (também ampliada para 150 milhões), via o banco alemão KfW, destinados ao projeto de fomento a tecnologias limpas de biogás no Brasil.

A *Deutsche Gesellschaft für die Internationale Zusammenarbeit* – GIZ GmbH é uma provedora de serviços de cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável e trabalhos educacionais internacionais. A GIZ é uma empresa federal de utilidade pública, que implementa os projetos de cooperação técnica em cerca de 120 países no mundo. Os temas de cooperação no Brasil são o combate à mudança climática, a proteção da biodiversidade e a segurança energética. Nesse caso, a GIZ foi incumbida de implementar o projeto PROBIOGAS no Brasil pelo governo alemão.

Por parte do governo brasileiro, o Ministério das Cidades, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, apresentou uma carta de

interesse para coordenar o projeto, com duração prevista de cinco anos, visando ampliar o aproveitamento energético de biogás no Brasil, contribuindo para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Para a preparação do novo projeto de cooperação, foram realizadas duas missões, uma na Alemanha com o foco em ETEs, e uma no Brasil, tratando de resíduos sólidos urbanos e agrícolas. Em ambas foram selecionadas instituições brasileiras relevantes para discutir o tema e desenhar o projeto de acordo com as necessidades do Brasil.

Na missão da Alemanha estiveram presentes representantes do Ministério das Cidades, de companhias de saneamento, de universidades, de concessionárias de energia, bem como de instituições e associações (ex. ANEEL, Eletrobras, LACTEC, ABES) e empresas privadas. Nas discussões no Brasil, estiveram presentes representantes do Ministério do Meio Ambiente, de instituições de pesquisas, de associações, de empresas e de concessionárias de energia e de gás.

Dentre os principais desafios levantados na etapa de preparação do projeto sobre o tema biogás, detectou-se a pouca comunicação entre agentes relevantes dos setores de saneamento e energia; experiências negativas no âmbito técnico e econômico; e, falta de informação sobre tecnologias disponíveis.

O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS) foi iniciado em 2013, coordenado pelo governo brasileiro pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e por parte da Alemanha pela Agência de cooperação alemã para o desenvolvimento sustentável – GIZ.

Em vista do biogás ser um tema transversal e interagir com diversos setores, as ações do projeto foram divididas na área de efluentes e resíduos. No âmbito de efluentes, o foco foi dado em ETEs, e um amplo trabalho foi realizado. O presente documento focará nas atividades e resultados da componente “esgotos”, visando detalhar o legado do projeto de cooperação e discutir os próximos passos para o setor de tratamento de esgotos. No próximo tópico será explicitado o contexto para o desenvolvimento das ações da componente esgotos.

2.2.1.1. Principais atividades da componente esgotos

As linhas de ação do projeto de cooperação foram: condições quadro, cooperação científica, cadeia de valor e capacitação. Logo, as ações da componente esgotos também foram guiadas nesses segmentos.

Por condições quadro entende-se todo o arcabouço técnico e legal para proporcionar uma base mais consolidada para o tema biogás em ETEs. Essa atuação focou nos atores do governo e nas prestadoras de serviço de saneamento.

Cooperação científica foi uma linha que buscou fortalecer parcerias entre Brasil e Alemanha na área de pesquisa, bem como promover projetos de pesquisa aplicada, difundindo conhecimento nacional para o setor de saneamento. Essa componente atuou diretamente com a academia e instituições de pesquisa.

Já a cadeia de valor foi consolidada por meio de parceiros chave, com a promoção de um crescimento do mercado de biogás no Brasil, atuando nas principais barreiras que impedem sua consolidação. Essa componente atuou mais diretamente com as empresas de tecnologias e serviços em biogás.

A capacitação permeou as três linhas de ação supracitadas, em especial por focar diferentes atores: entes do governo, academia e empresas.

Nas discussões de preparação do projeto com especialistas do setor de tratamento de esgotos no ano de 2012, foram discutidos alguns pontos norteadores para as ações da componente esgotos, citados a seguir:

- A importância notória dos reatores UASB no tratamento de esgotos domésticos, e que o biogás não era uma fase do tratamento observada na operação das ETEs, sendo apenas queimado.
- Não existiam normas técnicas nem guias sobre o aproveitamento energético de biogás a partir do esgoto.
- Os dois projetos existentes em escala real utilizaram conhecimento internacional e eram a partir da digestão anaeróbia de lodo. Outros projetos piloto mais antigos de utilização energética de biogás não foram bem-sucedidos.
- Não existiam cursos de capacitação de biogás em ETEs.
- Não existia massa crítica sobre o tema.

A partir desses pontos, ficou evidenciada a necessidade de um projeto de medições de biogás em reatores UASB, visando conhecer melhor as

potencialidades energéticas desse processo de tratamento da fase líquida. Ao longo do projeto então, focou-se majoritariamente na pesquisa aplicada em reatores UASB, não desenvolvendo a pesquisa nos digestores anaeróbios da fase sólida. Contudo, as discussões técnicas levaram em consideração ambas as fontes de biogás de ETEs.

Em 2014 realizou-se um estudo em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que visava levantar as barreiras e oportunidades de negócios de biogás no Brasil. Além disso, o estudo previu a proposta de soluções internacionais com potencial de aplicabilidade no mercado brasileiro. O estudo englobou os setores de tratamento de esgotos, resíduos sólidos urbanos, resíduos e efluentes agroindustriais e da indústria alimentícia, e resíduos e efluentes da agropecuária.

Considerando todos esses setores, foram identificados quatro grupos majoritários de barreiras que permeiam todos, são eles:

1. Relação incerta entre o custo do projeto e seu benefício comercial.
2. Reduzida quantidade de projetos de referência bem-sucedidos em escala comercial.
3. Dificuldade de acesso a informações técnicas, comerciais e legais.
4. Inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás.

Toda a metodologia e os resultados detalhados sobre esses grupos de barreiras principais são encontrados em SNSA (2016). Alguns aspectos relevantes para o setor de esgotos levantados nesse estudo merecem destaque:

- Falta de conhecimento do setor sobre as reais potencialidades de aproveitamento do biogás;
- Falta de projetos de referência;
- Falta de sistemas adequados de coleta e mensuração do biogás;
- Falta de operação dos reatores anaeróbios visando manter ou maximizar a produção de biogás;
- Diferença entre a produção teórica de biogás e a produção real, dificultando a modelagem do sistema de aproveitamento do biogás;
- Falta de plantas referência no setor que realizem o aproveitamento energético do biogás;
- Falta de possibilidade de aproveitamento de linhas de financiamento de BNDES, uma vez que os equipamentos precisariam ser “finamizados” (inclusão do Código FINAME do BNDES)

Essas barreiras serviram para orientar as ações conduzidas pelo PROBIOGÁS na componente esgotos, que buscou articular o setor empresarial com o acadêmico promovendo um intercâmbio de informações, o desenvolvimento técnico-científico e de materiais técnicos de referência.

3 Metodologia

3.1. Principais ações e impactos do PROBIOGÁS

As principais ações do PROBIOGÁS na componente esgotos foram sistematizadas e avaliadas em três temas principais: condições quadro; cooperação técnico-científica; e desenvolvimento de capacidades e treinamentos. Foi escolhida essa sistematização para seguir a estrutura do projeto, e, em especial, as ações desenvolvidas na componente de esgotos. No caso a linha de ação de cadeia de valor foi incorporada nos três temas, em vista dos principais atores do setor de esgotos fazerem parte dos três temas, e do fato da cadeia de valor ter sido trabalhada para o setor de biogás como um todo, não somente no setor de ETEs.

Na Figura 16 observa-se como foi estruturada a apresentação das principais ações e resultados do PROBIOGÁS.

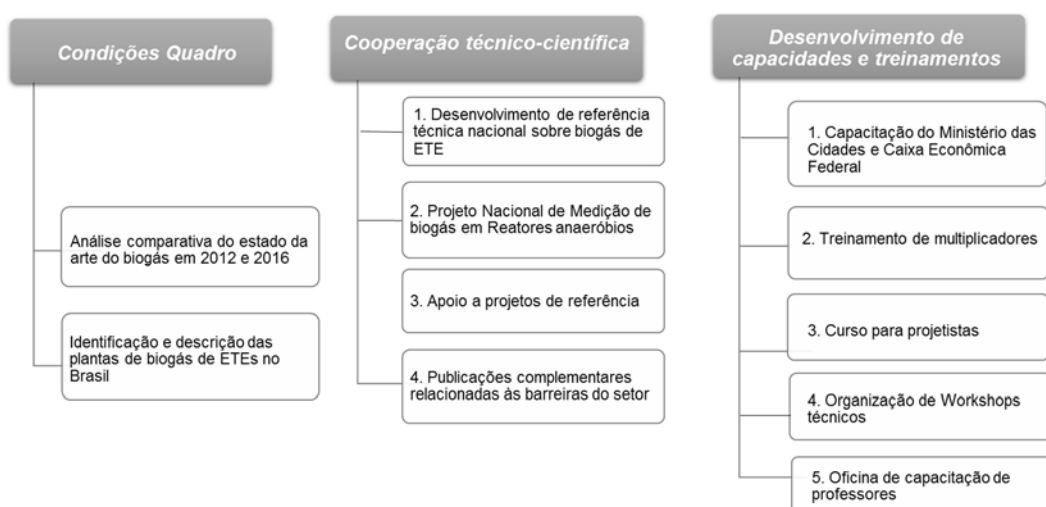


Figura 16 - Estruturação das principais ações e resultados do PROBIOGÁS.
Fonte: Elaboração própria.

No tema condições quadro, realizou-se uma análise documental do estado da arte das regulações, incentivos e marcos para o setor de biogás no ano de 2012 e comparado ao ano de 2016, período em que o PROBIOGÁS atuou. O significado de condições quadro é o conjunto de marcos legais, de mercado, econômico, social, ambiental, ou seja, o estado da arte do tema no Brasil, que pode promover ou impedir o avanço do tema.

Para discutir esse tema optou-se por dividi-lo em duas partes: a identificação dos avanços do biogás no Brasil nos últimos quatro anos, e o levantamento e descrição das plantas de biogás de ETEs do Brasil. A partir dessas duas fontes de informação, foi possível entender melhor a contribuição macro do PROBIOGÁS e os avanços do tema, bem como se ter clareza sobre a realidade atual dos projetos de biogás em ETEs.

Os avanços do biogás no Brasil foram categorizados em três grupos, determinados a partir dos principais grupos de barreiras identificadas ao início do projeto e no estudo da SNSA (2016):

1. Inexistência de modelos de negócios claros para o uso energético do biogás;
2. Falta de conhecimento do setor sobre as reais potencialidades de aproveitamento do biogás e de acesso a informações;
3. Falta de massa crítica qualificada e articulada.

Após a consolidação desses subtemas em tabelas separadas, foi feita uma análise da importância de alguns marcos citados, em níveis federal, estadual e municipal. Além disso, foi feito um breve relato de como o PROBIOGÁS atuou para potencializar esses resultados.

Após a sistematização e análise dos avanços do setor nos últimos quatro anos, foi realizado um levantamento dos projetos de biogás de ETE no Brasil. A partir disto, foi desenvolvida uma tabela resumo que apresenta detalhes sobre os projetos, visando esclarecer os modelos de negócios existentes, compilando as seguintes informações:

- Nome e Estado;
- Processo de tratamento que gera o biogás;
- Uso do biogás;
- Tecnologia utilizada para produção de energia;
- Status da planta (em instalação, em licenciamento ou em operação)
- Observações específicas da planta.

Após esse diagnóstico, foi realizada uma análise das peculiaridades de cada projeto, demonstrando o estado da arte do aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.

Na Figura 17 são resumidas as etapas para o desenvolvimento dos resultados no tema Condições Quadro.

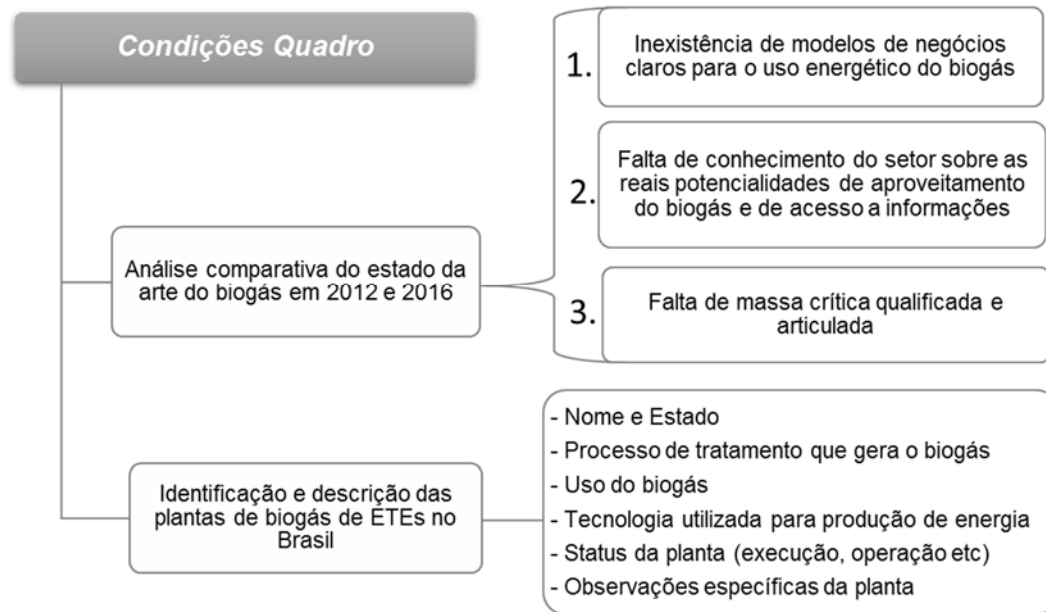


Figura 17 - Estruturação dos resultados das condições quadro.
Fonte: Elaboração própria.

O tema cooperação técnico-científica contemplou os principais resultados do projeto e os avanços no setor nos seguintes temas:

- Desenvolvimento de referência técnica nacional sobre biogás de ETE;
- Projeto Nacional de Medição de Biogás em Reatores Anaeróbios;
- Apoio a projetos de referência e da elaboração;
- Publicações complementares relacionadas às barreiras do setor.

Todos esses itens têm em comum a grande articulação entre as prestadoras de serviço de saneamento, entre a academia e as empresas, e entre o Ministério das Cidades e as prestadoras.

O item “Desenvolvimento de referência técnica nacional sobre biogás de ETE” é apresentado a partir da descrição do processo de desenvolvimento de um guia técnico de referência para o setor de tratamento de esgotos, que visava suprir a lacuna de faltas de referências técnicas sobre o tema. Foram realizados fóruns de discussão com especialistas do setor, a fim de desenvolver um formato de publicação, baseado em normas técnicas alemãs, que pudesse servir de referência sobre o tema.

O item 2 contempla uma apresentação da estrutura de condução do projeto de medição de biogás em reatores UASB em dez ETEs no Brasil bem como seus objetivos e impactos para o setor de tratamento de esgotos. Após esse diagnóstico

realizou-se uma análise dos desafios desse projeto, divididos em desafios técnicos, logísticos, de modelos de gestão das estações e gerenciais.

A cooperação técnica com projetos em andamento no setor é apresentada no item “Apoio a projetos de referência”. O tópico apresenta três parcerias fundamentais do projeto, e descreve os principais motivadores, ações e resultados, fruto da cooperação com essas instituições. Essa linha de ação visava apoiar tecnicamente projetos que tinham o potencial de melhorar ou de entrar em operação, visando superar algumas barreiras identificadas conjuntamente.

Devido à existência de poucas iniciativas de aproveitamento energético de biogás de ETEs, o PROBIOGÁS trabalhou em publicações técnicas relacionadas a barreiras identificadas no setor, que são apresentadas no tópico 4. Esse item apresenta todas as publicações do PROBIOGÁS no tema esgotos, sintetizadas em uma tabela que descreve brevemente seu conteúdo. A Figura 18 sintetiza os tópicos contemplados no tema cooperação técnico-científica.

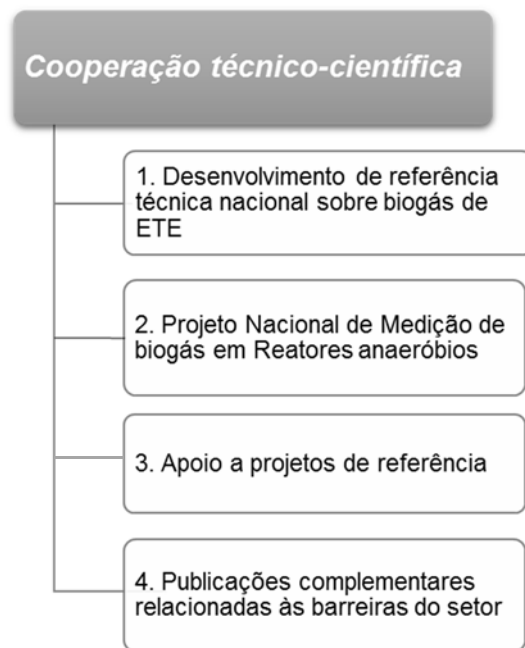


Figura 18 - Estruturação dos resultados da cooperação técnico-científica.

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o item “Desenvolvimento de capacidades e treinamentos” contempla as principais iniciativas de capacitação desenvolvidas pelo PROBIOGÁS, fruto das diretrizes estratégicas discutidas no início do projeto. Na Figura 20 é mostrado as subdivisões do tema.

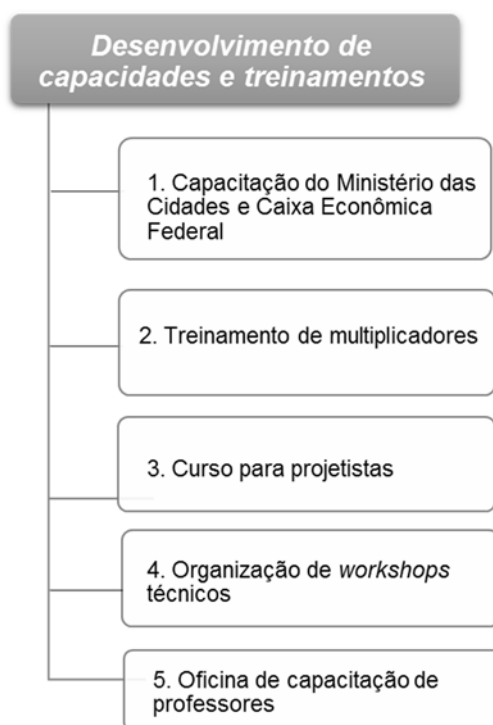


Figura 19 - Estruturação dos resultados do tema desenvolvimento de capacidades e treinamentos.

Fonte: Elaboração própria

A cooperação técnica Brasil-Alemanha é fundamentada na capacitação e no intercâmbio de experiências entre os países, logo, as atividades de capacitação seja ela de sensibilização até níveis mais complexos de conhecimento foram bastante estimuladas ao longo do PROBIOGÁS. Contudo, algumas ações constituíram marcos no desenvolvimento de capacidades para diversos atores do setor, a partir de uma estratégia preestabelecida com um grupo de especialistas nacionais e internacionais.

Para a elaboração da estratégia de capacitação foram selecionados, pelo corpo técnico do PROBIOGÁS, profissionais que já tinha grande experiência no tema de educação profissional no setor de saneamento. Esses profissionais fizeram uma viagem à Alemanha, para visitar centros de educação e discutirem o tema, de forma a adaptar os conceitos alemães às especificidades desse setor no Brasil.

As instituições participantes dessa delegação são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Instituições participantes na definição da estratégia de capacitação do PROBIOGÁS.

Setor	Instituição
Academia	Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo - FESPSP
	Instituto Federal de Brasília - IFB
	Núcleo Regional do Sudeste - NUCASE/ Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
	Núcleo Regional do Nordeste - NURENE/ Universidade Federal da Bahia - UFBA
	Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis – CTGÁS-ER
	Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
	SENAI-DN (Departamento Nacional)
	SENAI-RS (Rio Grande do Sul)
	Universidade de Caxias do Sul - UCS
	Universidade Federal de Goiás - UFG
Governo	Ministério das Cidades
	GIZ
Saneamento	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES
	Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento - ASSEMAE

Fonte: Elaboração própria

Essa delegação brasileira visitou na Alemanha as instituições de educação, ETEs, laboratórios de capacitação e alguns órgãos responsáveis por desenvolver capacidades nesse tema. Todos esses insumos serviram para uma discussão e definição de uma estratégia de capacitação comum para os diferentes atores do setor de saneamento, esquematizada na Figura 20.

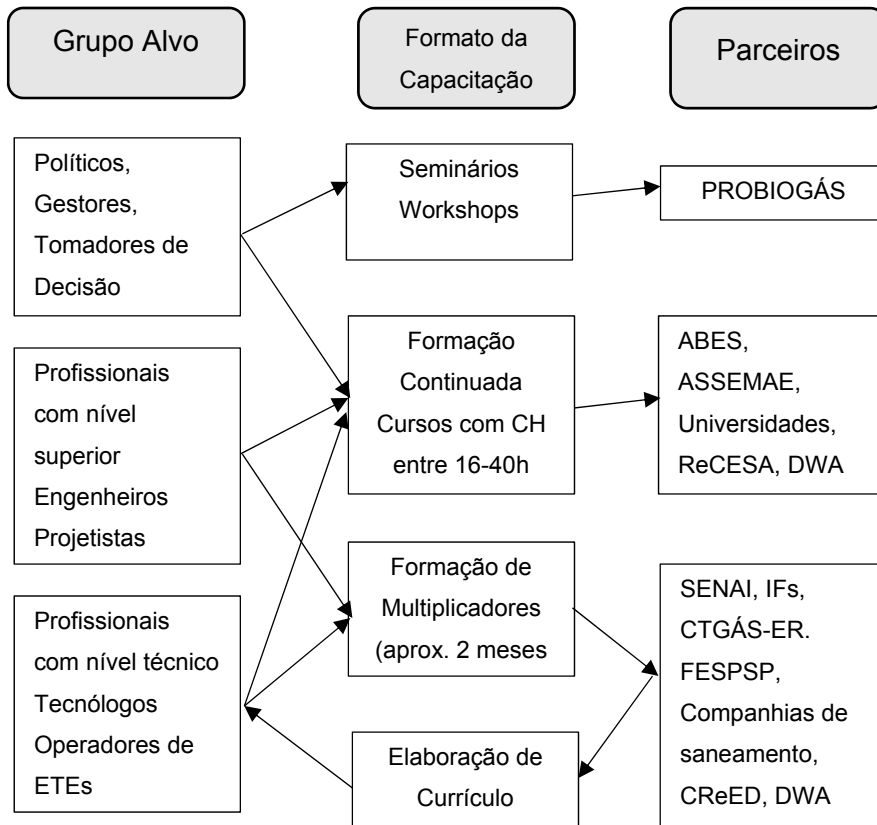


Figura 20 - Estratégia de capacitação do PROBIOGÁS.

Fonte: Elaboração própria.

Como o tema de aproveitamento energético de biogás é relativamente novo no país, entendeu-se que todos os níveis de profissionais do setor de saneamento necessitam de alguma forma de capacitação. Os profissionais foram divididos em 3 (três) grupos: (1) Tomadores de decisão, Gestores e Políticos, que, no entendimento da delegação, necessitam principalmente de eventos de sensibilização (*workshops* e seminários), mas também de cursos mais específicos de curta duração; (2) Profissionais com nível superior, que podem se especializar por meio de cursos de curta duração e da participação no processo de formação de multiplicadores; e, (3) Profissionais com nível técnico ou inferior, com experiência na área, que necessitam de uma maior capacitação, por meio da participação em cursos de curta duração e dos cursos gerados a partir da formação de multiplicadores e da grade curricular (PROBIOGÁS, 2017).

No capítulo sobre o Desenvolvimento de capacidades e treinamentos é apresentado os resultados das principais capacitações desenvolvidas para os três grupos. São elas:

1. Capacitação do Ministério das Cidades e Caixa Econômica Federal;
2. Treinamento de multiplicadores;
3. Curso para projetistas;
4. Organização de *workshops* técnicos;
5. Oficina de capacitação de professores.

Para cada uma, é apresentado um breve histórico do processo e seus principais resultados. As mesmas foram selecionadas em função de seu impacto para os atores do setor. Ao final, realizou-se uma sistematização de todas as atividades de capacitação desenvolvidas e/ou apoiadas pelo PROBIOGÁS, apresentadas em uma tabela.

3.2.

Proposta de continuidade por instituições parceiras

Para que as iniciativas e o legado do PROBIOGÁS sejam perpetuados, é de suma importância que os atores relacionados e engajados do setor deem continuidade. Como o aproveitamento energético de biogás de ETEs ainda não está consolidado em termos de um número significativo de projetos em operação, faz-se necessário uma intensa difusão dos conhecimentos gerados nos últimos quatro anos e existe um grande espaço no mercado para iniciativas pública e privada.

A partir de uma análise crítica pessoal, foram selecionados alguns atores chave ao longo do projeto, com o potencial de perpetuar e dar continuidade a algumas atividades, do ponto de vista do desenvolvimento do aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.

Após a identificação desses atores, foi realizada uma avaliação de modelos de matrizes qualitativas que poderiam refletir melhor uma sistematização entre os agentes e parâmetros qualitativos. Foi avaliada a metodologia *Growing Inclusive Markets' (GIM)*⁴ e a matriz *SWOT* (ou FOFA – Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças).

A metodologia GIM busca promover a implementação de modelos de negócios inclusivos que lidem com as necessidades particulares das pessoas de baixa renda. O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) formou por meio de uma parceria multisetorial a Iniciativa Incluir, onde foi adaptada

⁴ Maiores informações sobre a iniciativa GIM no site: <http://cases.growinginclusivemarkets.org>

a metodologia GIM para a realidade brasileira, com ênfase em critérios de sustentabilidade.

Da estrutura de condução do guia de estudos de caso desenvolvido pelo PNUD foi usado o mapeamento dos atores como base para a montagem da matriz desenvolvida, a partir de perguntas orientadoras e da Tabela 9.

Tabela 9 - Matriz apresentada no treinamento para elaboração de casos do guia da Iniciativa Incluir.

	Produtor	Contratado	Universidades	Governo	Parceiros Instituições Financeiras/Sindicatos
Mapeamento					
Papeis					
Benefícios e Interesses					
Custos de coordenação					

Fonte: PNUD GIM Research Overview.

Já a matriz SWOT faz uma análise de cenário, servindo como uma ferramenta de gestão e de planejamento estratégico. Ela utiliza os critérios de forças e fraquezas sob a ótica interna do objeto avaliado e de oportunidades e ameaças relacionadas aos fatores externos.

A partir da adaptação dessa matriz e do conceito da matriz SWOT, foram escolhidos os seguintes parâmetros para matriz elaborada:

- **Papéis:** o papel dos atores relacionado ao tema biogás de estações de tratamento de esgoto, ou seja, de que forma sua atuação está em sinergia com o tema.
- **Benefícios e Interesses:** as motivações e interesses desses atores em relação ao negócio.
- **Ameaças e Fragilidades:** Quais as ameaças e fragilidades esses atores estão expostos que poderiam impedi-lo de promover o tema.
- **Custos de coordenação:** qual o tempo e recursos necessários para o ator desenvolver a ação de continuidade proposta.
- **Potencial de continuidade sobre as ações do PROBIOGÁS:** avaliada em três níveis, baixo, médio e alto, em função da relação entre os benefícios/interesses e as ameaças/fragilidades do ator relacionado a sua capacidade de execução das ações.
- **Ações de continuidade sugeridas:** proposta de ações para cada ator, visando a continuidade e aprofundamento das discussões do aproveitamento energético de biogás no Brasil.

Os atores levantados foram divididos nos seguintes grupos:

- Governo: dividido em MCID, o setor de energia e o setor de meio ambiente.
- Instituições financeiras: por exemplo, Caixa, bancos internacionais, Banco do Brasil e BNDES.
- Institutos formadores: os que atuaram diretamente com o PROBIOGÁS, como o SENAI e Institutos Federais (IFs), bem como as universidades de forma geral.
- Prestadoras de Serviço: municipais, estaduais e privadas
- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)
- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia ETEs Sustentáveis (INCT ETEs Sustentáveis)
- Associações de Saneamento: ASSEMAE, AESBE e ABCON.
- Empresas de tecnologia: grupo de empresas que oferecem serviços e equipamentos necessários para o desenvolvimento do mercado de biogás no Brasil.

Após a elaboração dessa matriz qualitativa, foi realizada uma análise crítica por meio do potencial de continuidade das ações propostas, nos três níveis: baixo, médio e alto. Essa avaliação foi realizada em função da relação entre os benefícios/interesses e as ameaças/fragilidades do ator, com sua capacidade de execução das ações. Este último aspecto foi avaliado a partir da relação entre os custos de coordenação e as ações de continuidade sugeridas.

A partir dessa análise, realizou-se uma comparação entre o caminho percorrido pela Alemanha para a consolidação do aproveitamento energético de ETEs com o horizonte apresentado no contexto brasileiro, a fim de identificar os possíveis desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.

3.3.

Desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs

Para uma análise dos desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs, considerou-se a Alemanha como um modelo no

que tange ao desenvolvimento e consolidação do conceito ETE indústria, que influencia diretamente na gestão do biogás.

Naturalmente, não foram consideradas as diferenças de desenvolvimento entre os países, mas sim, analisado os fatores preponderantes no histórico da Alemanha e comparado com a realidade do Brasil, após o projeto de cooperação técnica PROBIOGÁS. Partiu-se do princípio, também, que a importância da gestão do biogás no tratamento de esgotos é a mesma em ambos os países, em função da utilização da tecnologia anaeróbia.

Outra consideração é com relação à universalização dos serviços de saneamento, que mesmo ainda não tendo sido alcançada no Brasil, se tem como meta, logo, é de igual importância. Vale frisar que não foi evidenciado que o tema biogás se consolidou na Alemanha a partir da universalização do tratamento de esgotos, mas sim, ocorreu ao longo do processo, em paralelo.

A partir da identificação de mecanismos fundamentais para a consolidação da temática na Alemanha, realizou-se uma análise crítica das perspectivas e desafios do tema ainda presentes no Brasil.

Para facilitar a análise, foram respeitadas as três linhas das condições quadro apresentadas no item 4.1.1, que sistematizam os avanços entre os anos de 2012 e 2016 no Brasil fomentados pelo PROBIOGÁS. São elas:

1. Inexistência de modelos de negócios claros para o uso energético de biogás;
2. Falta de conhecimento do setor e de informações sobre as reais potencialidades do aproveitamento energético de biogás;
3. Falta de massa crítica qualificada e articulada.

Esses três aspectos foram sintetizados em: 1. Modelos de negócios claros para o uso energético de biogás; 2. Conhecimento técnico e informações disponíveis; e, 3. Qualificação de mão-de obra e da prestação de serviços, conforme apresentados na Tabela 10.

No tema 1 foi considerada a necessidade de instrumentos legais e normativos, mecanismos de incentivo e estratégia de gestão como aspectos fundamentais a serem avaliados.

No tema 2 foram identificadas a importância de guias e referências técnicas nacionais e uma aproximação entre o desenvolvimento científico e a prestação de serviço enquanto aspectos chave.

Por fim, no tema 3 considerou-se o desenvolvimento de capacidades no tema e a qualidade da prestação de serviços, seja sob a responsabilidade da

prestadora, seja por meio da contratação de empresas de engenharia e consultoria para suporte, execução de obras e operação de sistemas.

Tabela 10 - Critérios de comparabilidade entre Brasil e Alemanha.

1. Modelos de negócios claros para o uso energético de biogás

- a) Instrumentos legais e normativos
- b) Mecanismos de incentivo
- c) Oportunidades de negócio
- d) Estratégia de gestão

2. Conhecimento técnico e informações disponíveis

- a) Desenvolvimento científico aplicado
- b) Guias e referências técnicas nacionais

3. Qualificação de mão-de-obra e da prestação de serviços

- a) Desenvolvimento de capacidades
- b) Qualidade da prestação de serviço

Fonte: Elaboração própria.

Após essa sistematização foi realizada uma comparação entre o desenvolvimento de cada aspecto na Alemanha e no Brasil, com o fim de observar quais os entraves e as perspectivas inerentes ao aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.

A partir da apresentação dos desafios e dos impactos do projeto de cooperação no Brasil, foi feita uma análise crítica pessoal da autora sobre as perspectivas, em função do estado da arte do aproveitamento energético de biogás.

4 Resultados e Discussões

Os resultados são apresentados seguindo o proposto nos objetivos específicos. As principais ações e resultados do projeto PROBIOGÁS (objetivo específico 1) são apresentadas nos tópicos 4.1, 4.2 e 4.3. A proposta de continuidade das ações por parte de instituições parceiras (objetivo específico 2) é demonstrada no item 4.4. Por fim, os desafios e perspectivas (objetivo específico 3) são descritos no item 4.5 do presente trabalho.

4.1. Condições Quadro

4.1.1. Avanços do biogás no Brasil

Observa-se nos últimos quatro anos marcos que, de alguma forma, abrem as portas para o mercado do biogás, em especial a nível estadual.

Nas Tabelas 11, 12 e 13 são apresentados o estado da arte em 2012 e os avanços em 2016. Vale ressaltar que foram levantados os marcos mais significativos para o setor de biogás como um todo. Eles estão divididos em três temas principais, que foram considerados grandes barreiras para a consolidação do tema no Brasil.

Com relação ao tema 1, a Tabela 11 descreve inúmeras regulações que surgiram, majoritariamente em nível estadual, visando fomentar a inserção dessa fonte renovável no estado. Em 2012 não haviam regulações, já em 2016 esse número passou para mais de 10 regulações consolidadas. Em nível federal, merece destaque a resolução ANP 08/2015, que define a especificação do biometano para a injeção na rede de gás natural e uso veicular.

Após grandes discussões e apoio técnico à ANP, a instituição decidiu não permitir a injeção de biometano na rede de gás natural a partir dos resíduos de saneamento, ou seja, esgotos ou resíduos sólidos urbanos, salvo para uso experimental. A precaução se deve ao fato dos compostos siloxanos, visto que ainda não existem no Brasil laboratórios e metodologias confiáveis para análise e comprovação de remoção, o que gera um risco de danificação do sistema, em especial pela corrosão. Em vista disso, existe um grupo de trabalho na ABNT discutindo metodologias para a determinação de siloxanos para normalizá-las. De todo modo, em especial para o setor agropecuário, essa resolução abre um caminho, pois especifica o produto.

Com o fim da atuação do PROBIOGAS continuou, contudo, a pressão do setor para a liberação da injeção na rede de biometano a partir do saneamento. Em junho de 2017 foi publicado então as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional.

Outro avanço relevante foi a proposição de um Programa Nacional de Biogás e Biometano pela Associação Brasileira de Biogás e de Biometano (ABIOGAS), que está sendo discutido dentro do programa Renova Bio – Biocombustíveis com a participação dos Ministérios da Agricultura, de Minas e Energia, da Fazenda e da Indústria e Comércio.

Para o uso elétrico do biogás, abriu-se oportunidades para pequenas, medias e grandes gerações. A Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 que complementa e modifica alguns pontos da Resolução Normativa ANEEL nº 482/12, versa sobre o sistema de compensação de energia elétrica para micro e minigeradores, até 75kW para micro e até 5MW para minigeradores.

Segundo a resolução, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.⁵

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

Outro arranjo é a “geração compartilhada”, que possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, e instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

⁵ Retirado de:

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90>. Acesso em: 05 de jan. 2017.

Os procedimentos para conexão também foram simplificados: foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor, além de uma redução significativa no prazo total para a distribuidora conectar as usinas.

O sistema de compensação de energia é uma grande oportunidade para o setor de saneamento, em especial de tratamento de esgotos, devido a possibilidade de redução dos custos de operação não necessariamente no local de geração, além do fato de uma planta de biogás de ETEs estar dentro da faixa de geração definida pela resolução.

Pensando em geração acima de 10 MW, visando gerar energia firme de base, o PROBIOGÁS atuou diretamente com a EPE a fim de esclarecer as diferenças setoriais do biogás e facilitar o modelo de leilão para o público potencial. Como resultados, além do processo de internalização do conhecimento na EPE, foi aprovada a primeira termelétrica a biogás contratada para gerar 21 MW em 2021, no estado de São Paulo. Esse modelo não é viável para ETE, mas uma vez frisando que o papel da estação é tratar esgotos, não produzir energia firme para o Sistema Interligado Nacional.

Tabela 11 - Condições quadro nos anos de 2012 e 2016 no Brasil relacionadas aos modelos de negócios para o uso energético do biogás de ETEs.

<i>Em 2012</i>	<i>Em 2016</i>
Inexistência de modelos de negócios claros para o uso energético do biogás	
Falta de regulações e incentivos para o uso de biogás e biometano	Resolução ANP 08/15, que estabelece a especificação do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.
	Proposta do Programa Nacional de Biogás e Biometano pela ABIOGAS junto ao MME
	Proposta de Resolução CONAMA que define critérios para a produção de composto de resíduos sólidos orgânicos (aprovada em 2017)
	ARSESP prepara regulamentação de biometano em São Paulo
	Decretos estaduais para injeção de biometano na rede de Gás (RJ, SP)
	Lei nº 14.864/2016, que institui a Política Estadual do Biometano no Rio Grande do Sul
	Programa SC+Energia, que visa fomentar o potencial catarinense de geração de energia limpa, incluindo o biogás.

	Isenção de ICMS para equipamentos e energia a partir de biogás (SP, MG)
	Deliberação Normativa COPAM 74, alterando a versão de 2004, pois simplifica o licenciamento ambiental de uma usina termelétrica a biogás de até 10MW.
	Discussão projeto de Norma ABNT NBR 16560-562, que estabelecem metodologias para determinação de siloxanos e de compostos orgânicos voláteis.
Leilão Reserva não contemplava o biogás	1 Projeto habilitado em Leilão A-5 específico para Biogás (21MW contratado)
Resolução ANEEL 482/2012	Condições da resolução 482/12 aprimoradas pela resolução ANEEL 687/2015
Algumas experiências negativas com plantas de biogás e poucos projetos de referência	Poucos projetos de referência

Fonte: Elaboração própria.

O segundo tema está relacionado a falta de informações e de conhecimento sobre as reais potencialidades do biogás. As barreiras levantadas demonstraram dificuldades desde a tomada de financiamento, até capacitação, qualificação e articulação da sociedade civil sobre o tema.

Em 2012, muitos dos atores do setor de saneamento reclamavam da dificuldade de tomada de crédito para projetos de biogás, pela ótica de agentes públicos. O programa Saneamento para Todos, iniciativa do PAC, não considerava em seus manuais de financiamento nem a fundo perdido a possibilidade de incluir uma planta de biogás no projeto. Em 2016, foi alterada a Instrução Normativa IN39 que versa sobre os itens financiáveis no escopo de esgotamento sanitário, e passa a ser permitido incluir projetos de biogás no escopo, a partir do porte de 250 L/s, ou seja, de 150 mil habitantes.

Além disso, junto com o projeto de cooperação técnica PROBIOGÁS, estabeleceu-se em paralelo a cooperação financeira de crédito com o KfW, num montante de 150 milhões de euros disponíveis até 2018 para o setor de saneamento. Logo, de 2012 a 2016 surgiram duas linhas de crédito específicas que contemplam o aproveitamento energético de biogás de ETEs.

Com relação à existência e disponibilidade de referências técnicas, de 2012 a 2016, ocorreu um grande avanço, pois foram publicados mais de 20 estudos e trabalhos técnicos do PROBIOGÁS junto com parceiros como a EPE e EMBRAPA. O PROBIOGÁS trabalhou intensamente no desenvolvimento de material de referência para os setores relacionados ao biogás, em especial para

o de saneamento. Ao todo, foram publicados 17 cadernos técnicos só pelo projeto, todos disponíveis no site do Ministério das Cidades.⁶

A atuação conjunta e assessoria técnica com os parceiros governamentais propiciou a disseminação de conhecimento por meio deles, como no caso da EPE e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Tabela 12).

Tabela 12 - Condições quadro nos anos de 2012 e 2016 no Brasil relacionadas a falta de conhecimento do setor e de informações sobre as reais potencialidades de aproveitamento do biogás.

<i>Em 2012</i>	<i>Em 2016</i>
Falta de conhecimento do setor e de informações sobre as reais potencialidades de aproveitamento do biogás	
Dificuldade de financiamento de plantas de biogás no saneamento	Alterada IN N°39/ Mar 2016 (a partir de 250l/s) do Programa de Saneamento para Todos Linha de crédito internacional do KfW disponível
Falta de material técnico de referência	PROBIOGÁS publicou 17 cadernos técnicos nas temáticas: desenvolvimento do mercado de biogás (Biogás), aproveitamento energético do biogás de resíduos sólidos urbanos (RSU), aproveitamento energético de biogás de estações de tratamento de esgoto (ETE) e aproveitamento energético do biogás de resíduos agrosilvopastoris (RA). EPE publicou 4 notas técnicas sobre o Inventário energético de resíduos rurais e resíduos sólidos urbanos, bem como sobre a Economicidade e competitividade do aproveitamento energético de ambos os resíduos EMBRAPA publica comunicado técnico sobre a padronização de uso das unidades de medida em processos de produção de biogás
Dificuldade de acesso a informações	Mapa de plantas de biogás disponível no site do Clbiogás FEAM e SISTEMA FIEMG publicam Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria FIEP e SENAI-PR publicam relatório sobre Oportunidade da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná

⁶ Site www.cidades.gov.br/PROBIOGÁS

Falta de dados confiáveis sobre a viabilidade econômica e a produção real de biogás de ETEs	Projeto Nacional de medição de biogás em reatores anaeróbios gerou novos conhecimentos e poderá ter continuidade
	Elaboração de um estudo de viabilidade técnico econômica do aproveitamento elétrico do biogás de ETE

Fonte: Elaboração própria.

Para o setor de esgotos, é de relevância destacar duas publicações: os resultados do projeto nacional de medição de biogás de reatores anaeróbios e o estudo de viabilidade técnico-econômica do aproveitamento elétrico do biogás. Ambos estudos trazem resultados importantes para o setor e que facilitam bastante novos projetos e a barreira da falta de informação.

Outra publicação notória sobre o tema esgotos foi o Guia técnico de aproveitamento energético de biogás de ETEs, que será melhor descrito no item 4.2.1.

Em 2012, haviam iniciativas pontuais de instituições e empresas demonstrando o interesse no tema biogás, mas pouco articulado. Uma iniciativa relevante na época era a Rede de Biogás FINEP, que tinha como objetivo desenvolver soluções tecnológicas a partir do biogás produzido em sistemas de tratamento de esgotos e aterros sanitários para geração de energia elétrica. A rede envolve 9 instituições de ensino e pesquisa no Brasil (UFRJ, Unioeste, UFPE, UFES, UFSC, UFMS, UFC, UFCG, ITAI), coordenadas pela UFPE, e tem atuação prevista até final de 2017.

Após quatro anos, estabeleceu-se quatro grupos de interesse no tema, de associações de biogás a grupos técnicos e estratégicos de trabalho. Em 2013, foram fundadas duas associações de biogás, que começaram a alinhar os interesses do setor. O trabalho do PROBIOGÁS junto às prestadoras de serviço de saneamento propiciou a formação de um grupo de trabalho integrando empresas, academia e consultoria, permitindo grandes avanços de massa crítica e de discussões do tema em esgotos (Tabela 13).

Outro marco para o setor de biogás foi a formação de um comitê gestor do PROBIOGÁS, reunindo a GIZ e 6 ministérios: das Cidades, de Minas e Energia, de Desenvolvimento da Indústria e Comércio, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, da Ciência, Tecnologia e Inovação. A formação desse comitê

visava melhorar a articulação e a disseminação de informações a respeito do biogás, visando facilitar a formação de políticas futuras em concordância.

No âmbito de capacitação, no ano de 2012 não havia cursos específicos para biogás e a maioria do pessoal qualificado obtinha conhecimento no exterior. Ao longo de quatro anos foram criados diversos formatos de capacitação para diferentes públicos. As principais iniciativas de desenvolvimento de capacidades e treinamentos no tema esgotos serão apresentadas no item 4.3.

Tabela 13 - Condições quadro nos anos de 2012 e 2016 no Brasil relacionadas a falta de massa crítica qualificada e articulada sobre o biogás.

<i>Em 2012</i>	<i>Em 2016</i>
<i>Falta de massa crítica qualificada e articulada</i>	
Sociedade Civil e Governo pouco articulados	Fundação de associações de biogás (ABiogás e ABBM) Consolidação de Rede de Pesquisa em esgotos integrando academia e empresas Estabelecimento do Comitê Gestor de Biogás integrando as instituições MME, MMA, MDIC, MCID, MAPA, MCTI e GIZ.
Nenhuma oferta de curso de biogás para saneamento	Mais de 2 mil pessoas capacitadas pelas iniciativas do PROBIOGAS Realização de cursos para Operação e Projeto de ETEs com uso energético de Biogás Elaboração de grade curricular para Operação de ETEs com Biogás Inserção do curso “Operador de Produção de Biogás em ETEs” em IFs junto ao MEC Treinamento Internacional de Multiplicadores para Operação de ETEs com uso do Biogás Realização de cursos de Segurança em plantas de Biogás Realização de cursos de viabilidade de plantas de biogás em RSU, ETEs e RA
Pouca integração entre os setores da Academia e Empresarial, além de parcerias internacionais.	Realização de Projetos de Pesquisa aplicada em escala piloto e real: iNoPa, Projeto de Medições e Chamada P&D Estratégica 14/2012 da ANEEL Realização de 16 parcerias entre instituições brasileiras e alemãs nos setores acadêmico e produtivo para uso eficiente de biogás no mercado brasileiro
Rede FINEP	Aprovação do INCT ETEs Sustentáveis junto ao MCTI com parceria entre UFMG, UFPE, UFRJ, UFC, UFMS, USP, RUHR Universität Bochum e Universität Hannover Realização de 3 Fóruns de Biogás focados no matchmaking empresarial

Fonte: Elaboração própria.

Outro fator relevante é a integração entre os setores academia e empresas, nacionais e internacionais. Isso tem papel crucial na realização de novos projetos, na troca de experiências e na redução de riscos de investimento. O PROBIOGÁS organizou o evento chamado de Fórum de Biogás, voltado para empresas, visando facilitar o *matchmaking* entre instituições brasileiras e internacionais. Outra ação importante foi o suporte na realização de parcerias entre instituições brasileiras e alemãs, da academia e do mercado, visando o fortalecimento da cadeia de valor.

Como grande resultado para o setor de esgotos, tem-se a aprovação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis), fruto de uma intensa articulação entre instituições de pesquisa e de empresas, também em nível internacional, para conduzir nos próximos cinco anos, a pesquisa aplicada em diferentes linhas de uma ETE, sendo uma delas o biogás. Ele é formado por sete importantes instituições de ensino e pesquisa na área de saneamento básico no Brasil – UFMG (coordenação geral), UFC, UFMS, UFPE, UFRJ, USP e ISAE/FGV.

O objetivo desse INCT é se tornar um centro de referência internacional para questões relacionadas ao tratamento de esgoto doméstico, propiciando o desenvolvimento de sistemas integrados e sustentáveis de tratamento de esgoto, com recuperação e valoração dos subprodutos do tratamento. Naturalmente essa instituição poderá aproveitar diretamente os resultados do PROBIOGÁS.

Em meio a tantas transformações das condições quadro para o biogás em diferentes setores, o fato é que ainda não temos essa fonte de energia amplamente distribuída no Brasil. A PNBB (2015) descreve algumas causas para o insucesso de algumas tecnologias de biogás na década de 70 no Brasil, que gerou alguns impactos negativos para sua consolidação à época. Após 30 anos, o tema biogás reapareceu, motivado pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Em 2012, existiam alguns projetos de biogás no país, com tecnologias mais simples no setor agropecuário, alguns projetos piloto na área de pesquisa, sendo os projetos mais volumosos associados a queima do biogás, para redução de gases de efeito estufa.

Mesmo após quatro anos de grandes avanços (2012-2016), algumas barreiras ainda não foram superadas, em especial a relacionada ao aumento do número de projetos de referência.

Naturalmente, quatro anos é um tempo curto para o planejamento e execução de novos projetos, que tem um papel fundamental para fortalecer o mercado e reduzir os riscos relacionados ao pioneirismo.

A pequena ocorrência de projetos de referência está diretamente relacionada ao fortalecimento do mercado, em termos de ofertas de serviço, mão de obra qualificada e fornecimento de equipamentos.

A ainda necessária importação de conhecimento, em especial de equipamentos, aumenta os custos de investimento e de burocracia com a importação, muitas vezes ainda reduzindo a atratividade do investimento.

Para vencer essa dificuldade de mercado, naturalmente devem ocorrer esforços de todos os atores, desde incentivos, marco regulatório e oportunidades oferecidas pelo Governo, até a tomada de risco por inovação e pioneirismo de mercado por parte das empresas. Nesse contexto, os projetos de pesquisa aplicada ratificam sua importância como ponte para a confirmação tecnológica e de viabilidade, para projetos mais suntuosos no futuro.

De todo modo, já existem plantas de biogás no país, mas não existia um registro, o que dificultava o acesso a informações e difusão de conhecimento sobre as lições aprendidas.

4.1.2. Plantas de biogás de ETEs

Em 2012, não havia esse diagnóstico de plantas de biogás no Brasil. Para facilitar o acesso a informações, o PROBIOGÁS em parceria com o CIBiogas desenvolverem uma ferramenta via internet chamada BiogasMap, que apresenta todas as plantas de biogás do país, a partir de diversos substratos. No momento em que foi realizado o levantamento em 2015, foram compiladas 110 plantas de biogás em operação, sendo apenas 4 ETEs (Figura 21). Na Figura 21, pode ser claramente observado que o maior número de plantas de biogás está relacionado ao setor suinícola.

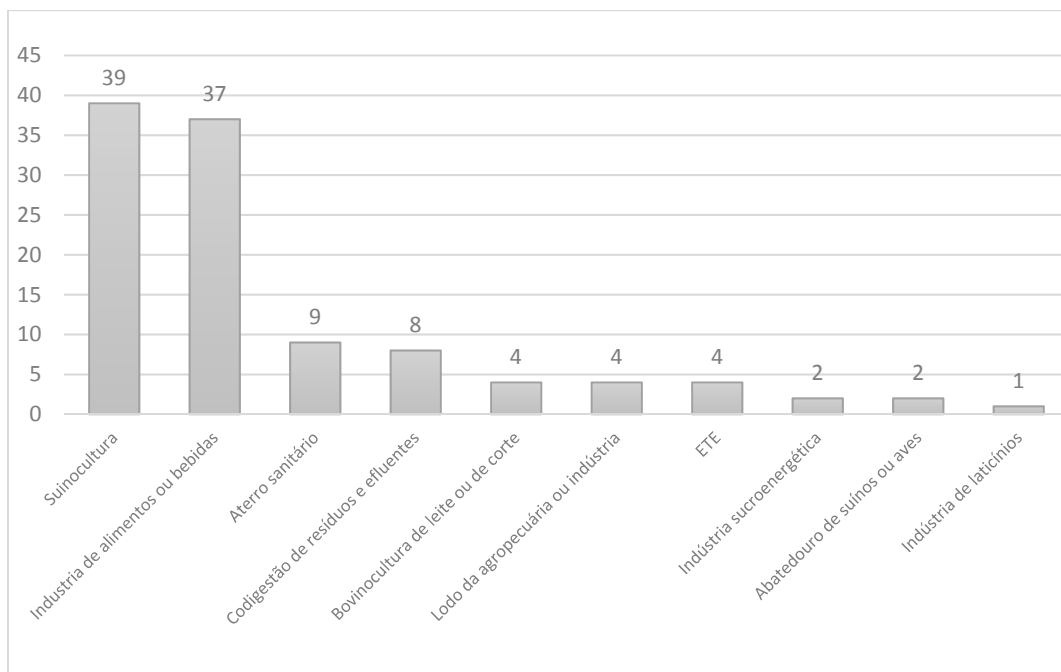


Figura 21 - Plantas de biogás em operação no Brasil.
 Fonte: Elaboração própria. Dados de nov. 2015.

No que tange ao tratamento de esgotos, a existência de poucos projetos (apenas 4), em um cenário de cerca de 3.000 ETEs no Brasil (Ana,2016), ainda demonstra que o tema não está incorporado no setor de saneamento.

Na Tabela 14, podem ser observadas as plantas de biogás de ETE no país, em diferentes fases, bem como informações mais detalhadas.

Tabela 14 - Estações de tratamento de esgotos com aproveitamento energético do biogás no Brasil: *status* e especificações.

Estação	Estado	Processo	Uso do Biogás	Tecnologia	Status	Observação	Modelo de uso de energia
Ouro Verde	PR	Reator RALF	elétrico	motogerador 25kVA	Projeto Piloto em operação.	Apresentou grande dificuldade na habilitação de empresas para fornecimento do motogerador para esta potência instalada.	Adesão à Resolução 482/12 ANEEL
Arrudas	MG	Digestor de Lodo	elétrico	12 microturbinas de 200 kW	Em operação.	Problemas de manutenção das microturbinas e do sistema de tratamento do biogás.	Autoconsumo
Ribeirão Preto	SP	Digestor de Lodo	térmico e elétrico	2 motores de 750 kW	Em operação.	Está realizando a manutenção do digestor de lodo, ou seja, seu esvaziamento para a remoção de volume morto.	Autoconsumo, mas com geração em paralelo com a rede.
Betim Central	MG	Reator UASB	térmico	secagem térmica do lodo	Em operação.	Apresenta dificuldades com o transporte do lodo desidratado.	Combustível para a secagem do lodo.
Jacuipe II	BA	Reator UASB	elétrico	motogerador de 200 kw	Em operação.	Projeto P&D ANEEL entre COELBA e EMBASA,	Autoconsumo

executado pela Rotaria do Brasil. Apresentou enormes problemas com vazamento de biogás nas tubulações e no reator, além de problemas de impermeabilização do reator UASB e com a chegada do esgoto afluente. Está em fase de operação assistida.

Barueri	SP	Digestor de Lodo	térmico e elétrico	Não definida. Secagem térmica + geração de energia elétrica prevista de 5MW na primeira fase, expandindo para 10MW +	Em licitação da concessão do direito para exploração de uso para geração de energia renovável a	Licitação para implantação e operação da tecnologia <i>waste-to-energy</i> (WTE). O projeto da usina visa aproveitar o lodo e o biogás gerados a partir de uma SPE ⁷ .	Não definido.
----------------	----	------------------	--------------------	---	---	---	---------------

⁷ SPE: Sociedade de Propósito Específico

				aquecimento dos digestores de lodo	partir de biogás e lodo.		
CSBioenergia	PR	Codigestão de Lodo e Resíduos orgânicos	térmico e elétrico	2 motores de 1,4 MW	Obra em andamento.	Projeto inovador no mundo. SPE entre Sanepar e Catallini. Apresenta riscos de garantia de substrato, venda de subprodutos e de processo de biodigestão	Autoconsumo e venda no mercado livre.
ETE Montes Claros (Vieira)	MG	Reator UASB	térmico	secagem térmica do lodo	Em operação.		Combustível para secagem do lodo
ETE Ibitié	MG	Digestor de Lodo	Térmico e elétrico	Secagem térmica do lodo, 3 motogeradores de 240kW e combustão do lodo, usando a energia térmica para complementar a	Obra finalizada. Ainda não iniciada a operação da usina de biogás.	Após conclusão da obra, apresentou problemas com a chegada do efluente na ETE por falhas na rede de coleta, estando a produção de biogás aquém do previsto para início da operação.	Autoconsumo

				demanda do secador.			
ETE Franca	SP	Digestor de Lodo	Combustível veicular	Purificação do biogás e uso veicular experimental	Em instalação.	Parceria com a instituição alemã Fraunhofer. Expectativa de início do comissionamento em março de 2017.	Uso experimental na frota veicular da SABESP.

Fonte: Elaboração própria.

Após troca de experiências, acompanhamento e discussões com as empresas de saneamento das ETEs listadas, observa-se ainda que o aproveitamento energético nas ETEs existentes não é trivial. Vale novamente ressaltar a grande diferença entre a tecnologia de digestão para lodo e esgoto (reatores UASB), que apresentam características de produção e composição do gás distintas. Além disto, a tecnologia de digestão anaeróbia de lodo é consolidada internacionalmente, diferentemente dos reatores anaeróbios de esgoto.

O primeiro projeto de uso elétrico de biogás a partir de reatores anaeróbios em escala real, a ETE Jacuípe II, demonstrou claramente algumas barreiras que precisam ser superadas em novos projetos:

- Os reatores UASB não foram projetados visando o aproveitamento energético de biogás. Para tal, torna-se indispensável uma reabilitação do mesmo, com impermeabilização e garantia da estanqueidade.
- A estrutura da ETE como um todo apresenta falhas na construção e execução da obra. Uma verificação de vazamentos nos coletores de gás, tubos e conexões deve ser feita cuidadosamente.
- A necessidade de capacitar os profissionais da ETE, que precisam entender e se motivar a trabalhar com mais este processo. Para tal, é importante que haja uma troca de experiências, para que haja continuidade do projeto.
- Para manutenção e assistência deve ser verificada a possibilidade de um suporte local. Empresas internacionais que não oferecem nenhuma segurança local acabam por aumentar os riscos de parada do sistema.
- Necessidade de encontrar um melhor arranjo institucional para a operação desse sistema. Depois de instalado, ao se iniciar a operação, as paradas do sistema representam perda financeira. As companhias públicas de saneamento têm dificuldade de reagir rapidamente a emergências e manutenção. Modelos de operação que possam ter respostas imediatas são indispensáveis para garantia da viabilidade do sistema.

Além dessas barreiras identificadas, no mais recente projeto de biogás a partir de reatores UASB, Chernicharo (2016) também apresenta a perda de metano dissolvido no efluente, o acúmulo de espuma no interior dos coletores de gás e a contribuição de água de chuva como fatores que interferem diretamente na quantidade de gás recuperado nos reatores UASB.

Outro projeto que merece destaque é o da CSBioenergia, um projeto inovador que alimentará digestores com resíduos orgânicos de grandes geradores e com o lodo da ETE Belém. Na Alemanha não é permitido codigerir estes dois substratos conjuntamente em vista da contaminação do composto resultante. Contudo, espera-se que este projeto, tanto pelo porte quanto pela tecnologia, venha abrir o mercado e ser um fomentador da codigestão no país.

As plantas de biogás de Arrudas (MG) e de Ribeirão Preto (SP), foram as pioneiras no país a aproveitar o gás de ETEs energeticamente. Ambas foram inauguradas em 2011 e enfrentaram diversas barreiras de pioneirismo. Por serem projetos a partir da degradação anaeróbia do lodo, ambas se utilizaram de conhecimento internacional e importaram a tecnologia de geração de energia.

Uma grande oportunidade para o setor de esgotos que ainda não está sendo praticada é o uso do biogás como energia térmica para secagem do lodo, um grande passivo ambiental das ETEs em operação. Muitas vezes o biogás está sendo queimado para a atmosfera enquanto o lodo representa enormes custos de operação.

De todo modo, as principais variáveis que devem ser observadas para a definição do melhor modelo de uso do biogás são: a produção e captação do biogás; a tarifa de energia elétrica; o custo da disposição final do lodo; a taxa de interesse e os impostos; e a variação cambial.

A partir dos projetos de referência existentes, já se tem mais clareza das lições aprendidas e de oportunidades mais interessantes para o contexto atual. Essas experiências fortalecem novas iniciativas e alertam para novos projetos que levem em consideração, desde o início, a fase gasosa do tratamento.

Para que a fase gasosa seja contemplada no tratamento de esgotos, uma mudança de paradigmas no setor deve ocorrer, sendo instaurada a visão da ETE indústria. Para tal, a cooperação técnico-científica baseada no desenvolvimento de informações técnicas de referência e de massa crítica, em iniciativas de pesquisa em escala real e no apoio a projetos de referência são fundamentais.

4.2. Cooperação técnico-científica

4.2.1. Desenvolvimento de referência técnica nacional sobre biogás de ETE

O processo de desenvolvimento de um Guia Técnico de referência para o setor de tratamento de esgotos teve como principais etapas as apresentadas na Figura 22:

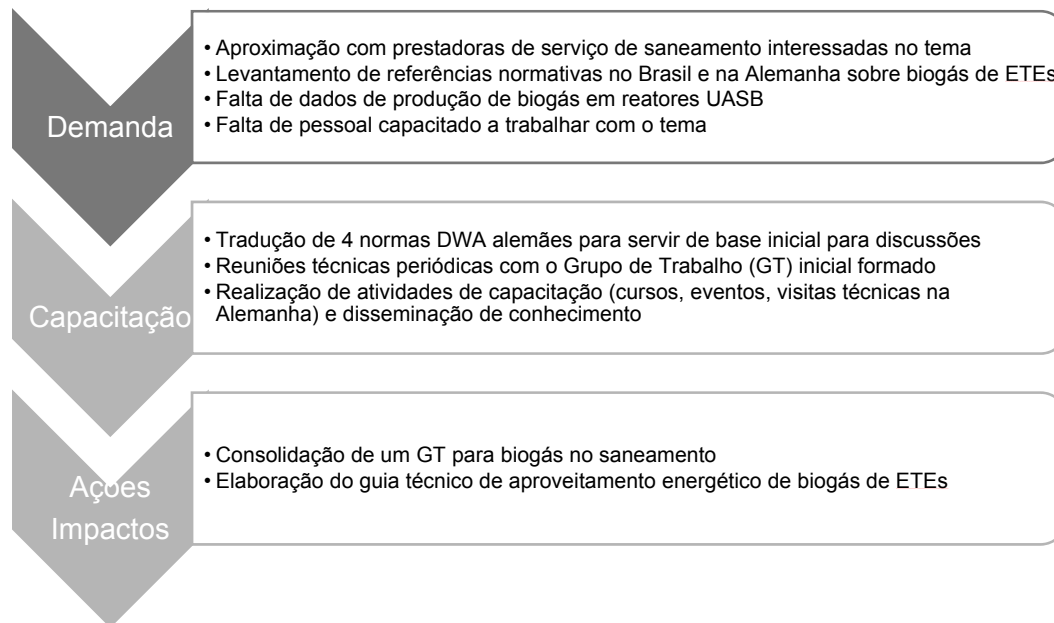


Figura 22 - Etapas de desenvolvimento do guia técnico sobre aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.

Fonte: Elaboração própria.

Após a consolidação da real demanda no setor, e em vista da inexistência de referências normativas no Brasil, foram levantadas as normas alemãs relacionadas ao tema, que são:

- a) DWA A 216 – Análise energética – Instrumentos para a otimização do uso de energia em Estações de tratamento de esgoto. (4/2013)
- b) ATV-DVWK M 368 – Estabilização biológica do lodo de estações de tratamento de esgoto. (2003)
- c) ATV-DVWK M 265 – Automação e controle da aeração de processos do lodo ativado. (2000)
- d) DWA M 209 – Medição da capacidade de transferência de oxigênio em água limpa e em condições operacionais de reatores de lodo ativado. (2007)

- e) ATV M 266 – Controle e regulação da concentração dos Sólidos Suspensos Totais no processo do lodo ativado. (1997)
- f) DWA-M 363 – Origem, condicionamento e aproveitamento de biogás. (11/2010)
- g) ATV-DVWK M 372 – Condições técnicas para a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos. (2003)
- h) DWA M 212 – Equipamentos e acessórios de sistemas de biogás em estações de tratamento de esgoto. (4/2008)
- i) DWA M 361 – Tratamento de biogás. (10/2011)
- j) DWA M 380 – Co-fermentação em digestores de lodo em estações de tratamento de esgoto domésticos, em digestores de resíduos sólidos orgânicos municipais e em digestores de substratos agrícolas. (6/2009)
- k) DWA M 253 – Automação e controle nas estações tratamento dos efluentes. (2000)
- l) DWA M 268 – Automação e controle dos processos de remoção de nitrogênio nos processos de lodos ativados. (6/2006)

Em outubro de 2013 foram iniciados os trabalhos, e realizada a primeira reunião. Após uma breve apresentação de conteúdo de cada uma dessas normas, foi decidido pelo grupo de trabalho que o mais importante, inicialmente, seria definir quais guias alemães seriam traduzidos, pois boa parte dessas informações que faltam no Brasil já seriam úteis imediatamente e seriam necessárias para dar insumo a uma discussão de uma possível norma ou guia.

As normas selecionadas e que foram traduzidas são:

1. DWA A 216 – Análise energética – Instrumentos para a otimização do uso de energia em Estações de tratamento de esgoto.
2. DWA-M 363 – Origem, condicionamento e aproveitamento de biogás.
3. DWA M 361 – Tratamento de biogás.
4. DWA M 212 – Equipamentos e acessórios de sistemas de biogás em estações de tratamento de esgoto.

Todas essas normas estão disponíveis para compra em português no site da DWA.

Da primeira reunião ficou decidido que a norma DWA 216 seria a primeira a ser traduzida por tratar o assunto da forma mais sistêmica. Após a tradução dessa norma e sua discussão, o Grupo de Trabalho (GT) decidiu focar em duas ações específicas:

1. Aplicar a norma DWA 216 em algumas ETEs no Brasil, a partir da elaboração de um Guia de aplicação, para que fossem produzidos dados

de ETEs brasileiras, visto que a norma não poderia ser diretamente aplicada com todos os valores e indicadores propostos.

2. A partir das 4 normas traduzidas, seria desenvolvida uma adaptação para a realidade brasileira, em especial com relação aos reatores anaeróbios, para elaboração de um Guia Técnico brasileiro sobre o tema.

Na Figura 23 pode ser observado sinteticamente as ações realizadas com as normas.

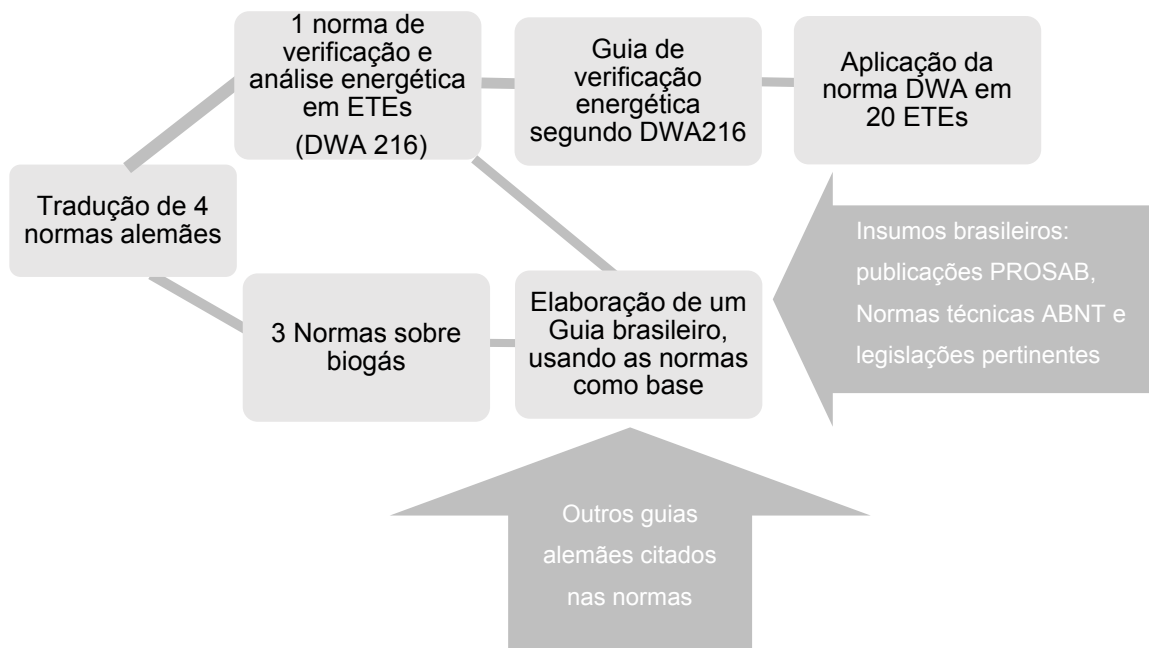


Figura 23 - Processo de elaboração de referências técnicas nacionais.
Fonte: Elaboração própria.

A norma alemã DWA A 216 apresenta a verificação e análise energética como instrumentos para a otimização de estações de tratamento de esgoto, e define os requisitos para a sua execução.

O consumo energético das ETEs depende da tecnologia de tratamento empregada, do grau de eficiência desejado e das condições locais. Análises energéticas realizadas nas ETEs na Alemanha demonstraram potenciais de aumento da eficiência energética, o que nos leva a acreditar em um grande potencial de otimização energética das ETEs no Brasil, onde a análise de eficiência energética não é aplicada com frequência.

A norma DWA 216 apresenta um levantamento estatístico realizado nas ETEs da Alemanha, sendo que para as ETEs brasileiras, os tipos de tratamento e condições mudam e, portanto, o consumo é diferente e assim o valor meta também. Os dados levantados nas ETEs medidas foram importantes para iniciar a discussão sobre qual seria o perfil de consumo energético e o valor meta para

as diferentes ETEs brasileiras. Torna-se necessária a criação de um banco de dados nacional contendo indicadores específicos levando em consideração os tamanhos das ETEs, os tipos de tratamento e pós-tratamento de esgotos. Assim, serão estabelecidos dados suficientes para estipular os valores de consumo ideal de estações com configurações (tratamento) similares.

O guia técnico de aproveitamento energético de biogás de ETEs foi elaborado ao longo de quase dois anos de discussões do GT, composto por seis prestadoras de saneamento (SANASA, SANEPAR, SeMAE Rio Preto, CAESB, SABESP e COPASA), academia (UFMG), consultoria (Rotária do Brasil), GIZ e Ministério das Cidades, totalizando dezoito pessoas. O Guia foi publicado oficialmente no 27º Congresso da ABES, em outubro de 2015, servindo como referência nacional sobre o aproveitamento energético de biogás de ETEs, apresentando as tecnologias de produção e uso de biogás, diretrizes de projeto e operação, sistemas de tratamento de biogás e aspectos de segurança das plantas de biogás.

4.2.2. Projeto Nacional de Medição de Biogás em Reatores Anaeróbios

O projeto nacional de medição de biogás em reatores anaeróbios representa um grande legado do PROBIOGÁS no que tange ao desenvolvimento de pesquisa em escala real, resultando na disseminação de informação e no avanço de conhecimento sobre a produção de biogás em reatores anaeróbios do tipo UASB ou RALF.

Essa iniciativa foi motivada pela incerteza que se tinha sobre a produção real de biogás nesses reatores, que até então se mostrava bastante aquém das estimativas teóricas. Conforme mencionado anteriormente, não foi realizada pesquisa aplicada em digestores anaeróbios de lodo, pelos mesmos serem uma tecnologia consolidada para a produção e uso energético de biogás.

Ao todo, dez ETEs receberam equipamentos de medição de vazão de esgoto e biogás, composição do biogás e sonda de DQO, visando o acompanhamento remoto das medições por um período de um ano, que se estendeu para quase dois.

O processo de escolha das ETEs levou em consideração: a) as condições da ETE; b) os reatores anaeróbios utilizados; e c) as condições para instalações dos equipamentos de medição.

Na Figura 24 pode ser observada as principais etapas do projeto de medição. Cabral (2016) descreve detalhadamente as etapas e o principais resultados encontrados em algumas ETEs.

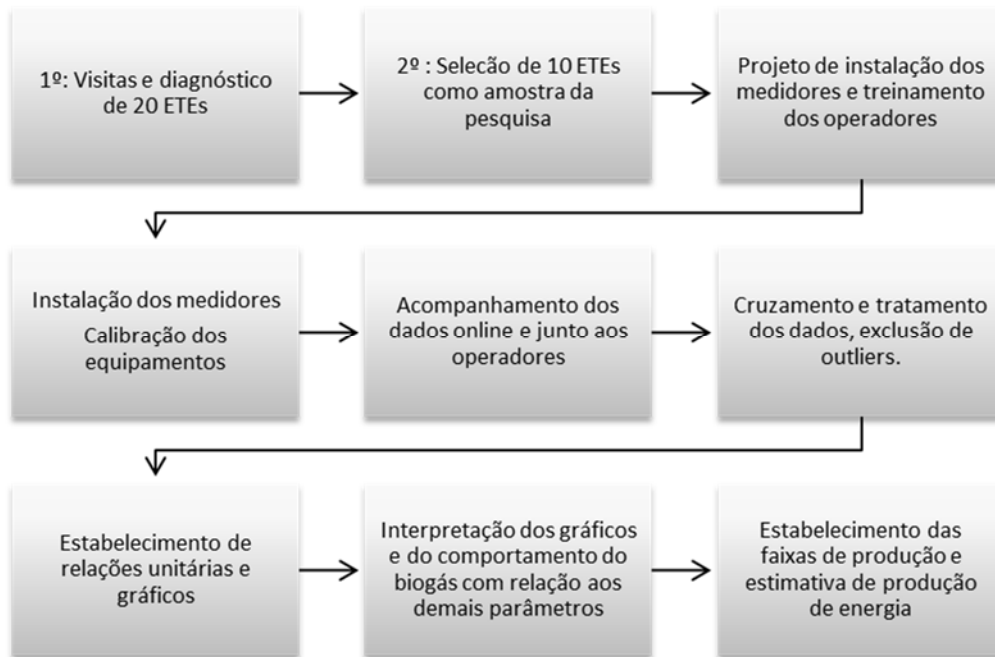


Figura 24 - Fluxograma das principais etapas do projeto de medição de biogás em reatores anaeróbios.

Fonte: Relatório Interno do Projeto de Medição.

Na Figura 25 pode ser observada a localização das dez ETEs selecionadas, buscando alcançar uma ampla diversidade de modelo de gestão, condições climáticas, aspectos construtivos e contemplar diferentes regiões do Brasil. Ao todo, participaram do projeto nove prestadoras de serviço de saneamento, incluindo autarquia, estadual e concessão privada.

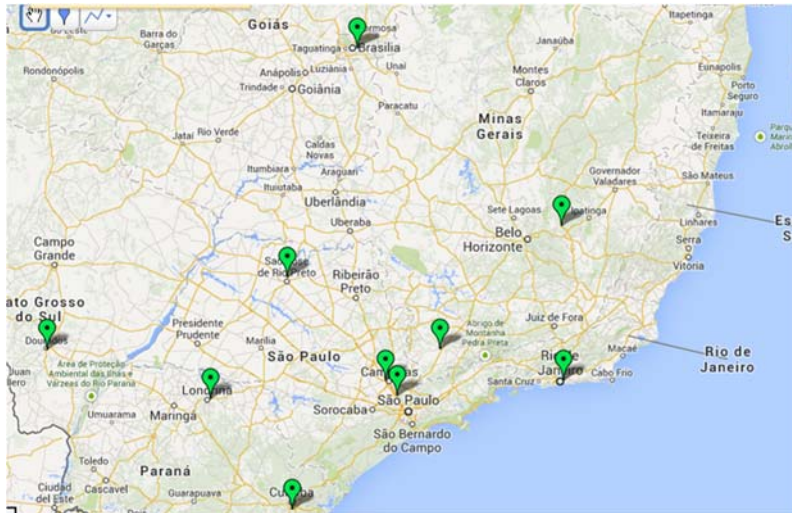


Figura 25 - Mapa com as ETE participantes no projeto de medição.
Fonte: Relatório Interno do Projeto de Medição.

O que se esperava ao final do projeto era a determinação de diversas relações unitárias de produção de biogás, tais quais:

- NL biogás/kg DQO removida
- NL biogás/m³ esgoto tratado
- NL biogás/hab.d
- NL CH₄/kg DQO removida
- NL CH₄/m³ esgoto tratado
- NL CH₄/hab.d

O Projeto de medição resultou em dois grandes impactos fundamentais:

1. Desenvolvimento de massa crítica e capacitação de pessoal
2. Desenvolvimento de referências técnicas e de informações para o setor

Com relação à capacitação de pessoal, mais de trinta pessoas foram capacitadas diretamente e participaram ativamente do projeto, além das pessoas que, de forma indireta, participaram das discussões e em painéis técnicos, ultrapassando quatrocentas. Outro impacto notório é a consolidação de um Grupo de Trabalho, que propicia uma interação direta e sinérgica entre as prestadoras de serviço.

Com relação as referências técnicas, foram produzidos alguns relatórios, são eles: relatório interno por companhia participante; relatório interno de análise conjunta dos dados; a dissertação de mestrado de Carolina Cabral e o produto final “Relatório do projeto de medição de biogás em reatores anaeróbios”, do

PROBIOGÁS. Todas as informações técnicas sobre a pesquisa e seus resultados estão disponíveis nas duas últimas publicações supracitadas.

Além das publicações supracitadas, diversas pesquisas foram iniciadas a partir das indagações do projeto de medições. Na Tabela 15 podem ser observados os temas de pesquisa e as instituições envolvidas.

Tabela 15 - Pesquisas e publicações durante o projeto de medição de biogás em ETEs.

Pesquisa	Produto Relacionado	Instituição
Avaliação do biogás gerado no tratamento de esgoto sanitário em reatores UASB/RALF	Dissertação de Mestrado	UFSC e Rotária do Brasil
Avaliação do Biogás produzido em reatores UASB em termos de concentração de H ₂ S para fins de aproveitamento energético	TCC	UFSC e Rotária do Brasil
Influência da Chuva na produção de Biogás na ETE Padilha Sul	Dissertação de Mestrado	Universidade de Rostock, Alemanha e Rotária do Brasil/Sanepar
Continuação de trabalho da Cabral (2016) com enfoque na DQO	Dissertação de Mestrado	Universidade Ostfalia de Suderburg, Alemanha e Rotária do Brasil
Análise do Potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no reator UASB da Estação de Tratamento de Esgoto de Várzea Paulista	TCC	UNIANCHIETA
Aplicação da metodologia da múltipla extração 'headspace' para análise de metano dissolvido em efluente de reatores UASB	Artigo	Encontro Técnico da AESABESP/ago 2015

Projeto Probiogás e a participação da Sabesp	Artigo apresentado em 2015 no 26°. Encontro Técnico AESABESP (Associação de Engenheiros da Sabesp)	SABESP
Comparação entre medidores de vazão de biogás: dispersão térmica x vórtex	Relatório técnico	Sanepar/Magnetrol
Verificação e análise energética na ETE Padilha Sul	Relatório técnico	Sanepar/GIZ/Dahlem/Vetorlog
Caracterização de esgotos sanitários e modelos de correlação entre parâmetros de esgoto e produção de biogás (avaliação do desempenho operacional da sonda de DQO)	Tese de doutorado	Sanepar/UFPR
Análise da viabilidade econômica e financeira sobre a recuperação de biogás no meio líquido no Brasil	Relatório técnico	Sanepar; KfW; Netra; Methanum; UFMG
Avaliação em escala piloto da recuperação de biogás do meio líquido	Relatório técnico	Sanepar; Dimer; Universidade de Hamburgo
Balço de massa e de energia na ETE Padilha Sul	Dissertação de Mestrado	Sanepar; UFPR
Análise de ciclo de vida associado com o manejo do biogás e do lodo	Tese de Doutorado	Sanepar; UFPR
Influência de fatores operacionais na produção de biogás	Tese de Doutorado	Sanepar; UTFPR

Fonte: Elaboração própria.

Além disso, foram promovidos painéis de discussão em grandes eventos do setor, como o encontro técnico AESABESP, a Assembleia Nacional da ASSEMAE, Seminário Nacional da AESBE, Diálogos Técnicos no Ministério das Cidades dentre outros eventos.

Além dos impactos positivos notórios do projeto de medições, muito se aprendeu com seus desafios, que necessitam ser apresentados para reflexões do setor. Os mesmos podem ser sumarizados em quatro grupos: desafios técnicos, logísticos, de modelos de gestão das estações e desafios gerenciais.

Desafios técnicos

Cabral (2016) retrata várias dificuldades a nível operacional que o projeto de medições enfrentou: desde falha dos equipamentos, problemas com manutenção, dificuldade na obtenção de dados confiáveis por um longo período de tempo etc. O que merece ressaltar relativo a questões técnicas é a falta de uma rotina operacional mais ativa e exigente na estação, pois a operação e manutenção de equipamentos de medição de biogás exigem uma supervisão constante, um suporte laboratorial mais frequente, conhecimento e motivação técnica.

O sucesso de algumas medições foi mérito exclusivo dos operadores dedicados aos equipamentos e as rotinas operacionais demandadas. Contudo, muitas ETEs contavam com pouca mão de obra técnica especializada e com tempo para participar ativamente dessa operação. A capacidade e o tempo de resposta muitas vezes foram mais longos do que o tamanho do problema a ser solucionado.

Outro problema enfrentado foi a volatilidade de alguns operadores, que quando qualificados saíam da área ou se aposentavam.

Sob esta ótica observa-se ainda uma necessidade urgente de se renovar a mão de obra especializada nas estações e acima de tudo, qualificação e valorização profissional, para que o operador se sinta motivado a crescer e ser mais eficiente dentro de suas atividades.

No momento, o tema biogás ainda é visto como mais uma demanda operacional desgastante, em meio a várias outras atividades prioritárias na estação.

Outro aspecto técnico relevante foi a importação dos equipamentos de medição. Esse processo foi bastante demorado e oneroso, e por não existir uma manutenção nacional, gera uma insegurança quanto a vida útil dos mesmos, além dos custos associados à dependência internacional.

Desafios Logísticos

Observando-se o projeto de forma sistêmica, a opção por englobar diversas prestadoras em diferentes estados foi um grande desafio para a condução do mesmo.

Somado a essa escolha, a importação dos equipamentos de medição da Alemanha e Áustria, dificuldades com a alfândega, distribuição, instalação e reparação dos equipamentos em longas distâncias gerou imenso trabalho e dificuldades na coordenação e andamento do projeto.

O projeto teve uma grandiosa intenção, e que muitas vezes foi atrapalhado pela dificuldade em coordená-lo agilmente em vista desses entraves logísticos. A calibração do equipamento de composição de biogás foi um grande exemplo dessa dificuldade, onde foram necessários serem percorridos mais de 1600 km de carro para realizar a calibração nas ETEs, visto que o equipamento não podia ser transportado por via aérea.

Desafios do modelo de gestão

O projeto contou com a participação de diferentes arranjos institucionais de prestação de serviço: autarquia, ou seja, gestão e operação dos serviços diretamente pelo poder municipal; prestadoras estaduais, por meio de concessão municipal para prestação desses serviços; privada, por meio de concessão municipal; e, terceirização da operação a partir de um subcontrato de concessão.

Esses diversos modelos de gestão demonstraram diferentes tempo de resposta e eficiência na condução do projeto de medição. Por mais que algumas prestadoras tivessem seus funcionários engajados e ativos na condução do projeto, muitas vezes o modelo de gestão não propiciou um tempo de resposta eficiente, o que atrasou e também desmotivou alguns participantes.

Como exemplo clássico foi um problema ocorrido com pequenas bombas responsáveis pelo bombeamento do esgoto para o sistema de medição de DQO, que em praticamente todas as estações queimaram. O que se observou foram tempos de troca que variavam de uma semana até três meses, para a aquisição e instalação de uma nova.

O fato concreto é: o aproveitamento energético de biogás significa um custo de investimento maior na ETE, visando uma redução dos custos operacionais e retorno de investimento a médio prazo. Cada manutenção e falha no sistema, significa perda financeira. Se não há um modelo de gestão que propicie uma resposta eficiente à operação desses sistemas, as paradas constantes podem representar sua inviabilidade. No âmbito do projeto de medição, foram apenas equipamentos de medição e o foco foi na produção de biogás, não da produção de energia. Mas, nesta fase pode-se constatar que soluções de modelo de gestão precisam ser taralhadas para uma operação bem-sucedida de uma planta de aproveitamento energético de biogás numa estação.

Desafios político-gerenciais

O tema biogás em ETEs ainda não está na pauta dos gestores de companhias de saneamento. Por mais que o PROBIOGÁS tenha atuado intensamente na desmistificação do assunto no setor de saneamento, com as atuais deficiências na gestão, o assunto ainda não é visto como estratégico. Pode-se começar observando onde foi alocada a coordenação do projeto de medições nas prestadoras: em gerência de operação e tratamento de esgotos, gerência de eficiência energética, em gerência de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Existem prestadoras que não tem uma área específica para desenvolvimento de pesquisa aplicada, nem recursos financeiros para tal. Outras, que não veem o tema pesquisa aplicada como relevante em sua gestão estratégica. Em alguns casos, por mais que a companhia tenha atuado proativamente na condução do projeto, o assunto não assumiu uma importância na alta diretoria, mesmo apresentando ótimos resultados.

O desafio da quebra de paradigmas no setor ainda permanece como o marco para a consolidação do aproveitamento energético de biogás de ETEs. A vontade política para assumir riscos e inovar é o diferencial necessário para que mais projetos de aproveitamento energético de biogás se estabeleçam no setor.

A implementação da vontade política deve ser sustentada por um corpo técnico qualificado e motivado a desenvolver os negócios da empresa. Logo, é imprescindível que uma escolha política seja articulada com pareceres técnicos e incentivo a mudança de patamar da prestação do serviço de tratamento de esgotos.

Ao longo do projeto ocorreram casos que o nível operativo não teve suporte da gerência para conduzir o projeto com eficiência, mas também ocorreram fatos de grandiosos projetos de biogás surgirem sem o parecer técnico dos especialistas no assunto da empresa. Isso mostra claramente uma

desarticulação gerencial, o que interfere diretamente no avanço do uso energético do biogás em ETEs.

4.2.3. Apoio a projetos de referência

Ao longo do PROBIOGÁS, a aproximação com as prestadoras de saneamento gerou uma oportunidade de troca de conhecimento e da possibilidade de suporte técnico para o avanço de alguns projetos de biogás de ETEs.

Para os projetos que estavam em andamento, o PROBIOGÁS realizou parcerias junto com algumas empresas, visando fortalecer a cooperação técnica. De forma geral, essa cooperação foi ratificada por meio da celebração de Memorando de Entendimento junto às devidas instituições. Por parte do PROBIOGÁS, cabia um suporte técnico de consultoria e a disseminação de conhecimento por meio de capacitações, eventos e visitas técnicas. Pela parte das empresas, normalmente estava a contrapartida financeira no próprio projeto, a participação ativa de profissionais, a realização de eventos e de publicações que pudessem ser compartilhadas com todo o setor.

Nesse contexto, vale ressaltar a parceria com as seguintes instituições:

1. Semae São José do Rio Preto
2. Sanepar
3. Coelba

Cooperação com o Semae Rio Preto

O serviço municipal autônomo de água e esgoto de São José do Rio Preto é uma autarquia municipal responsável pelo serviço de abastecimento de água, coleta e tratamento dos esgotos domésticos do município de São José do Rio preto, em São Paulo.

Desde a entrada em operação da ETE Rio Preto, em 2010, realizaram-se estudos visando melhorar a eficiência energética da planta, em especial aumentando a segurança do fornecimento de energia no local. Esses estudos culminaram na proposta de uma Unidade de Recuperação de Energia (URE) utilizando o biogás produzido nos reatores anaeróbios e demais resíduos provenientes da digestão anaeróbia, visando a autossuficiência energética da ETE Rio Preto, assim como, atendendo na plenitude a legislação referente à destinação final dos rejeitos por ela produzidos.

Como principais objetivos da cooperação com o SeMAE assinada em 2013, buscou-se a capacitação de técnicos e gestores da companhia, além da realização de estudos técnicos no âmbito do aproveitamento energético de biogás.

O processo de tratamento da ETE Rio Preto consiste da associação de dois tipos de tratamentos: o anaeróbio e o aeróbio. O sistema de tratamento anaeróbio é formado por reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* ou RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) que utilizam de bactérias anaeróbias para a degradação da matéria orgânica. Já o sistema aeróbio é composto de tanques de aeração associados à decantadores secundários e estações elevatórias de recirculação de lodo, sendo que esse tipo de sistema se utiliza da ação das bactérias aeróbias para realizar a degradação da matéria orgânica resultante do efluente dos reatores UASB.

Os principais motivadores para o desenvolvimento da URE foram:

1. Interrupções de energia elétrica que causaram diversas paralisações na ETE
2. Custos operacionais com a energia elétrica aumentaram significativamente
3. Aumento dos custos operacionais com a disposição final de lodo
4. Política nacional de resíduos sólidos, trazendo a necessidade de tratar previamente o lodo, antes do envio ao aterro.

O caso em estudo consistia na utilização como fonte de geração de energia elétrica o biogás, o lodo digerido proveniente da fase sólida do tratamento de esgotos, produzido nos reatores UASB e a biomassa proveniente do manejo integrado de resíduos sólidos do município. Complementarmente, o calor gerado nas máquinas térmicas deveria ser aproveitado como fonte de energia para o desaguamento complementar do lodo desaguado pelos centrífuga e pela estufa agrícola.

O PROBIOGÁS realizou o suporte técnico das seguintes formas:

1. Suporte técnico no processo licitatório: desenvolvimento de uma ferramenta e elaboração de critérios de suporte de análise técnica e preço para a licitação; suporte na preparação do termo de referência para a licitação; acompanhamento no processo licitatório e relatório final contendo uma análise técnica de até 4 propostas.
2. Estudo energético da ETE: realização dos balanços de massa e energia; recomendações para melhorias e otimização; Aplicação da norma DWA A-215 sobre análise e verificação energética.

Ao longo da realização dos estudos técnicos, ocorreram alguns imprevistos gerenciais, que impediram que a licitação ocorresse. Com isso, parte dos estudos propostos não foram concluídos.

Por uma decisão política, foi alterado o escopo da URE para um projeto mais simples, considerando apenas a cogeração de energia e o secador solar de lodo. De todo o modo, até o momento o projeto não teve continuidade.

Alguns dos principais desafios observados por profissionais da companhia foram:

- Influências relacionadas a prioridades da alta administração;
- Mudanças nos cargos políticas influenciaram na continuidade do projeto;
- Capacidade técnica e estrutura incompatível com as necessidades de um projeto de cogeração com biogás;
- Interferência da crise econômica e déficit do governo nos financiamentos e fundos;
- Com relação aos avanços ocorridos ao longo desses quatro anos, foram destacados:
 - Maior massa crítica e conhecimento sobre biogás de ETEs;
 - Melhoria do mercado de equipamentos no Brasil;
 - A visão mais consolidada do biogás como fonte alternativa de energia importante no contexto de tratamento de esgotos.

Cooperação com a Sanepar

A Sanepar é uma das maiores empresas de saneamento do Brasil, atendendo mais de 7 milhões de pessoas com serviços de coleta e tratamento de esgoto e gerenciando mais de 215 estações de tratamento de esgoto (ETEs) doméstico distribuídas no Estado do Paraná que utilizam a tecnologia de digestão anaeróbia e que, conseqüentemente, geram rotineiramente como subproduto o biogás. Ressalta-se, também, que a empresa recentemente integrou uma sociedade de propósito específico, a CSBioenergia, um projeto inovador de codigestão de lodos com resíduos orgânicos.

Adicionalmente, a partir da cooperação Brasil-Alemanha, a Sanepar fechou um empréstimo da ordem em 50 milhões de euros com o banco alemão KfW, para investir em eficiência energética, mitigação de gases de efeito estufa e melhoria operacional em 10 ETEs, sendo 10 projetos e 8 obras. Essa iniciativa é intitulada como o Programa “Paraná Bem Tratado”.

Nos últimos anos, a empresa tem focado na melhoria de sua gestão de energia, visando a redução de custos operacionais e a minimização das emissões de gases de efeito estufa em seus processos. Como o biogás proveniente de suas ETEs pode ser utilizado como fonte alternativa e renovável de energia, uma das premissas para a promoção de uma economia de baixo carbono e para o desenvolvimento sustentável; como as bases conceituais e práticas associadas com o uso energético do biogás estão bem consolidadas na Alemanha; e, como a realização de projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de biogás estão alinhados com diretrizes estratégicas da empresa, a Sanepar decidiu participar ativamente das atividades do PROBIOGÁS.

Ambas instituições celebraram um Memorando de Entendimento, ratificando serem favoráveis a integração de esforços, a troca de experiências e ao intercâmbio de conhecimentos técnicos e científicos mediante realização de atividades de difusão de conhecimento, pesquisa e extensão nas áreas de eficiência energética no tratamento de esgoto, de melhorias operacionais voltadas para a otimização da produção de biogás e de aproveitamento energético de biogás em ETEs.

Ao longo desses quatro anos de cooperação, foram desenvolvidas diversas atividades de suma importância para o desenvolvimento de capacidades, de projetos e de referências técnicas para o setor. A Tabela 16 sumariza algumas ações, e seus respectivos resultados em ETEs específicas, visando o apoio direto a projetos de referência.

Tabela 16 - Atividades e resultados da cooperação do PROBIOGÁS com a Sanepar.

Ação	Resultados
Participação no Projeto nacional de medição de produção de biogás em reatores anaeróbios.	- Sistemas para medição de biogás em tempo real nas ETEs Padilha Sul – Curitiba e Norte – Londrina. - Banco de dados sobre medições de biogás em ETEs. - Especificações técnicas de equipamentos para medições de biogás em ETEs.
Estudo, projeto e implantação da readequação da conexão de microgeração distribuída da ETE Ouro Verde para atendimento da NTC 905200.	- Projeto de referência sobre microgeração de energia elétrica a partir da recuperação do biogás de ETEs (primeira ETE do Brasil a aderir ao sistema de compensação de energia elétrica preconizado pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012).
Monitoramento online e detalhado do consumo de	- Projeto de referência sobre monitoramento <i>on-line</i> de energia elétrica em ETEs.

energia elétrica da ETE Padilha Sul.	- Verificação energética da ETE Padilha Sul. - Elementos para elaboração de termo de referência para contratação de serviços de monitoramento <i>on-line</i> de energia elétrica em unidades consumidoras da Sanepar.
Otimização energética da ETE Padilha Sul, de acordo com a Norma DWA 216 e considerando o uso energético de biogás.	- Relatório técnico contendo a análise energética da ETE Padilha Sul e ações para efficientização da planta. - Relatório técnico contendo estudo de alternativas para uso energético do biogás da ETE Padilha Sul.

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessas atividades, foram gerados alguns materiais técnicos de referência, dentre eles o guia técnico de sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em estações de tratamento de esgoto, que será apresentado no próximo item. O diferencial deste produto é que o mesmo apresenta o processo de conexão da ETE Ouro Verde ao sistema de compensação de *netmetering*, da Resolução Normativa ANEEL nº 482/12, sendo a primeira ETE do país a realizar tal conexão. Esse produto servirá de suporte para outras ETEs que desejam se conectar ao sistema elétrico nesta modalidade.



Figura 26 (a) - Reator anaeróbio seguido pelo gasômetro e o motogerador (dentro da casa).

Figura 26 (b) - Grupo motogerador de energia elétrica movido a biogás instalado na ETE Ouro Verde.

Fonte: Arquivos internos PROBIOGÁS.

Cooperação com a COELBA

A companhia de eletricidade do estado da Bahia – COELBA, celebrou com a GIZ em 2012, um convênio com o objetivo de conjugar esforços para realizar o projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado “Arranjos técnicos e comerciais

de geração de energia a partir do biogás proveniente de reatores anaeróbios de estações de tratamento de esgoto“.

Esse projeto faz parte do contrato de concessão da COELBA junto a ANEEL que prevê a aplicação de parte da receita operacional líquida das distribuidoras de energia elétrica no Programa de Pesquisa e Desenvolvimento, além de fomentar a geração de energia elétrica e partir de fontes renováveis, e no caso desse projeto, algo inovador para o setor de saneamento. A ETE escolhida pertence a EMBASA, e fica localizada em Feira de Santana, na Bahia.

A GIZ, por meio do projeto PROBIOGÁS, disponibilizou consultoria técnica para apoiar na concepção do projeto, apoiar na análise de dados e do potencial de regionalização das tecnologias empregadas, e apoiou na divulgação dos resultados obtidos. Foram cerca de 200 mil reais em consultoria para dar o suporte técnico necessário para melhoria dos reatores anaeróbios existentes, determinação da viabilidade técnico-econômica do projeto e capacitação de pessoal. Toda a energia produzida a partir do biogás será utilizada para suprir o consumo de eletricidade da estação de tratamento, representando uma redução do gasto com energia de R\$ 26 mil para R\$ 5 mil por mês.

O investimento total foi da ordem de R\$ 4,6 milhões, sendo que R\$ 3,6 milhões são provenientes do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Coelba, aprovado pela Aneel, agência reguladora do setor elétrico, e R\$ 840 mil são recursos próprios da Embasa, e R\$ 200 mil da Agência de Cooperação Alemã – GIZ.

Como todo projeto de pesquisa aplicada, houveram bastantes desafios relacionados a tecnologia dos reatores anaeróbios, que não foram construídos visando a produção de biogás. Maiores detalhes foram apresentados no item 4.2.1. O projeto tem potencial de indicar soluções para estações de tratamento de esgoto a partir de 100 mil habitantes que utilizam a tecnologia anaeróbia para tratamento de esgotos.



Figura 27 (a) - Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente – DAFA da ETE Jacuípe II em Feira de Santana – BA.

Figura 27 (b) - Vista do contêiner com o motogerador (a esquerda) e do gasômetro (a direita) da ETE Jacuípe II, em Feira de Santana -BA.

Fonte: Arquivos internos PROBIOGÁS.

4.2.4.

Publicações complementares relacionadas às barreiras do setor

Conforme já mencionado, muitos estudos foram produzidos ao longo do projeto de cooperação, visando sanar barreiras do setor, tanto técnicas quanto de informações.

Para resumir e compilar todas as publicações sobre o tema esgotos, apresenta-se a Tabela 17, com o nome da publicação e um resumo de seu conteúdo.

Tabela 17 - Publicações do PROBIOGÁS sobre biogás de ETES.

Publicações do PROBIOGÁS sobre biogás de ETES	Conteúdo
Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto	Fornece diretrizes para a concepção e elaboração de projetos de aproveitamento energético de biogás em ETES no Brasil. O conteúdo abrange desde as tecnologias de produção de biogás em ETES, caracterização, armazenamento e tratamento do biogás, até sua utilização energética, além das questões de segurança operacional pertinentes.

Viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs a partir do Biogás	Analisa, do ponto de vista técnico-econômico, a viabilidade do uso do biogás gerado em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) para fins de produção de energia elétrica para uma população de 100 mil habitantes, servindo como orientação para o setor de saneamento e contribuindo tanto com o avanço tecnológico quanto com a busca pela sustentabilidade na prestação desse serviço.
Recomendações para a licitação de uma usina de biogás em ETE e exemplos de especificações técnicas	Apresenta recomendações e exemplos de especificações técnicas que devem ser consideradas na elaboração de projetos de aproveitamento energético de biogás de ETEs, visando a redução dos riscos de sua implementação. Este estudo é uma complementação ao “Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento”.
Guia Técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em estações de tratamento de esgoto	Informa e orienta sobre a conexão de ETEs como micro e minigeradores ao sistema de distribuição, por meio da Resolução 482/12 da ANEEL, que dispõe sobre o netmetering. Além da descrição do passo a passo para conexão ao sistema de compensação, suas vantagens e desvantagens, é apresentado o estudo de caso da ETE Ouro Verde (Sanepar).
Resumo Técnico do 4ºWorkshop internacional sobre aproveitamento energético de biogás de ETEs	Compila o conteúdo técnico do evento, resumindo as apresentações e discussões sobre a produção de

	biogás em reatores UASB e sobre o uso energético do biogás.
Relatório dos resultados do projeto nacional de medição de biogás em reatores UASB	Apresenta os resultados do monitoramento e medição de biogás em dez reatores anaeróbios em diferentes regiões do Brasil. A pesquisa em escala real discute o verdadeiro potencial combustível desses reatores e formas para maximizar a sua produção. Os resultados apresentados servem como referência para uma melhor análise da viabilidade do uso energético do biogás produzido.
Grade Curricular para operação de ETEs com biogás	Material de base pedagógica que apresenta os macros conteúdos necessários, sistematizados em nove módulos, para que os capacitados adquiram as habilidades mapeadas para a operação de ETEs com aproveitamento energético de biogás. Apresenta um levantamento do perfil dos participantes e estrutura os módulos propostos em: objetivos gerais e específicos, mensagens chave, pré-requisitos, carga horária estimada e materiais e recursos pedagógicos.

Fonte: Elaboração própria.

Todas essas publicações são frutos de parcerias com atores relevantes do setor, tendo sido cuidadosamente trabalhadas no contexto nacional.

Como foram desenvolvidas muitas publicações em um curto espaço de tempo, existe uma grande oportunidade da utilização das mesmas para capacitações e discussões mais aprofundadas, após o término do projeto de cooperação.

Todo material está disponível virtualmente de forma gratuita na plataforma do Ministério das Cidades: www.cidades.gov.br/PROBIOGÁS.

4.3. Desenvolvimento de Capacidades e Treinamentos

4.3.1. Capacitação do Ministério das Cidades e Caixa Econômica Federal

Uma capacitação voltada para os (1) Tomadores de decisão, Gestores e Políticos que merece destaque foi o treinamento realizado para o Ministério das Cidades (MCID) e para a Caixa Econômica Federal (Caixa), denominado como “Requisitos e desafios para a análise técnica e financeira de projetos de biogás no setor de saneamento”, englobando os setores de tratamento de esgotos e gestão de resíduos sólidos.

A relevância desse treinamento deve-se ao fato do Ministério das Cidades e da Caixa serem as instituições responsáveis pela análise e aprovação dos projetos de esgotamento sanitário, no âmbito do Programa Saneamento para Todos. Esse programa faz parte do PAC e foi o responsável pela maior parte das obras financiadas nas melhores condições financeiras e pelo orçamento geral da união, ou seja, a fundo perdido.

Em vista disso, ambas instituições são consideradas chave para serem qualificadas a darem suporte e para se sentirem mais seguras na análise de projetos de biogás.

Os principais objetivos dessa capacitação foram: ampliar a capacidade dos analistas do MCID e Caixa na análise técnica e financeira de projetos de tratamento de resíduos e esgotos com aproveitamento energético de biogás; promover o intercâmbio permanente de informações e o aprendizado mútuo entre os analistas da Caixa e do MCID no tocante a projetos de Biogás; e, contribuir para identificar as necessidades e possibilidades de adequação e aprimoramento dos critérios e instrumentos normativos para os processos de seleção e financiamento de projetos de aproveitamento de biogás.

Como estratégia formativa, o curso foi composto por 3 módulos e 1 *workshop* final, em duas etapas, com atividades de Ensino à Distância (EaD) vinculadas à aplicação prática e identificação de problemas/situações específicas a serem debatidas entre as etapas. Na Tabela 18 pode ser observado o escopo da capacitação.

Tabela 18 - Etapas do processo de capacitação do MCID e da Caixa.

Número de Dias	Conteúdo
3	I. Introdução ao Biogás e aspectos técnicos do seu uso em RSU e ETEs - Introdução ao Biogás - Aspectos técnicos do biogás no tratamento de RSU - Aspectos técnicos do biogás de ETEs
Ao longo de 2 meses	II. Atividades à distância - Exercício de análise de aspectos de projeto com retomada dos principais pontos da formação
2	III. Análise técnica e financeira de projeto de biogás de RSU
2	IV. Análise técnica e financeira de projeto de biogás de ETEs
1	V. Workshop Final - Aprendizados e recomendações para o aperfeiçoamento de projetos e instrumentos normativos - Avaliação do programa de capacitação

Fonte: Elaboração própria.

O curso contou com a participação de 25 profissionais de ambas instituições. O primeiro módulo foi realizado em agosto de 2015 e o segundo, em outubro do mesmo ano. O *workshop* final foi realizado em dezembro de 2015, trazendo especialistas externos no assunto para compartilhar suas experiências práticas. O diferencial deste curso foi seu caráter totalmente voltado para a demanda de conhecimento das instituições, focado na análise de projetos reais. A partir dessa capacitação, os profissionais passaram a se sentir mais confiantes na análise de projetos de biogás do setor de saneamento.



Figura 28 - Treinamento do módulo I sobre o tema introdução ao biogás e aspectos técnicos do seu uso para o MCID e Caixa.

Fonte: Arquivos internos PROBIOGÁS

4.3.2. Treinamento de multiplicadores

Uma outra capacitação de grande relevância para os grupos de profissionais com nível superior (grupo 2) e profissionais com nível técnico ou inferior, com experiência na área (grupo 3), foi o treinamento de multiplicadores, estruturado com o objetivo de capacitar profissionais da academia especialistas em tratamento de esgoto, além de desenvolver uma grade curricular sobre a operação de plantas de biogás de ETEs. Para que a grade curricular atendesse a real demanda do setor de saneamento, prestadoras de serviços de saneamento também foram convidadas a participar da capacitação.

O processo de capacitação dos multiplicadores foi definido por um grupo de profissionais alemães e brasileiros, de forma a conciliar a experiência alemã nesse tipo de atividade e o conhecimento dos profissionais brasileiros sobre o setor de saneamento e os perfis dos atores envolvidos. Do lado alemão, a condução desse processo foi feita por profissionais da Associação Alemã para Águas, Efluentes e Resíduos (DWA), uma associação renomeada internacionalmente pelo seu trabalho de qualificação de pessoal, normatização e certificação de profissionais do setor de saneamento.

A formação foi, então, estruturada em 4 fases: (1) *workshop* introdutório; (2) treinamento teórico e prático; (3) *workshop* de *acompanhamento*; e (4) Treinamento piloto.

O *workshop* introdutório foi realizado na ETE de Ribeirão Preto, operada pela AMBIENT, que aproveita energeticamente o biogás gerado a partir da digestão anaeróbia do lodo, e teve como objetivo principal o nivelamento de informações sobre as questões operacionais de uma estação de tratamento de esgoto.

O treinamento teórico e prático, com duração de 3 semanas, foi realizado na Alemanha, nas cidades de Hamburg e Hennef, e contou com aulas em ETEs, laboratórios e centros da DWA. Tinha como objetivo a absorção de novos conhecimentos pelos participantes sobre o tratamento de esgoto e aproveitamento energético de biogás na teoria e prática além de aspectos didáticos e pedagógicos.

O *workshop* de *acompanhamento* foi realizado em Brasília/DF, com o objetivo de detalhar o conteúdo da grade curricular, que foi discutida na Alemanha, e preparar os participantes para o treinamento piloto, por meio da elaboração dos planos de aula.

Por fim, o treinamento piloto foi realizado no Rio de Janeiro, com duração de 5 dias, com o objetivo de colocar em práticas as metodologias aprendidas e trocar experiências com profissionais do setor. A Tabela 19 apresenta a carga horária e o local de cada uma dessas etapas.

Tabela 19 - Carga horária e local de cada etapa da formação de multiplicadores.

Etapa	Carga Horária	Local
<i>Workshop</i> introdutório	1 dia (8 horas)	Ribeirão Preto/SP
Treinamento teórico e prático	15 dias (120 horas)	Hamburg e Hennef/Alemanha
<i>Workshop</i> de <i>acompanhamento</i>	2 dias (16 horas)	Brasília/DF
Treinamento Piloto	5 dias (40 horas)	Rio de Janeiro/RJ

Fonte: Elaboração própria.

As instituições selecionadas para participarem do treinamento estão listadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Instituições selecionadas a participar do processo de capacitação de multiplicadores.

Setor	Instituição	Número de participantes
Academia	CTGÁS-ER	1
	FESPSP	1
	IFB	3
	SENAI-ES	1
	SENAI-PR	1
	SENAI-RS	1
	SENAI-SC	1
	SENAI-SP	1
Saneamento	Ambient	1
	EMBASA	2
	SANASA	1
	SeMAE SJRP	1
Governo	Ministério das Cidades	1

Fonte: Elaboração própria.

Como resultado, o processo de treinamento de multiplicadores capacitou 16 profissionais que desenvolveram uma proposta de grade curricular para a

operação de ETEs com aproveitamento energético de biogás. Outro objetivo alcançado com o treinamento de multiplicadores foi a multiplicação do conhecimento aprendido através de um projeto de transferência, pré-requisito para a candidatura dos participantes. Dentre as propostas apresentadas, tinha-se como projetos a inclusão de disciplina sobre o tema em grande de cursos já existentes, o treinamento *in company* para colaboradores da mesma companhia e a realização de cursos específicos conforme demanda.

Na Tabela 21 pode ser observada as propostas de projetos de transferências pelas instituições participantes da capacitação.

Tabela 21 - Proposta de projeto de transferência apresentada pelas instituições.

Tipo	Instituição	Projeto de Transferência proposto
	Ambient	Treinamento com visita técnica na ETE
Treinamento de curta duração (<=40h)	EMBASA	Multiplicação interna
	MCID	Multiplicação interna
	SANASA	Multiplicação interna
	SeMAE	Multiplicação interna e curso para operadores de ETEs
	SENAI-PR	Capacitação de operadores da Sanepar
	SENAI-RS	Multiplicação interna, sensibilização e capacitação de operadores de ETEs
Inclusão de matérias e cursos na instituição	SENAI-SP	Inclusão de disciplinas em cursos existentes
	FESPSP	Multiplicação interna, inclusão de disciplinas em cursos existentes e criação de novos cursos
	IFB	Multiplicação interna, inclusão de disciplinas em cursos existentes e criação de novos cursos
	CTGÁS-ER	Multiplicação interna e criação de curso
	SENAI-ES	Multiplicação interna, inclusão de disciplinas em cursos existentes,

	criação de novos cursos e consultoria a empresas
SENAI-SC	Inclusão de disciplinas em cursos existentes e criação de novos cursos

Na Tabela 22 observa-se a proposta de grade curricular com os macroconteúdos necessários de serem abordados em um curso para desenvolver a capacidade de um operador de ETEs com aproveitamento energético de biogás, elaborado pelos multiplicadores. Esses macroconteúdos foram definidos em 9 módulos. Esses módulos e macroconteúdos podem ser divididos em 3 grandes blocos de conhecimentos: (1) Área de contextualização, na qual constam temas mais amplos e imprescindíveis para o entendimento das atividades desempenhadas pelo profissional do setor; (2) Área métodos e meios, que apresenta métodos, recursos, ferramentas e seus funcionamentos necessários para as atividades do profissional e; (3) Área fim, que contém os módulos, cujos temas são mais específicos.

O público alvo para essa grade foi avaliado como o de profissionais com experiência prática, o que traz a necessidade de um curso mais aplicado e que aproveite das experiências dos profissionais.

Tabela 22 - Módulos da grade curricular e seus respectivos macroconteúdos.

Módulo	Macroconteúdos
1. Sistemas de esgoto, processos de tratamento, geração e aproveitamento de biogás	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos de trabalho em equipe • Contextualização do saneamento no Brasil, organização do setor e marco regulatório • Contextualização do biogás na matriz energética • Noções sobre os processos de tratamento de esgoto • Noções sobre geração de gás no tratamento de esgoto e lodo • Noções da importância, perigos e impactos ambientais do biogás • Noções de geração de energia a partir do biogás
2. Controle de qualidade do tratamento de esgoto	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de unidades de medidas e conversões • Noções de química e microbiologia • Noções de análises físico-químicas e biológicas • Padrões de qualidade no tratamento de esgoto

Módulo	Macroconteúdos
	<ul style="list-style-type: none"> • Parâmetros de avaliação de desempenho e controle operacional • Redação técnica • Tipos de amostras e técnicas de amostragem • Noções de parâmetros de qualidade do biogás relacionados ao tratamento de esgoto
3. Instrumentos de medição e controle em ETEs	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos, métodos e equipamentos de medição • Noções básicas de ferramentas de informática • Apresentação de softwares supervisórios • Interpretação de resultados das medições • Redação técnica
4. Funcionamento e manutenção de componentes e equipamentos eletromecânicos	<ul style="list-style-type: none"> • Noções de termodinâmica • Equipamentos eletromecânicos do tratamento de esgoto e geração de energia • Tubulações, acessórios, flanges, isolamentos, bombas, válvulas e compressores • Práticas de manutenção preventiva, preditiva e corretiva • Noções de segurança em sistemas pressurizados e atmosferas explosivas
5. Produção e monitoramento de biogás em ETEs	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas de informática • Equipamentos e componentes do sistema e instrumentos de controle • Noções do processo anaeróbio e de geração de gás • Variáveis do processo de geração de gás e seu controle • Softwares supervisórios • Redação técnica • Fluxogramas dos processos
6. Aferição e calibração de sensores	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores e a importância de aferição e calibração • Noções de metrologia • Variáveis e métodos de aferição e calibração
7. Tratamento e uso final do biogás	<ul style="list-style-type: none"> • Composições do biogás e características dos diferentes gases • Diferentes usos do biogás e seus requisitos • Noções de processos de armazenamento e tratamento de gases • Instrumentos e equipamentos de medição • Softwares supervisórios e de automação
8. Manutenção e limpeza das unidades de biogás	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos e suas necessidades de limpeza e manutenção • Produtos químicos, agentes de desinfecção e seus usos • Noções básicas de processos mecânicos de limpeza e seus materiais • Ferramentas de manutenção e limpeza

Módulo	Macroconteúdos
9. Qualidade, segurança, meio ambiente e saúde – QSMS	<ul style="list-style-type: none"> • Vantagens da realização de manutenção e limpeza e consequências da não realização • Legislação e normas aplicáveis • Riscos e perigos no tratamento de esgoto e na produção de biogás • Procedimentos básicos de mitigação de riscos e perigos • Noções de aspectos e impactos ambientais • Atendimento a emergências ambientais • Noções de segurança operacional, EPIs e EPCs • Noções sobre procedimentos de primeiros socorros • Aspectos e padrões de qualidade do processo de tratamento de esgoto e de geração de energia



Figura 29 (a) - Treinamento dos multiplicadores na ETE em Hamburgo, da Hamburg Wasser.

Figura 29 (b) - Discussão da Grade Curricular entre os especialistas brasileiros e alemães. Fonte: Arquivos internos PROBIOGÁS.

Um processo de transferência de conhecimento que merece destaque foi o realizado pelo SENAI-PR em parceria com a prestadora de serviço de saneamento regional, a Sanepar. Foram realizadas 2 edições de um curso para operadores de ETEs com carga horária de 40 horas baseado na grade curricular desenvolvida.

Após o sucesso das turmas piloto, o PROBIOGÁS divulgou e discutiu seus resultados com a ABES⁸, visando disponibilizar esta capacitação a partir da associação. A oferta deste curso para a ABES foi apresentada em conjunto com uma pesquisa de interesse por capacitação realizada pelo Ministério das Cidades.

⁸ A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES é uma associação com fins não econômicos que reúne no seu corpo associativo cerca de 10.000 profissionais, sendo referência no setor de saneamento. A ABES tem como missão ser propulsora de atividades técnico-científicas, político-institucionais e de gestão que contribuam para o desenvolvimento do saneamento ambiental.

A pesquisa foi direcionada para prestadoras de saneamento que atendem uma população equivalente acima de 50 mil habitantes, em 55 municípios (31 prestadoras de saneamento). O resultado pode ser observado na Figura 30. Quatro das cinco regiões do país demonstraram interesse, majoritariamente nos estados da Bahia, no Distrito Federal, São Paulo e Paraná.

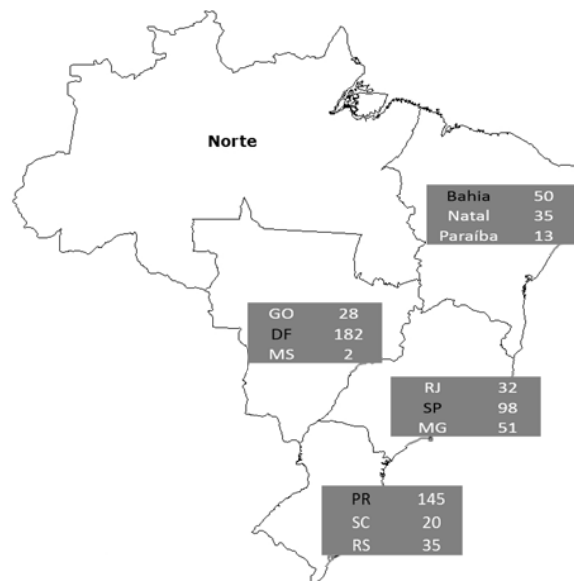


Figura 30 – Resultados da pesquisa de interesse por capacitação realizada pelo Ministério das Cidades.

Fonte: Elaboração própria.

A pesquisa de demanda por capacitação demonstrou que há interesse das prestadoras de serviços de saneamento no tema em questão e que há uma necessidade imediata de treinamento de, pelo menos, 691 profissionais do setor. Cabe destacar que a demanda identificada pode ser considerada conservadora, uma vez que no Brasil existem atualmente menos de uma dezena de ETEs que fazem o aproveitamento energético de biogás. Logo, não existe a figura de um operador de ETEs com aproveitamento energético de biogás estabelecida. Além disso, para consolidação dessa tecnologia, não somente os operadores devem ser capacitados, mas os gestores e projetistas, ampliando a demanda por capacitação quantificada.

Como resultado dessa articulação, a ABES realizou em novembro e dezembro de 2016 três cursos no estado do Paraná, em parceria com o SENAI-PR, atingindo mais 77 pessoas. Na Tabela 23, é apresentado o conteúdo do curso para operadores, que foi aplicado em parceria com a ABES-PR.

Após a avaliação do treinamento, observou-se que em média 97% das pessoas concordaram parcial ou plenamente de que é necessária uma capacitação específica para os trabalhadores das ETEs para atuarem em plantas de biogás.

Tabela 23 - Conteúdos abordados no projeto de transferência intitulado “Aproveitamento energético de biogás em ETEs” realizado pelo SENAI-PR com a Sanepar.

Dia	Conteúdo
1	Apresentação do curso; Cenário nacional energético e do saneamento; Premissas para o uso de biogás no setor de saneamento; Características físico-químicas do esgoto; Degradação aeróbia x anaeróbia; Fases da degradação anaeróbia (hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese).
2	Inibidores do metabolismo e da produção de biogás: pH, acidez, alcalinidade, Nitrogênio amoniacal, frações de enxofre, altura do manto de lodo, tempo de detenção e caminhos preferenciais; Características físico-químicas do biogás: CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, N ₂ , O ₂ , siloxanos, umidade. Produção de biogás em reatores UASB e digestores de lodo.
3	Tratamento do biogás: condensadores, lavadores de gás, filtros de carvão, filtros dessulfurizadores; Estratégias de monitoramento do processo em digestores de lodo e reatores UASB; Ações corretivas e preventivas para manutenção da produção eficiente de biogás em digestores de lodo e reatores UASB; Instrumentação e automação para biogás.
4	Segurança na operação das plantas de biogás: limite inferior e superior de explosão, mínimo de energia de ignição, atmosfera explosiva, risco de explosão, áreas classificadas, proteção contra explosão (sensores e equipamentos categorias 1, 2 e 3); Arranjos para aproveitamento energético: elétrico, térmico, cogeração, térmico e elétrico; Cálculos de produção de biogás, aproveitamento de energia elétrica e térmica (modelo matemático de Lobato 2011 e ProBio 1.0).

Geração de energia elétrica: motogeradores ciclo Otto, 5 microturbinas a gás, equipamentos necessários à sincronia com a rede elétrica; Geração de energia térmica: secadores de lodo (tambores rotativos e leitos fluidizados); Qualidade necessária aos materiais nas ETEs com aproveitamento de biogás: equipamentos, tubulações, estruturas, isolamento térmico e proteção contra corrosão; Pesquisas desenvolvidas pela Sanepar.

Fonte: Arquivos internos PROBIOGÁS.

A Figura 31 apresenta o desenvolvimento do processo de formação de multiplicadores, que deu origem a novas tipologias de cursos e formas de internalização de conhecimento.

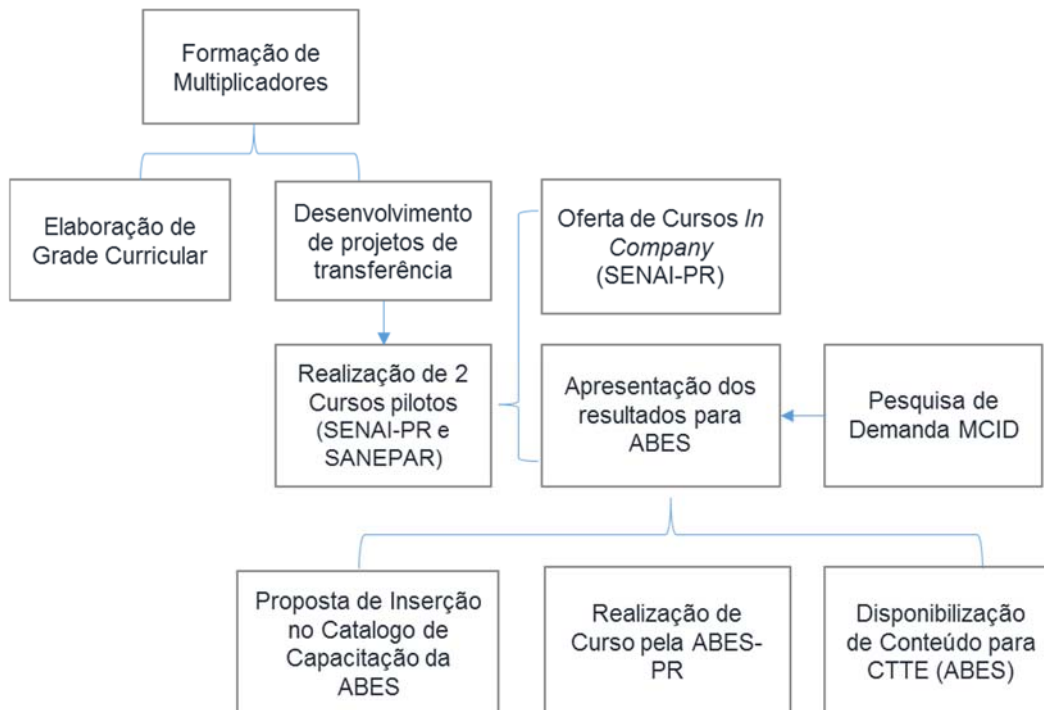


Figura 31 - Processo de desenvolvimento do curso para operadores.

Fonte: Elaboração própria.

Além da realização de cursos por meio da ABES-PR, a Câmara Temática de Tratamento de Esgotos da ABES – CTTE, está discutindo a inserção deste curso em seu Catálogos de Capacitação, visando padronizar sua oferta para todos os estados do Brasil (Figura 34). Para tal, todo conteúdo utilizado em capacitações no âmbito do PROBIOGÁS foi disponibilizado ao CTTE.

4.3.3. Curso para projetistas

O desenvolvimento de um curso voltado para a área de projetos de ETEs foi fruto de uma consultoria fornecida pelo banco alemão para desenvolvimento – KfW para a companhia estadual de saneamento do Paraná – Sanepar.

Nesse contexto, a consultoria DAHLEM foi contratada pelo KfW em dezembro de 2012 para dar um apoio técnico à Sanepar na formulação de um programa de saneamento, incluindo investimentos em eficiência energética no âmbito da “Iniciativa de Tecnologias Limpas do Governo Alemão (DKTI)”, que também deu origem ao PROBIOGÁS.

Para isso, consultores de DAHLEM participaram de diversas reuniões, entrevistas e visitas técnicas a instalações da Sanepar em Londrina e Maringá em dezembro de 2012, em trabalho conjunto com uma consultoria institucional, a qual também foi contratada pelo KfW para dar um apoio institucional no mesmo contexto. Foi produzido um relatório no início de 2013 onde foram resumidos potenciais técnicos e de investimento da Sanepar na linha do DKTI em relação às áreas de água, esgoto e lixo sólido. Um dos maiores potenciais identificados refere-se ao tratamento anaeróbico de esgoto e aproveitamento do biogás. Como continuidade deste trabalho, o banco KfW contratou a Consultoria DAHLEM em junho de 2013 para realizar um estudo mais detalhado sobre o tratamento de esgoto anaeróbico na região de Londrina e Maringá. Os objetivos desse estudo foram de investigar o potencial de melhoramento técnico dos reatores anaeróbios, incluindo também o tratamento preliminar e o potencial energético do biogás. Os resultados deste projeto foram sintetizados em um caderno de recomendações, entregue na última etapa. Foram previstas três fases durante este estudo:

- Fase 1: Análise
- Fase 2: Pré-tratamento e Regulação de Vazão
 - Novos Reatores
 - Reabilitação de Reatores Existentes
- Fase 3: Potencial Energético e Tratamento de Gás
 - Caderno de Recomendações

Durante a fase 1, foram selecionadas, em trabalho conjunto com a Sanepar, 10 ETEs como objetos de estudo e pesquisa de um total de 26 ETEs pré-selecionadas.

Cada fase foi finalizada com um relatório. O Caderno de Recomendações é uma compilação dos resultados obtidos e descritos nos outros cinco relatórios. Ele foi estruturado de forma a servir de guia para projetos de ETEs novas, ampliação de ETEs e reabilitação de ETEs com reatores anaeróbios do tipo UASB.

Todo esse trabalho de diagnóstico, avaliação dos potenciais de melhorias e recomendações teve uma participação ativa dos profissionais da Sanepar, e gerou três impactos significativos:

1. Realização de 4 *workshops* técnicos para discussão do tema
2. Desenvolvimento de conteúdo técnico que originou um curso para projetistas
3. Tomada de crédito da Sanepar junto ao banco alemão KfW para recuperação de 10 ETEs modelo, totalizando 50 milhões de euros.

A partir de todo conhecimento levantado, em 2015 a Sanepar demonstrou interesse junto com o PROBIOGÁS, em montar um curso com o foco em projetistas que tratasse da readequação de reatores UASB/RALF para melhoria de sua eficiência e consequente produção de biogás, com o intuito de disseminar o conhecimento para os profissionais do setor.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental seção Paraná – ABESPR, ao saber das tratativas apoiou a realização do curso e indicou a ABES de Pernambuco para que se realizasse duas turmas piloto para o treinamento, uma no sul e outra no norte do país.

O objetivo principal deste curso foi proporcionar aos profissionais da área da engenharia uma revisão dos aspectos construtivos de ETEs que empregam reatores anaeróbios, visando otimizar a qualidade do efluente e maximizar o aproveitamento do biogás.

Ao longo do processo as instituições GIZ, ABES-PR, ABES-PE e Sanepar trabalharam em conjunto até ser definida a estrutura do curso.

Os consultores realizaram o curso em Curitiba (de 18 a 20 de novembro de 2015) e em Recife (de 22 a 25 de novembro de 2015), com duração de 3 dias respectivamente, intitulado: “Aspectos Construtivos de Reatores Anaeróbios e Aproveitamento Energético do Biogás”. O conteúdo ministrado é apresentado no Tabela 24.

Tabela 24 – Conteúdo do curso sobre aspectos construtivos de reatores anaeróbios voltado aos projetistas.

Dia	Conteúdo
1	<p>I) Contexto e Introdução (Consultor Internacional)</p> <p>a. Análise do estado da arte e tecnológico de ETEs no Brasil</p> <p>b. Hidráulica e controle de fluxo</p> <p>c. Tratamento preliminar</p> <p>d. Reatores anaeróbios</p> <p>e. Monitoramento, operação, limpeza e manutenção</p>
2	<p>II) Coleta e tratamento do biogás (Consultor Internacional)</p> <p>f. Estimativa do potencial energético</p> <p>g. Mitigação de perdas e aumento da eficiência de queima</p> <p>h. Aspectos de segurança</p> <p>III) Estimativas de custos (Consultor Internacional)</p> <p>i. Tratamento preliminar</p> <p>j. Reabilitação de Reatores UASB</p> <p>k. Construção de novos reatores UASB</p>
3	<p>IV) Uso energético do biogás (Consultor Nacional)</p> <p>l. Tratamento de gás complementar</p> <p>m. Geração de energia</p> <p>n. Secagem de lodo: térmica, solar e sistemas combinados</p> <p>o. Viabilidade econômica</p>

Fonte: Elaboração própria.

O público alvo foi formado por engenheiros, projetistas, operadores e consultores de companhias públicas de saneamento e escritórios de engenharia, totalizando nas duas turmas 96 participantes, sendo 53 em Curitiba e 43 em Recife.

De forma geral, o curso foi muito bem avaliado, 98% dos respondentes de Curitiba e 86% dos de Recife avaliaram estarem satisfeitos ou muito satisfeitos com o curso. Mais de 95% do pessoal de Curitiba e 92% de Recife recomendariam o curso para outros.

A julgar pelas avaliações, pode-se perceber que o curso:

- Gerou motivação para a ocorrência do debate nos meios profissionais dos participantes;

- Construiu ou reafirmou a crença em relação a melhorias operacionais que podem ser promovidas para o processo de tratamento de esgoto com um todo a partir do aproveitamento energético de biogás nas ETE;

- Em Curitiba (85,5%) e no Recife (81%), o curso promoveu o repensar de práticas.

Alguns aspectos críticos levantados na avaliação foram:

- O curso foi mais focado em experiências, tecnologias, ambiente institucional e estado da arte ao contexto do sul-sudeste, sem suficiente adequação aos elementos da realidade regional, local.

- Pouca clareza/explicitação adequada da relação entre o título do curso e seu público alvo.

- Poucos elementos de situações práticas: casos concretos, visitas técnicas, etc.

- Limitações quanto ao uso de técnicas diversificadas e adequadas de ensino-aprendizagem.

A partir da experiência com as duas turmas, observa-se que o setor demanda bastante capacitação sobre o tema, apresenta desafios para operacionalizar o conhecimento e que o tema biogás ainda é um caminho novo na rotina operacional no tratamento de esgoto.

Com relação a promoção de mais cursos sobre este tema, ainda se faz necessária uma readequação da estrutura metodológica e de condução, dos instrutores, do conteúdo e de sua duração. Em especial os fatores custo e conteúdo local, precisam ser melhor trabalhados para que o curso seja mais facilmente replicável.

Um questionamento na turma de Curitiba foi a aplicabilidade a curto e médio prazo dos conhecimentos adquiridos, sendo comentada por 22% dos participantes. Como suposição tem-se a precária operação dos sistemas de tratamento, com deficiência de quantidade e qualidade de pessoal, bem como de recursos. Logo, fica difícil vislumbrar a requisição de maior qualidade operacional com a inserção de mais um componente, o sistema de gás.



Figura 32 (a) - Curso para projetistas ministrado em Curitiba.

Figura 32 (b) - Participantes do curso ministrado em Recife.

Fonte: Arquivos internos PROBIOGÁS.

Já na turma de Pernambuco, apesar do curso também ter sido muito bem avaliado, ocorreu uma quebra de expectativa com relação ao conteúdo. Vale ressaltar que no caso de Curitiba, já foram realizados outros eventos de capacitação sobre o tema, então não era um assunto tão novo como foi em Recife.

No entanto, detecta-se uma ponta de insatisfação significativa, considerando os 14% que se declararam neutros ou insatisfeitos. Isto pode ser atribuído a dois fatores:

- Quebra de expectativas em relação ao que seria abordado no curso: o título do curso (“Aspectos construtivos de UASB”) levou vários participantes a crer que seriam abordados de forma mais prática e minuciosa temas relativos à construção e operação de reatores UASB, não apenas com o enfoque de aproveitamento de metano;

- Baixa contextualização e adaptação do curso às condições e características da região Nordeste, excessivamente centrado em exemplos e na realidade do sul do país.

Tais aspectos foram refletidos na avaliação de outros aspectos do curso bem nas sugestões voltadas para a maior adequação e clareza da relação tema – foco – público alvo e de adequação/consideração do contexto regional.

Após a realização dessas duas turmas por meio das ABES regionais do Paraná e Pernambuco, o PROBIOGÁS articulou a organização de mais uma turma junto ao Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto – SINDCON, braço técnico da ABCON⁹.

O curso necessitou ser adaptado a algumas demandas específicas da associação, em especial por existirem ETEs com a tecnologia de digestão

⁹ Fundada em agosto de 1996, a ABCON – Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto congrega empresas privadas prestadoras de serviços públicos de água e saneamento básico, bem como outras empresas dos setores da construção civil e infraestrutura.

anaeróbia do lodo para produção de biogás, que não foi contemplada no curso com a ABES. Voltado para profissionais da área da engenharia e projetos, o curso foi realizado nos dias 25 e 26 de julho, em Ribeirão Preto. O curso foi intitulado de “Aproveitamento energético de biogás: aspectos operacionais e construtivos de reatores UASB e digestores anaeróbios”. Na Tabela 25, pode ser observada a estrutura do curso.

Tabela 25 - Estrutura do curso “Aproveitamento energético de biogás: aspectos operacionais e construtivos de reatores UASB e digestores anaeróbios”.

Dia	Conteúdo
1	IA) Introdução e Aspectos operacionais e construtivos de ETEs com reatores UASB (introdução e controle de vazão)
	IB) Aspectos operacionais e construtivos de ETEs com reatores UASB (tratamento preliminar, hidráulica e odor)
	IC) Aspectos operacionais e construtivos de reatores UASB (concreto, separador trifásico, espuma)
	II) Potencial do biogás de ETEs com UASB ou digestores anaeróbios (estimativa do potencial energético, mitigação de perdas de biogás, armazenamento, tratamento e queima do biogás)
2	III) Visita à estação de tratamento de esgoto da Ambient
	IV) Aspectos operacionais e construtivos de digestores anaeróbios de lodo (forma dos reatores, tecnologia de misturadores, tratamento complementar do biogás, codigestão)
	V) Possibilidades de uso do biogás (cogeração elétrica, secagem do lodo, biometano).
	VI) Incentivos de financiamento. Aspectos de gerenciamento, monitoramento, segurança, operação e manutenção. Discussão geral.

Fonte: Elaboração própria.

O curso contou com a participação de 45 profissionais, e além de seu conteúdo e formato adaptados, teve o diferencial de ser realizado numa ETE que tem uma planta de biogás, sendo possível uma aula em campo.



Figura 33 (a) - Curso para projetistas voltado às prestadoras privadas de saneamento realizado no auditório da ETE Ribeirão Preto.

Fonte: ABCON/SINDCON, 2016.¹⁰

Figura 33 (b) - Participantes do curso para projetistas na ETE Ribeirão Preto.

Fonte: ABCON/SINDCON, 2016.¹¹

Por fim, em termos de capacitação, o trabalho realizado pela consultoria DAHLEM, inicialmente específico para a Sanepar, propiciou a realização de cursos de capacitação voltado para projetistas, conforme esquema sintético da Figura 34.

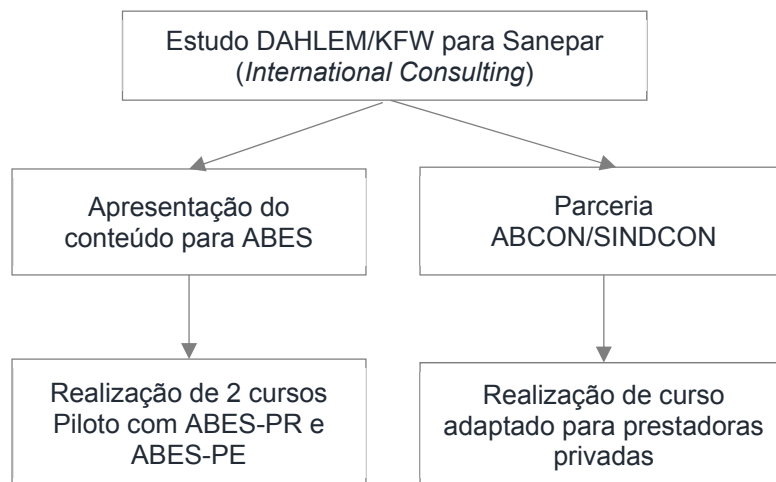


Figura 34 – Etapas do desenvolvimento de cursos para projetistas.

Fonte: Elaboração própria.

Vale frisar que o instrutor dessa capacitação é de uma consultoria alemã, o que dificulta a replicabilidade sem algum tipo de apoio ou subsídio, em vista do

¹⁰ Retirado de <<http://abconsindcon.com.br/noticias/evento-discute-producao-de-biogas-como-fonte-limpa-de-energia/>>. Acesso em 04 jan. 2016.

¹¹ Retirado de <<http://abconsindcon.com.br/noticias/evento-discute-producao-de-biogas-como-fonte-limpa-de-energia/>>. Acesso em: 04 jan de 2017.

elevado custo de investimento. No entanto, com o conhecimento técnico disponível há de se avaliar outras possibilidades de continuidade de um curso focado para projetistas.

4.3.4. Organização de eventos técnicos

Conforme citado no item 4.3.3, a consultoria realizada na Sanepar propiciou um outro grande impacto positivo que foi a realização de *workshops* técnicos para a discussão do tema no setor.

Ao todo foram realizados 4 *workshops*, sendo inicialmente uma reunião interna com os profissionais da Sanepar para a discussão dos resultados da consultoria. Ao longo dos quatros anos do PROBIOGÁS, foi notório o crescimento da massa crítica e das discussões sobre o aproveitamento energético de biogás de ETEs, refletido diretamente no quórum dos eventos.

O primeiro *workshop*, realizado em julho de 2013, durou um dia e contou com a participação de 33 pessoas. Já o último, contou com mais de 300 inscritos, mas por limitação de espaço contou com 180 participantes e durou dois dias. A Figura 40 mostra o crescimento da participação do setor neste tipo de evento.

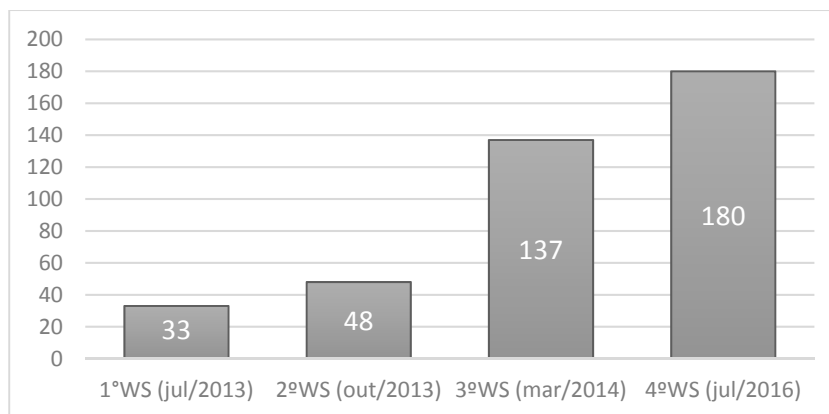


Figura 35 - Número de participantes nos quatro *workshops*.
Fonte: Elaboração própria.

As discussões técnicas sempre trouxeram exemplos de casos reais e contribuições do Brasil e da Alemanha nesta temática. Todos os *workshops* foram documentados, mas em especial o último, contou com um resumo técnico detalhado.

O 4º *workshop* internacional teve um dia voltado para as discussões de produção de biogás em reatores anaeróbios, e o segundo dia com o foco na

viabilidade e uso energético do biogás, a partir de estudos de caso e das oportunidades de modelos de negócios disponíveis.

O último *workshop* demonstrou claramente que o setor está melhor preparado e que o conhecimento já está disponível. Além da presença de um grande público, as discussões técnicas foram bastante aprofundadas, conforme apresentado na documentação do evento.

4.3.5. Oficina de Capacitação de Professores

A oficina de capacitação de professores de institutos federais (IFs) foi mais uma iniciativa do PROBIOGÁS visando replicar o conhecimento na área de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto.

A proposta visava capacitar educadores para que pudessem inserir a temática em seus institutos, fornecer consultorias e a priori, realizarem um projeto de transferência junto a uma prestadora de serviço de saneamento local.

De acordo com a pesquisa de demanda realizada pelo Ministério das Cidades somado ao interesse demonstrado pelos IFs, participaram desta capacitação os seguintes institutos:

- Instituto Federal Fluminense (IFF);
- Instituto Federal de Brasília (IFB);
- Instituto Federal da Bahia (IFBA);
- Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG).

No total, participaram do curso 26 profissionais, entre representantes dos institutos, representante do Ministério das Cidades, equipe da GIZ, equipe de suporte da Methanum e instrutores convidados da UFMG e Sanepar. Vale ressaltar que os participantes apresentavam formações distintas e complementares, todas relacionadas ao tema biogás.

A oficina foi realizada nas instalações da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, com duração de cinco dias ao longo de uma semana.

A oficina foi estruturada em quatro módulos: 1. Introdução ao tratamento de esgoto; 2. Controle do processo e produção de biogás de ETES; 3. Monitoramento do biogás de ETES e Eficiência energética em ETES a partir da gestão integrada do biogás, do lodo e da escuma; 4. Produção, condicionamento e uso de biogás

de ETEs, com visitas técnicas para a ETE Arrudas e ao CePTS¹². A oficina ocorreu entre os dias 29 de agosto e 02 de setembro de 2016. A programação pode ser visualizada na Tabela 26.

Tabela 26 - Estrutura da oficina de treinamento dos Institutos Federais.

Dia	Conteúdo
1	<p>1) Introdução ao tratamento de esgoto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação dos instrutores, participantes e objetivos do curso • Geração e caracterização do esgoto • Introdução ao tratamento de esgoto • Objetivos, níveis, processos e sistemas de tratamento de esgotos • Aceitação da tecnologia anaeróbia no Brasil • Biogás no setor de saneamento de esgoto no Brasil • Discussão sobre consumo e produção de energia em uma ETE
2	<p>2) Controle do processo e produção de biogás em ETEs</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos da digestão anaeróbia: rotas de conversão bioquímica e grupos microbianos envolvidos, balanço de DQO e geração de metano e biogás • Principais tecnologias para a produção de biogás em ETEs • Caracterização qualitativa e quantitativa da biomassa em reatores anaeróbios • Visita aos laboratórios de microbiologia e de análises instrumentais • Controle operacional de reatores anaeróbios: foco na eficiência, no atendimento aos padrões de lançamento, e na estabilidade do processo e geração de biogás • Avanços em relação ao projeto, construção e operação de reatores anaeróbios com vistas à maior recuperação de biogás
3	<p>3) Monitoramento de biogás em ETEs</p> <ul style="list-style-type: none"> • A ETE indústria • Fluxograma geral de processos e de equipamentos para o biogás • Equipamentos e métodos de mensuração de biogás em ETEs • <i>Software</i> para estimativa da produção de biogás em reatores UASB

¹² Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento da Universidade Federal de Minas Gerais.

- Comparações entre resultados de medições e estimativas de produção de biogás em ETEs
- Interpretação de resultados das medições de biogás em ETEs
- Visita técnica a plataforma de metanização da UFMG

3 4) Eficiência energética em ETEs a partir da gestão integrada do biogás, do lodo e da espuma

- Energia na prestação de serviço de saneamento ambiental
- Fundamentos de eficiência energética em ETEs
- Noções sobre geração distribuída de energia elétrica em ETEs
- Tratamento térmico de lodos e escumas
- Uso energético de lodos e escumas
- Pesquisas e inovações sobre valorização energética de subprodutos de ETEs

4 5) Produção, condicionamento e uso de biogás em ETEs

- Principais constituintes e propriedades físico-químicas do biogás
- Fluxograma da fase gasosa: linha de captação, transporte e condicionamento do biogás
- Sistemas de armazenamento do biogás
- Tipos de queimadores e noções de segurança operacional
- Processos de condicionamento do biogás
- Requisitos de qualidade conforme a utilização energética do biogás
- Equipamentos de conversão energética e usos para o biogás gerado em ETEs
- O uso do biogás em ETEs sob uma perspectiva legal

5 Visita técnica COPASA ETE Arrudas e Centro de Pesquisas e Treinamento em Saneamento (CePTS)

- Discussão Final
- Avaliação do curso

Fonte: Elaboração própria.

A oficina foi baseada no conteúdo do Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás de ETEs e na grade curricular, contando especialmente com a experiência dos instrutores. Outro diferencial da oficina foi a troca de conhecimentos de forma horizontal, onde se buscou aproveitar ao máximo o

conhecimento prévio e individual dos participantes, incorporando alguns conceitos desenvolvidos pelo ReCESA¹³ da pedagogia do saneamento.

De forma a complementar ao conteúdo na temática segurança, foi preparado um curso de ensino à distância (EaD) de oito horas de carga horária, para ser realizado individualmente pelos participantes, após o curso presencial.

O curso foi avaliado de forma muito positiva, tendo contribuído imensamente para os profissionais dos institutos federais. Contudo, em vista da elevada quantidade de conteúdo técnico e da carga horária intensa de cinco dias seguidos e inteiros, foi um pouco cansativo.

O fato de terem participado profissionais de diferentes especialidades foi positivo por demonstrar de fato que as responsabilidades do tema biogás são variadas, mas dificultou um pouco no aprofundamento de certos conteúdos.

Uma vasta e aprofundada referência bibliográfica foi compartilhada para que os participantes pudessem se aprofundar no tema. No mais, cada Instituto Federal iria buscar o contato com uma prestadora local para desenvolver uma capacitação de acordo com a demanda da mesma. Essa etapa ainda está em andamento.



Figura 36 (a) - Visita técnica ao CePTS.

Figura 36 (b) - Aula ministrada nas instalações da UFMG.

Fonte: Arquivos Internos PROBIOGÁS.

4.3.6.

Resumo dos Eventos, Treinamentos e Capacitações realizadas

Ao longo dos itens anteriores foram apresentados alguns processos de capacitação relevantes pela ótica do desenvolvimento de capacidades e consolidação de massa crítica sobre o biogás em estações de tratamento de esgoto.

Contudo, diversas outras ações de capacitação foram realizadas no âmbito do PROBIOGÁS, focadas em demandas de parceiros estratégicos e nas

¹³ Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental

condições necessárias para avanço do tema biogás de forma ampla. Além disto, o projeto participou da maioria dos eventos relacionados ao saneamento, contribuindo com painéis de discussão e disseminação de informações, como o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CBESA), a Feira Nacional de Saneamento e Meio ambiente (FENASAN), a Assembleia da ASSEMAE¹⁴ e o Encontro Nacional das Águas (ENA) da ABCON/SINDCON.

O Fórum de Biogás foi outra iniciativa pioneira do PROBIOGÁS de interação entre as empresas brasileiras e alemãs para promoção de parcerias e maior entendimento dos mercados. Após a realização do primeiro, as duas edições posteriores tiveram apoio direto da Associação de Biogás e Biometano (ABIOGAS), tendo cada vez mais força nacional. A próxima edição acontecerá sem o suporte do PROBIOGÁS.

Por fim, uma ação de grande relevância para os atores do Brasil, que é um dos diferenciais da cooperação técnica, foi a realização de diversas visitas técnicas na Alemanha, visando capacitar e sensibilizar diferentes atores nacionais sobre o tema.

Na Tabela 27 são apresentadas todas as iniciativas de capacitação e sensibilização organizadas pelo PROBIOGÁS relacionadas a temática esgotos, descrevendo o público alvo, local, tema, objetivo dentre outros parâmetros. No total, as atividades de capacitação do PROBIOGÁS no tema esgotos alcançaram cerca de 1800 pessoas.

¹⁴ ASSEMAE – Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento

Tabela 27 - Atividade de capacitação organizadas pelo PROBIOGÁS.

Atividade	Categoria	Objetivo/ Justificativa	Data	Duração	Público-alvo específico	Nº de participan tes	Principais parceiros	Local
1º <i>Workshop</i> Internacional Aproveitamento Energético de Biogás de ETES	<i>Workshop</i>	Capacitar os profissionais da Sanepar	jul/13	8h	Sanepar	33	Sanepar	Curitiba/PR
2º <i>Workshop</i> Internacional Aproveitamento Energético de Biogás de ETES	<i>Workshop</i>	Capacitar os profissionais do setor de saneamento	out/13	8h	Profissionais do setor de saneamento	48	Sanepar	Curitiba/PR
3 Cursos sobre Aproveitamento de Biogás em ETES	Curso	Revisão de parâmetros essenciais para o tratamento de esgoto com foco na produção de biogás e seu aproveitamento	nov-dez/16	40h	Engenheiros, projetistas e operadores de ETES	77	Sanepar, ABES-PR e SENAI-PR.	Curitiba/PR
3º <i>Workshop</i> Internacional Aproveitamento Energético de Biogás de ETES	<i>Workshop</i>	Capacitar os profissionais do setor de saneamento	mar/14	8h	Profissionais do setor de saneamento	137	Sanepar	Curitiba/PR
4º <i>Workshop</i> Internacional Aproveitamento Energético de Biogás de ETES	<i>Workshop</i>	Capacitar e sensibilizar os profissionais do saneamento e discutir sobre o tema	jul/16	16h	Profissionais do setor de saneamento	180	Sanepar e ABES-PR	Curitiba/PR

Curso sobre aproveitamento de Biogás em ETEs	Curso	Revisão de parâmetros essenciais para o tratamento de esgoto com foco na produção de biogás e seu aproveitamento	ago e out/15	40h	Operadores de ETEs	40	Sanepar e SENAI-PR	Curitiba/PR
Aproveitamento energético de biogás: aspectos operacionais e construtivos de reatores UASB e digestores anaeróbios	Curso	Revisão de aspectos operacionais e construtivos de reatores UASB e digestores anaeróbios de lodo visando a produção de biogás.	jul/16	16h	Engenheiros e Projetistas de ETEs	45	ABCON/SIN DCON e DAHLEM	Ribeirão Preto/SP
Aspectos Construtivos de Reatores Anaeróbios e Aproveitamento Energético de Biogás	Curso	Revisão de aspectos construtivos de reatores UASB visando a otimização da produção de biogás e qualidade final do efluente, bem como potenciais de uso energético no gás na ETE	nov/15	24h	Projetistas da área de saneamento	96	ABES-PR e ABES-PE	Curitiba/PR e Recife/PE
Capacitação de docentes dos IFs sobre segurança de plantas de biogás em ETEs	Curso EaD	Capacitar os professores para que desenvolvam cursos na área	nov/16	8h	Professores dos Ifs	25	SENAI-RS, MEC	Internet
Curso introdutório de biogás	Curso	Capacitar os parceiros sobre o tema	nov/13	16h	Servidores dos ministérios parceiros	40	MCID, MMA e MDIC	Brasília/DF

Curso Requisitos e Desafios para Análise Técnica e Financeira de Projetos de Biogás no Saneamento	Curso	Demonstrar a viabilidade de projetos de biogás nos setores de esgotamento sanitário e tratamento de RSU	ago-set/15	64h	Analistas e técnicos que fazem a análise de projetos que pedem financiamento.	35	MCID / CAIXA	Brasília/DF
Diálogo Técnico sobre Biogás no Saneamento: Modelos de Negócios no Brasil e Tecnologias Aplicadas	Diálogo Técnico	Esclarecer dúvidas e curiosidades sobre a produção e uso do biogás no saneamento com a discussão de casos reais.	abr/16	4h	MCID, Caixa e Comitê Gestor PROBIOGÁS	50	MCID e Caixa	Brasília/DF
Diálogo Técnico sobre Geração e Aproveitamento do Biogás de Reatores UASB	Diálogo Técnico	Apresentar os resultados do Projeto Nacional de medição de biogás em reatores UASB	dez/16	4h	Prestadoras de saneamento, MCID e CAIXA	40	MCID e CAIXA	Brasília/DF
Fundamento e tecnologias da produção de biogás	Curso	Sensibilizar e capacitar analistas e coordenadores do parceiro	mar/14	16h	Analistas e coordenadores da ANEEL	25	ANEEL	Brasília/DF
I Fórum do Biogás	Fórum	Sensibilizar e atualizar profissionais do setor de biogás	set/14	16h	Profissionais do setor de biogás	100	AHK	São Paulo/SP
II Fórum do Biogás	Fórum	Sensibilizar e atualizar profissionais do setor de biogás	dez/15	16h	Profissionais do setor de biogás	100	AHK, Abiogás	São Paulo/SP

III Fórum do Biogás	Fórum	Sensibilizar e atualizar profissionais do setor de biogás	out/16	16h	Profissionais do setor de biogás	100	ABiogás	São Paulo/SP
Treinamento de Multiplicadores	Treinamento	Formar multiplicadores de conhecimento em produção de biogás em ETEs e elaborar uma grade curricular para criação de novos cursos nessa temática	ago/14	240h	Docentes e colaboradores de prestadoras	16	Instituições de ensino e Prestadoras	Ribeirão Preto/SP Alemanha Brasília/DF Rio de Janeiro/RJ
Oficina de capacitação de professores na área de aproveitamento energético de biogás em ETEs	Treinamento	Capacitar os professores para que desenvolvam cursos na área	ago/16	40h	Professores dos IFs	25	UFMG, MEC	Belo Horizonte/MG
Painel de Biogás no CBESA 2013	Congresso	Sensibilizar profissionais do saneamento sobre o tema	set/13	16h	Profissionais do setor de saneamento	150	ABES	Goiânia/GO
Painel de Biogás no CBESA 2015	Congresso	Sensibilizar profissionais do saneamento sobre o tema	out/15	24h	Profissionais do setor de saneamento	250	ABES	Rio de Janeiro/RJ

Substratos, Tecnologias, Custos, Serviços do Sistema e Modelos de negócio do biogás para Geração de energia	Curso	Capacitar os servidores da EPE	mar/15	16h	Profissionais da EPE	15	EPE	Rio de Janeiro/RJ
Treinamento de prestadoras para instalação e manutenção dos equipamentos do projeto de medição	Treinamento	Capacitar as prestadoras sobre os equipamentos do projeto de medição	nov/14	8h	Prestadoras de saneamento	33	UFMG, Rotária do Brasil, SEMAE Rio Preto, SANASA, SANESUL, Sanepar, SAE ITABIRA, Águas do Brasil, COPASA, SABESP, CAESB	Curitiba/PR
Visita à IFAT 2014	Visita técnica	Atualizar profissionais de empresas sobre as novas tecnologias	mai/14	40h	Profissionais do setor de biogás	24	-	Alemanha

Visita à IFAT 2016	Visita técnica	Atualizar profissionais de empresas sobre as novas tecnologias	mai/16	40h	Profissionais do setor de biogás	55	-	Alemanha
VT para ETES	Visita técnica	Apresentar plantas de biogás de ETES referência no Brasil: ETE Arrudas, ETE Betim Central e ETE Ribeirão Preto.	out/16	16h	MCID, CAIXA e Prestadoras de saneamento	18	COPASA e AMBIENT	Belo Horizonte/MG e Ribeirão Preto/SP
VT sobre Biogás de ETES	Visita técnica	Sensibilizar profissionais do saneamento sobre o tema	out-nov/13	40h	Profissionais do saneamento	20	DAHLEM	Alemanha
VT sobre Capacitação	Visita Técnica	Apresentar o sistema alemão de educação no setor de saneamento e definir a estratégia de capacitação do projeto	jan/14	40h	Docentes, pedagogos e coordenadores de instituições de ensino	14	Instituições de ensino	Alemanha

4.4. Proposta de continuidade das ações

As ações do projeto de cooperação foram apresentadas em três temáticas: condições quadro, cooperação técnico-científica e desenvolvimento de capacidades e treinamentos.

Para todas essas ações, o papel essencial exercido pela cooperação alemã foi de ser a fomentadora das discussões e articulações entre os atores relevantes. Ao final do projeto, não existe uma instituição específica que se encarregue de focar nesse tema, mas sim, um conjunto de instituições que têm condições de desenvolver algumas atividades específicas, não necessariamente integradas.

A integração entre os atores deve surgir a partir da motivação das partes interessadas, e é uma condição de pós projeto que não têm como ser garantida. Isto porque o tema biogás no saneamento não é uma pauta relevante em meio ao contexto atual, mas sim um motivador para cada prestadora de serviço.

De todo modo, a articulação com mais de 20 atores relevantes sob a ótica do saneamento, permitiu que fossem multiplicado o conhecimento dentro de cada instituição, seja em pessoas, seja de forma institucional. Espera-se com isso, que essas pessoas e instituições sintam-se responsáveis e motivadas a darem continuidade ao tema.

Sabe-se, contudo, que o fato de não haver um número significativo de plantas de biogás de ETE e conseqüentemente uma demanda emergencial, o assunto não é prioridade de muitos atores, acrescido ao fato do Brasil estar vivenciando uma crise profunda que afeta diretamente no desenvolvimento do setor de saneamento.

Um fato é claro: as empresas que tiverem uma visão estratégica sobre esse tema, tornar-se-ão referência sob a forma que atuam na prestação de serviço de tratamento de esgotos.

Na Tabela 28 é apresentada uma análise dos principais atores que acompanharam de alguma forma o projeto de cooperação e seu potencial em dar continuidade a algumas ações, do ponto de vista do desenvolvimento do aproveitamento energético de biogás de ETEs no Brasil.

Tabela 28 – Análise dos principais atores e de seus potenciais de continuidade às iniciativas do PROBIOGÁS.

	Governo			Instituições Financeiras	Institutos Formadores
	MCID	Setor de Energia	Setor de Meio ambiente	Caixa, Bancos internacionais, Banco do Brasil, BNDES, entre outros	Senai, IF, Universidades
Papeis (ponto de vista do tema biogás de ETEs)	<ul style="list-style-type: none"> • Promover um significativo avanço rumo à universalização do esgotamento sanitário • Repasse/Disponibilização de recursos para obras de saneamento • Incentivar projetos mais eficientes • Articular com os municípios, difundindo o tema 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar a diversificação da matriz energética nacional a partir da inserção de fontes renováveis. • Dar condições propícias para o estímulo da geração distribuída 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar iniciativas tecnológicas de baixo impacto ambiental • Licenciar projetos • Reduzir as emissões de gases de efeito estufa 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar o desenvolvimento de linha de crédito atraente para o setor • Disponibilizar recursos 	<ul style="list-style-type: none"> • Inserir o tema energias renováveis incluindo o biogás nos cursos • Desenvolver novas tipologias de curso, formação acadêmica e técnica • Desenvolver novas grades curriculares • Capacitar pessoal
Benefícios e Interesses	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar iniciativas mais sustentáveis de prestação do serviço de tratamento de esgotos. • Projetos de referência viáveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar a geração distribuída no país e a eficiência energética 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação do número de projetos com baixo impacto ambiental, que reduzam a emissão de gases de efeito estufa 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver e fortalecer um mercado financeiro para o setor de energias renováveis • Investir em infraestrutura 	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir cursos inovadores e suprir a demanda por capacitação • Ser referência em capacitações específicas
Ameaças e Fragilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Volatilidade de cargos políticos e mudança de prioridades do Governo • Interesse está em pessoas, não na instituição • Pouca atuação a nível local 	<ul style="list-style-type: none"> • Outras fontes renováveis de maior interesse • Mercado de ETE não é o foco desses setores. • Pouca articulação espontânea entre o 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraca atuação a nível local, com exceção de atividades de licenciamento • Falta de monitoramento de projetos existentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Condições de financiamento não compatíveis com a realidade do setor 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de uma demanda real para a realização de um investimento • Capacitação no saneamento não é muito valorizada.

		setor de energia e saneamento			
Custos de coordenação	Ator necessita de incentivo e de pessoal para execução de mais esta atividade	Articulação com EPE, ANEEL, MME e órgãos ambientais estaduais necessitam ser articuladas por algum agente para promover a discussão do tema biogás nos setores.		<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar os profissionais para entendimento da tecnologia e do tipo de investimento • Disseminar junto aos atores as linhas de crédito disponíveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Articular a oferta com a demanda para criação de cursos • Relacionar os conhecimentos teóricos com experiências práticas
Ações de continuidade sugeridas	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer as discussões do tema no setor • Indicar claramente nos manuais de financiamento os critérios prioritários e dar incentivo a projetos mais eficientes • Responder pelo legado do PROBIOGÁS • Promover os cadernos técnicos produzidos junto aos municípios • Estruturar cursos de EaD sobre biogás 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar modelos de uso de energia para diferentes setores relacionados ao biogás (saneamento, agropecuário e sucroalcooleiro). • Aprofundar as discussões sobre uma política de biogás e biometano 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar o licenciamento de plantas de biogás • Disseminar a tecnologia 	<ul style="list-style-type: none"> • Dar suporte na tomada de crédito de projetos de biogás • Estruturar linhas de financiamento interessantes para o setor que promovam projetos de saneamento com eficiência energética 	<ul style="list-style-type: none"> • Se apropriar dos materiais técnicos desenvolvidos no PROBIOGÁS • Desenvolver e multiplicar os cursos para operadores e projetistas de ETES • Inserir o conhecimento em cursos e formação existentes
Potencial de continuidade sobre as ações do PROBIOGÁS	Médio		Baixo	Médio	Alto

	Prestadoras de Serviço	ABES	INCT ETEs Sustentáveis	Associações de Saneamento	Empresas de tecnologia
	municipais, estaduais e privadas			ASSEMAE, AESBE, ABCON	
Papeis	<ul style="list-style-type: none"> • Prestar o serviço de tratamento de esgoto com eficiência e sustentabilidade • Ampliar seu negócio 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer as discussões técnicas sobre o tema • Coordenar e ofertar cursos para o setor • Disseminar informações para o setor de saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Ser um centro de referência internacional para questões relacionadas ao tratamento de esgoto doméstico, • Formação de recursos humanos • Realização de pesquisas básicas e aplicadas que propiciem o desenvolvimento de sistemas integrados e sustentáveis de tratamento de esgoto, com recuperação e valorização dos subprodutos do tratamento; • Transferência de conhecimento para a sociedade, o setor empresarial e o governo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer as discussões técnicas e políticas sobre o tema • Realizar eventos e cursos de sensibilização e capacitação • Disseminar informações para o setor de saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Ofertar produtos e serviços para o mercado brasileiro • Garantir qualidade e manutenção • Desenvolver o mercado nacional
Benefícios e Interesses	<ul style="list-style-type: none"> • Ser referência • Retornos financeiro, ambiental e social • Responsabilidade social 	<ul style="list-style-type: none"> • Estar atualizada nas discussões do setor • Continuar como referência de informações • Promover cursos e eventos • Representar o setor nas discussões com outros agentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Biogás de ETEs é um dos focos do INCT • Utilizar o conhecimento e material técnico gerados no PROBIOGÁS • Fomentar ETEs mais sustentáveis • Capacitar profissionais do setor • Ser referência internacional • Apoiar projetos de referência 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer sua associação a partir de casos de sucesso • Fortalecer iniciativas inovadoras no setor de saneamento • Disseminar informações para seus associados 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer seu negócio • Ser referência na prestação de serviço • Vender e desenvolver tecnologia • Abrir mercado

Ameaças e Fragilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Crise nacional não incentiva novos investimentos • Conservadoras sob a ótica de risco e inovação • Fragilidades na gestão • Biogás não é visto como prioridade • Tempo de resposta varia com o arranjo institucional da prestação de serviço • Demanda por capacitação • Muita diferença entre as condições de cada prestadora • Influência de interesse político 	<ul style="list-style-type: none"> • O interesse está em pessoas, não na instituição • Atuação regional dificulta uma melhor articulação • Necessita de uma viabilidade econômica para a promoção das atividades 	<ul style="list-style-type: none"> • Verba do INCT não permitirá tanto suporte técnico • Duração prevista de 4 a 5 anos. • Focar mais na pesquisa e menos na realização de projetos de referência com parceiros. • Pouca articulação política com atores relevantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca articulação entre as associações neste tema • O biogás não é visto como um tema de comum interesse dentro nem entre as associações • Influenciada pela política 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca disposição em compartilhar risco em novos projetos • Mercado brasileiro pouco atraente para as multinacionais • Mercado nacional não apresenta demanda forte para se desenvolver • Necessidade de importação de equipamentos e serviços • Falta qualidade na prestação de serviço e suporte nacional
Custos de coordenação	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar profissionais com interesse no tema • Articular com outros atores relevantes • Capacitar profissionais • Investir em melhores projetos 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar profissionais com interesse no tema • Demanda suporte técnico ou financeiro • Estruturar oportunidades de forma regional 	<ul style="list-style-type: none"> • Articulação com diversos atores • Realização de treinamentos e de materiais de referência • Investimento em pesquisa aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> • Articulação com diversos atores • Capacitar profissionais • Elevar a discussão do biogás politicamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar empresas de qualidade dispostas a investir em projetos pioneiros • Capacitar profissionais nacionais • Fortalecer parcerias empresariais

Ações de continuidade sugeridas	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de projetos de referência • Demanda por capacitação em biogás • Utilização do material técnico desenvolvido pelo PROBIOGÁS 	<ul style="list-style-type: none"> • Disseminar informações • Disponibilizar material técnico do PROBIOGÁS para os associados • Organizar cursos e eventos sobre o tema • Discutir tecnicamente o tema na CTTE • Consolidar oferta de cursos em seu catálogo 	<ul style="list-style-type: none"> • Articular com a CTTE da ABES e definir alguns cursos e padrões de treinamento sobre biogás • Padronizar materiais do PROBIOGÁS visando produção de material didático-institucional e de guias para instrutores de oficinas • Dar continuidade ao projeto nacional de medição de biogás de reatores UASB • Articulação com as prestadoras interessadas no biogás • Transferência de conhecimento para a sociedade, o setor empresarial e o governo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disseminar informações • Disponibilizar material técnico do PROBIOGÁS para os associados • Organizar cursos e eventos sobre o tema • Articular o assunto politicamente junto ao Governo e atores relevantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Se cadastrar no catalogo de fornecedores de equipamentos e serviços em biogás • Se integrar junto à ABIOGAS, visando fortalecer o setor via associação • Investir em projetos de referência • Desenvolver parcerias
Potencial de continuidade sobre as ações do PROBIOGÁS	Médio	Médio	Alto	Médio	Baixo

Fonte: Elaboração própria.

Das instituições escolhidas, foi avaliado o potencial de continuidade de forma qualitativa, de acordo com a relação entre os interesses e os benefícios com as ameaças e fragilidades. Vale frisar que o foco foi dado no tema aproveitamento energético de biogás de ETEs, não no tema biogás em toda sua amplitude.

As instituições que apresentam um alto potencial em dar continuidade ao legado do PROBIOGÁS são os institutos formadores e o INCT ETEs Sustentáveis. Isso porque poderão incorporar diretamente em suas atividades as ações desenvolvidas, além de estarem capacitados para tal.

Os atores que refletem um potencial médio de continuidade das ações do PROBIOGÁS são o Ministério das Cidades, as Instituições Financeiras, a ABES, as Associações de Saneamento e as prestadoras de serviço. Mesmo o Ministério das Cidades tendo sido o parceiro coordenador do PROBIOGÁS, na rotina de suas atividades não há uma demanda nem um corpo técnico específico para trabalhar com o fomento do tema. Adicionalmente, as prioridades políticas podem afetar negativamente no direcionamento de recursos para novos projetos de saneamento, o que interferirá diretamente na possibilidade de inserção do biogás em novos projetos.

Contudo, o trabalho intenso de capacitação realizado com os analistas do Ministério deixou um legado de capacidade técnica na análise de projetos e no suporte aos municípios. Essa capacitação também foi dedicada à Caixa, o que torna mais factível o processo de análise de projetos deste tipo para o financiamento.

No caso da ABES e das associações de saneamento, ambas entidades representam um papel fundamental na articulação do setor, mas são mais vulneráveis sob a ótica de trabalhar um tema específico como o biogás, sendo mais promotoras da difusão de conhecimento e discussões técnicas e políticas no setor.

O grupo das prestadoras de serviço foi avaliado com um potencial médio especialmente por ser bastante diverso com realidades bastantes variadas. O que foi observado ao longo do PROBIOGÁS é que apenas as prestadoras com maior estrutura e recursos financeiros conseguiram participar ativamente das discussões e atividades, e em geral as prestadoras estaduais ou privadas. Logo, o cenário das prestadoras impede uma avaliação confiável sobre a continuidade das ações do Projeto. O que se pode dizer, é que todas terão acesso ao legado técnico do projeto, e as que foram capacitadas terão a oportunidade mais direta em dar continuidade com as discussões internamente. O que se espera desse

grupo é que existam empresas capazes de inovar e investir nessa temática, demonstrando a viabilidade e transformando o paradigma cultural do setor.

Por fim, as instituições que apresentam um potencial baixo de replicar os conhecimentos e atividades do projeto de cooperação no tema esgotos são os setores de energia e meio ambiente e as empresas de tecnologia. Isto porque o mercado do saneamento não é o foco de atuação ou não justifica uma grande mobilização. Por outro lado, o interesse desses atores pode ser fomentado pelo tema biogás enquanto fonte alternativa renovável de energia, a partir de políticas integradas para sua promoção.

4.5.

Desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs

1. Modelos de negócios claros para o uso energético de biogás

Quando se avalia os instrumentos legais e normativos consolidados na Alemanha, observa-se que a lei de resíduos, as exigências do tratamento de esgotos e as normas DWA desenvolvidas direcionaram fortemente as iniciativas de biogás em ETEs. Contudo, quando se observa os marcos legais no Brasil, por meio da PNRS e critérios e parâmetros de qualidade de tratamento, pode-se avaliar os mesmos como suficientemente bons para orientar para novas práticas operacionais, no caso uma melhor gestão do biogás e do lodo de ETEs. Um grande diferencial na Alemanha foi o montante de normativas que deram um grande respaldo técnico para o avanço do tema no setor de saneamento. No momento, mesmo que no Brasil não se tenham normativos certificados, já foram traduzidas as principais normas para o português e elaborado o guia técnico, fruto das iniciativas do PROBIOGÁS, que são referências técnicas nacionais. Com relação as regulações relacionadas com a promoção de energias renováveis em alguns estados e, em especial, sobre a injeção de biometano na rede, as mesmas não são ainda aproveitadas no mercado de ETEs no Brasil. A regulação de *netmetering*, por mais que não seja essencial para o desenvolvimento do tema, se mostra como mais uma oportunidade de negócio a ser avaliada pela prestadora de saneamento.

Quando se trata de mecanismos de incentivo na Alemanha, a tarifa *feed in* demonstra ser uma solução atrativa para promover abertura de mercado, mas não representou um impacto significativo no setor de ETEs. No caso do Brasil, existe

a isenção de ICMS para equipamentos e energia a partir de biogás em alguns estados, porém esse incentivo não se mostra como determinante para o setor.

A oportunidade de negócio que se identificou majoritariamente na Alemanha foi a necessidade de aquecimento das instalações da ETE, em seguida dos digestores de lodo e em paralelo o aumento do custo de energia elétrica, somado a restrição de envio de matéria orgânica aos aterros. Esses aspectos desenharam uma oportunidade da ETE gerenciar melhor seus processos e se tornar mais eficiente. Para tal, foi necessário o desenvolvimento técnico científico e os projetos começaram a se viabilizar. Vale ressaltar que no caso alemão, a codigestão se mostrou como uma grande oportunidade, por promover uma maior geração de energia para suprir a demanda térmica da ETE. No país, muitas ETEs recebem contribuição industrial e fazem contratos de recebimento de substratos que potencializem a produção de biogás. No caso do Brasil, a oportunidade de negócio é similar, considerando o problema de gestão de lodo, os custos operacionais com energia elétrica e as restrições legais. As diferenças estão no fato das ETEs brasileiras demandarem menos energia térmica, devido ao clima tropical, e que a codigestão ainda não se mostrou como uma oportunidade para o setor de tratamento de esgotos domésticos, talvez por sua complexidade operacional. Contudo, o Brasil tem o maior parque de reatores anaeróbios UASB do mundo, apresentando um grande potencial de negócio para ETEs de grande porte.

Sob a ótica da estratégia de gestão, o conceito de ETE indústria e a visão de longo prazo da prestação de serviço são um grande diferencial de condução da prestação de serviços na Alemanha. O Brasil enfrenta muita dificuldade em planejar a longo prazo, em avaliar investimentos e em ver o tratamento de esgotos de forma integrada. Isso pode ser reflexo de uma política fragmentada, com próprios interesses e que pensa dentro do período de um governo. Enquanto o serviço de saneamento sofrer influências diretas disso, a visão de ETE indústria terá dificuldades de ser ancorada, com exceção da gestão dos serviços por meio do setor privado, que tem uma visão de negócios diferenciada. O setor público se mostra bastante frágil em termos de arranjo institucional e modelos de gestão para planejar, executar e operar sistemas de biogás de ETEs, ou se apropriar dos conceitos de ETE indústria.

2. *Conhecimento técnico e informações disponíveis*

A relação entre o setor de prestação de serviços e a academia na Alemanha é bem diferente do Brasil. Na Alemanha, os profissionais têm ao longo de sua formação uma intensa troca com o setor empresarial, e as pesquisas são mais

aplicadas em escalas reais, além das próprias prestadoras terem um setor interno de pesquisa mais estruturado. Além disso, os profissionais passam por processo de capacitação constantes, em diálogo com a academia. Isso gera um grande impacto positivo na aplicação de novos conhecimentos, além de permitir o desenvolvimento do setor como um todo de forma mais acelerada. No Brasil, a integração entre a academia e as prestadoras de serviço, de um modo geral, necessita ser fortalecida.

Com relação à disponibilização de referências técnicas, houve um grande avanço a partir das iniciativas do PROBIOGÁS, pois atualmente já existe no Brasil bastante conhecimento e informações que orientem o desenvolvimento de plantas de biogás em ETEs. Além disso, existe uma vasta literatura internacional, naturalmente focada na digestão anaeróbia do lodo ou em modelos de usos de biogás. O tema produção e uso de biogás a partir de reatores UASB teve um grande avanço, mas o fato de ainda não se ter um projeto em operação exitoso e o estado da arte dos reatores não ser adequado para uma otimização da produção de gás pode dificultar o desenvolvimento de projetos em ETEs já existentes, mas não impedir. Outro fato importante é que no caso de digestores de lodo, já existiam projetos de aproveitamento energético de biogás no Brasil antes do projeto de cooperação existir. Esses projetos se utilizaram de conhecimento internacional e estão em operação até hoje. Acredita-se, porém, que após a atuação do PROBIOGÁS, novos projetos de biogás a partir da digestão anaeróbia do lodo também sejam melhores sucedidos.

O único fator de preocupação no que tange ao conhecimento produzido é que isso não significa que o mesmo foi absorvido pelo setor. Infelizmente, observou-se que o PROBIOGÁS conseguiu atuar diretamente com as elites do saneamento, que tinham condições e equipe que puderam atuar ativamente nas atividades do projeto. Isso significa dizer que não se sabe ao certo até que ponto este conhecimento atingiu as prestadoras que enfrentam condições extremamente precárias ou ainda enormes desafios para tratarem os esgotos.

3. Qualificação de mão-de-obra e da prestação de serviços

O cenário de capacitação do setor de saneamento na Alemanha se mostra bem mais estruturado e com um nível superior de profissionais. O setor se desenvolveu sempre fomentando a capacitação e proporcionando melhores condições de trabalho. A origem desse fato, porém, não é analisada no presente trabalho, mas sim que isso representa um grande diferencial para a eficiência na gestão de processos em uma estação. Profissionais capacitados e sistemas mais

automatizados permitem maior controle, maior eficiência, menor tempo de resposta. Os profissionais de saneamento no Brasil encontram diversos desafios em sua atuação, como limites financeiros, equipes reduzidas e condições muitas vezes não ideais para seu alto rendimento. Além disso, não existe um sistema claro de desenvolvimento profissional para os profissionais do setor, ficando a cargo de cada empresa esse tema. Para lidar com o biogás, é fundamental que os profissionais estejam capacitados não só nisso, mas no conceito de ETE indústria, senão a operação desses sistemas sofrerá constantes interrupções.

O papel da ETE, que é garantir a qualidade do efluente final, não é uma dificuldade. O ponto que merece reflexão é como, ou seja, quais são as oportunidades de ganho de eficiência e eficácia. A falta de investimento no tratamento de esgotos, ainda uma realidade no setor, vai de encontro a potencialidade do aproveitamento energético de biogás.

Um aspecto que deve ser desenvolvido é a prestação de serviços no tema biogás, por meio de consultoria, empresas de engenharia e de fornecimento de equipamentos. Esse mercado não consolidado atrasa a consolidação de um modelo de negócios viável e muitas vezes, aumenta o risco do investimento.

Após a avaliação dos três temas e seus respectivos subtemas, observou-se que os principais desafios para o desenvolvimento do biogás de ETEs no Brasil são:

- A fragilidade de estratégias de gestão, que dificulta na visão de longo prazo e no desenvolvimento do conceito de ETE indústria, bem como por consequência, no estabelecimento de modelos de negócios sustentáveis. Além disso, para as prestadoras públicas, o cenário se mostra mais desafiador, pois necessitam além da vontade política, estabelecer arranjos institucionais que facilitem a gestão dos sistemas.
- A pouca integração entre o desenvolvimento científico e sua aplicação, que dificulta os avanços do setor e cria um gargalo entre os conhecimentos desenvolvidos na academia e a na empresa.
- A qualificação da mão de obra e a valorização dos profissionais, que se mostram como aspectos fundamentais para a mudança de paradigma no setor.

A partir dos desafios levantados, observa-se que não há uma restrição ou sequer algum impacto negativo que impossibilite o aproveitamento energético do biogás de ETEs no Brasil. Ao contrário, ao longo do trabalho foram expostos inúmeros avanços e condições que tornam esta discussão cada vez mais estratégica.

Por outro lado, ficou claro que os quatro anos de desenvolvimento da temática não foram incorporados pelo saneamento, mas sim, por uma elite de prestadoras que atuaram junto com o PROBIOGÁS. Muitas têm condições muito precárias e estão muito atrás nas discussões técnicas.

Em vista das diferentes realidades no Brasil e por outro lado, da quantidade de informações já disponíveis, tem-se como perspectiva que o setor ainda precisará de algum tempo para absorver e implementar todo o conhecimento técnico desenvolvido.

Todos os avanços alcançados trazem muitas possibilidades para a consolidação de mais projetos de biogás no setor. Dos dez projetos avaliados, ainda existe potencial de melhoria e uma expectativa positiva dos novos projetos que iniciarão sua operação.

Além disso, como foram desenvolvidas muitas capacidades, acredita-se que as grandes empresas de saneamento tenham total condições de incorporar o tema como prioridade. Acredita-se que as empresas estatais ou as concessões privadas terão melhores condições em alavancarem iniciativas de aproveitamento energético de biogás em ETEs de grande porte, tendo como motivador principal uma gestão mais eficiente dos sistemas de tratamento de esgotos, transformando os subprodutos em recursos e, conseqüentemente, gerando benefícios econômicos.

A curto médio prazo, o projeto de reabilitação das 10 ETEs da Sanepar tem um grande potencial de se tornar referência mundial sobre o tema e de colocar em prática tudo que foi discutido ao longo do PROBIOGÁS. A Sanepar está se mostrando como uma instituição determinante para comprovar a viabilidade do uso energético de reatores do tipo UASB e sobre a importância da eficiência energética no tratamento de esgotos.

De todo modo, as prestadoras de serviço que ainda não se atentaram a oportunidade de aproveitamento do biogás, podem ser motivadas por bons exemplos ou por algum incentivo do governo. Caso isso aconteça, é importante se ter a clareza dos desafios a serem superados.

Como apresentado no caso alemão, a busca pela eficiência energética em meio a padrões cada vez mais exigentes reflete na meta constante da melhoria, onde sempre surgirão novos desafios.

De forma geral, enquanto os desafios atuais não forem enfrentados e o setor não passar por uma transformação quanto à forma da prestação do serviço, as perspectivas para o aproveitamento energético de biogás ainda serão casos pontuais, não um estado da arte no Brasil.

5 Considerações Finais

O Brasil enfrenta o enorme desafio de conseguir universalizar a coleta e o tratamento de esgotos e ao mesmo tempo o grande potencial de efficientizar esses sistemas. O biogás nesse contexto foi mais uma vez enfatizado como um subproduto estratégico para promover uma gestão mais eficiente, reduzindo custos, melhorando os processos e a qualidade do efluente final, protegendo a ambiente face às mudanças climáticas e fomentando a qualificação do setor.

Com o PROBIOGÁS, o país teve a oportunidade de receber uma injeção de conhecimentos e iniciativas que transformaram significativamente o patamar das discussões técnico-econômicas sobre o aproveitamento energético de biogás em ETEs. Os avanços nos marcos legais nos últimos quatros anos trouxeram mais clareza para os modelos de negócios possíveis. Além disso, o gargalo de conhecimento sobre o tema foi suprido a partir do desenvolvimento de referências técnicas nacionais fundamentais como o Guia de Aproveitamento Energético de Biogás de ETEs, o Estudo de Viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs a partir do Biogás e o Guia Técnico sobre geração distribuída de energia elétrica por biogás em ETEs. A formação de grupos de trabalho, integração de diferentes atores nas discussões e o desenvolvimento de pesquisa aplicada também foram iniciativas de grande impacto positivo. Antes do projeto, faltava uma massa crítica e pessoal tecnicamente capacitado no tema, situação que foi transformada com o projeto, em que foram capacitadas 1,8 mil pessoas ao longo de quatro anos.

Naturalmente, o período de quatro anos é muito curto para se observar os avanços no que tange ao aumento do número de ETEs que utilizam energeticamente o biogás, mas o projeto nacional de medição de biogás a partir de reatores UASB trouxe muito conhecimento para a realização de projetos mais seguros e viáveis.

A pequena ocorrência de projetos de referência está diretamente relacionada ao fortalecimento do mercado, em termos de ofertas de serviço, mão de obra qualificada e fornecimento de equipamentos.

A ainda necessária importação de conhecimento e de equipamentos, aumenta os custos de investimento e de burocracia com a importação, muitas vezes ainda reduzindo a atratividade do investimento.

Para vencer essa dificuldade de mercado, naturalmente devem ocorrer esforços de todos os atores, desde incentivos, marco regulatório e oportunidades oferecidas pelo governo, até a tomada de risco por inovação e pioneirismo de mercado por parte das empresas. Nesse contexto, os projetos de pesquisa aplicada ratificam sua importância como ponte para a confirmação tecnológica e de viabilidade, para projetos mais suntuosos no futuro.

Apesar disso, foram identificadas 10 ETEs com modelos de negócios para uso do gás diferenciados: 3 ETEs que usam o biogás gerado em reatores anaeróbios como energia elétrica via *netmetering* (projeto piloto), autoconsumo ou apenas para uso térmico para secagem do lodo (2); 5 ETEs com digestores anaeróbios de lodo, fazendo apenas uso elétrico, uso térmico e elétrico (3) ou purificando a biometano; e uma codigestão de lodo com resíduos orgânicos de grandes geradores, aproveitando o biogás de forma térmica e elétrica. Esses projetos já permitem disseminar bastante conhecimento com as lições aprendidas, que devem ser compartilhadas para facilitar novos projetos.

A grande expectativa que se tinha com relação aos reatores anaeróbios para tratamento de esgoto no que tange ao potencial e diferencial do Brasil, mesmo após todo o avanço na pesquisa aplicada ainda se mostra desafiadora, em vista dos reatores existentes realmente necessitarem de uma grande otimização para desempenharem de maneira viável quanto a produção de biogás. O projeto nacional de medição proporcionou um grande aprendizado a todas as prestadoras de saneamento envolvidas, apesar de todos os seus desafios.

Nesse contexto, torna-se indispensável que as prestadoras de saneamento compartilhem suas experiências visando fortalecer o tema no setor, para que não ocorram os mesmos erros.

Com relação aos projetos de referência apoiados pelo PROBIOGÁS, a operação em escala real de um reator UASB com aproveitamento energético de biogás foi um grande legado, em especial por ter proporcionado muito aprendizado. Contudo, ficou reforçado que alguns desafios ainda precisam ser superados em ETEs existentes, e que o tempo de resposta para a operação desses sistemas precisa ser ágil.

Outra parceria de referência que merece um grande destaque foi todo o legado das iniciativas desenvolvidas com a Sanepar, que ainda culminaram no primeiro projeto de ETE conectado ao *netmetering* e na tomada de crédito junto ao KfW para a realização de 10 projetos e 8 obras. Esses novos projetos representam uma grande oportunidade para os reatores anaeróbios demonstrarem viabilidade para o aproveitamento energético de biogás. Somado a isso, a parceria com a Sanepar propiciou o desenvolvimento de capacidades de mais de 200 funcionários, vários estudos técnicos e a análise técnica de ETEs específicas, que comprovam o êxito desta cooperação.

Além do notório impacto das capacitações realizadas no projeto, ficou claro que as mesmas alcançaram todos os atores estratégicos para a promoção do tema: desde os ministérios e bancos que promovem e liberam crédito a novos projetos até o operador da ETE, ou seja, todos os níveis importantes para o sucesso da temática. Além disso, a capacitação também considerou o médio e o longo prazos, a partir da formação de multiplicadores, capacitação de institutos federais e elaboração de um currículo para a operação de ETEs com aproveitamento energético de biogás. Somado a isso, todos os conteúdos dos cursos realizados foram registrados e compartilhados, permitindo sua continuidade. Esse resultado permite que a demanda de capacitação existente de 691 profissionais do setor seja possível de ser atingida com sucesso.

Em especial no curso para projetistas, ficou destacada a diferença regional no Brasil enquanto avanço e conhecimento sobre o tema. Isso confirma a necessidade de se intensificar a capacitação em outras regiões do país, que precisam ter mais acesso aos conhecimentos desenvolvidos ao longo do PROBIOGÁS.

Um papel de grande relevância que o PROBIOGÁS exercia e que não será suprido com o encerramento do projeto é o poder de articulação entre atores estratégicos e de liderança das iniciativas de biogás de ETEs.

Com o fim do PROBIOGÁS, além de seu legado espera-se que as instituições chaves que acompanharam as atividades do projeto consigam dar continuidade a algumas iniciativas, mesmo que não seja de forma tão intensa e integrada como o PROBIOGÁS. Por meio da matriz de avaliação de potenciais instituições e suas condições em darem continuidade a algumas iniciativas, verificou-se um potencial alto para os institutos formadores e para o INCT ETEs Sustentáveis. Com um potencial médio de continuidade foi avaliado o Ministério das Cidades, as instituições financeiras, a ABES, as

associações de saneamento e as prestadoras de serviço. Por fim, as instituições que apresentaram um potencial baixo de replicar os conhecimentos e atividades do projeto de cooperação no tema esgotos são os setores de energia e meio ambiente e as empresas de tecnologia. Isso porque o mercado do saneamento não é o foco de atuação ou não justifica uma grande mobilização.

Para concluir os objetivos específicos estudados, foram discutidos os desafios e perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs, comparando-se o histórico na Alemanha com o Brasil.

Na Alemanha, por mais que os primeiros registros sobre a produção de biogás em ETEs sejam da década de 60, foi a partir da década de 80 que o custo da energia se mostrou como uma oportunidade para o uso energético do biogás, e mais ainda, a partir do início do século XXI, com os marcos legais e incentivos do setor de energias renováveis e de meio ambiente, que o aproveitamento energético do biogás de ETEs se consolidou.

A viabilidade de projetos de aproveitamento energético de biogás de ETEs na Alemanha se mostra dinâmica ao longo do tempo, porém sempre vinculada a demanda interna da ETE, ou seja, a necessidade de usar os recursos existentes para otimização dos custos e ganhos de eficiência. Nesse contexto, o tema deveria ter a mesma importância para o Brasil.

Considerando a ETE como um modelo de negócio, uma grande diferença observada entre os países é sob a ótica da estratégia de gestão, onde o conceito de ETE indústria é um estado da arte da Alemanha e ainda não consolidado no Brasil. A visão de longo prazo do papel de uma ETE ainda é uma fragilidade na gestão do tratamento de esgotos no país. Além disso, para inserir o biogás enquanto processo na estação, faz-se necessária a constituição de um arranjo institucional, especialmente para o setor público, que possa ser mais eficiente no tempo de resposta.

Com relação ao conhecimento técnico e informações disponíveis, o Brasil avançou muito sobre o conhecimento da produção de biogás em reatores anaeróbios, e pode-se dizer, sem dúvidas, que é o país no mundo que mais tem experiência nesse tipo de sistema. Por essa tecnologia não ser aplicada para tratamento de esgotos domésticos na Alemanha, o Brasil já se mostra como referência no tema, mesmo que ainda não consiga, na prática, consolidar melhores projetos e operar mais eficientemente os reatores visando a otimização da produção de biogás.

Contudo, devido ao desempenho real desses reatores quanto à produção de biogás, a digestão anaeróbia do lodo ainda se ratifica como uma possibilidade potencialmente mais viável para o aproveitamento energético de biogás. A digestão anaeróbia do lodo e a codigestão são processos que não foram muito aprofundados pelo PROBIOGÁS e que merecem ser mais estudados para o caso brasileiro.

Uma reflexão é que por mais que o PROBIOGÁS tenha atuado fortemente no desenvolvimento de conhecimento, o mesmo não foi absorvido por todo o Brasil, mas sim, apenas pelas elites do saneamento. Esse termo foi empregado para enfatizar que as realidades do tratamento de esgotos no Brasil, mesmo para uma mesma tecnologia, são extremamente desiguais. Logo, acredita-se que existe um potencial enorme nos próximos anos de disseminação e aplicação dos conhecimentos desenvolvidos no PROBIOGÁS, e que serão referências utilizadas a médio prazo.

Outra constatação a partir da comparação entre os países é que a relação entre a academia e o setor empresarial na Alemanha é muito mais integrada, o que permite maiores avanços tecnológicos e o desenvolvimento de profissionais mais qualificados. A existência de profissionais mais capacitados e de um maior reconhecimento de seu trabalho elevam a prestação de serviço a outro patamar, permitindo um desenvolvimento de carreira e gerando impactos positivos para as empresas. No Brasil a prestação de serviço ainda carece de incentivos reais para qualificação dos profissionais e manutenção dos mesmos no setor, o que gera impactos negativos no desenvolvimento do negócio.

Apesar dos desafios existentes, os avanços nacionais são notórios e trazem muitas possibilidades para consolidação de mais projetos de biogás no setor. O PROBIOGÁS demonstrou ter sido exitoso no Brasil e possibilitou novas perspectivas para o aproveitamento energético de biogás de ETEs.

Ainda se tem como perspectiva os novos projetos em execução, e mais ainda, a capacidade das grandes empresas de saneamento de incorporarem esse tema como prioridade. Acredita-se que as empresas estatais ou as concessões privadas terão melhores condições em alavancarem iniciativas de aproveitamento energético de biogás em ETEs de grande porte, tendo como motivador principal uma gestão mais eficiente dos sistemas de tratamento de esgotos, transformando os subprodutos em recursos e, conseqüentemente, gerando benefícios econômicos.

Outro grande potencial são os projetos em andamento da Sanepar, que por ter o maior parque de reatores anaeróbios do Brasil, pode se tornar referência mundial sobre o tema, além de estar efetivamente implementando ETEs com aproveitamento energético de biogás. A Sanepar tem a grande vantagem, pois além de ter tomado o financiamento para esses projetos, está atuando desde o início do PROBIOGÁS nos três principais desafios levantados, ou seja, está cada vez mais preparada em termos de gestão, capacitação de pessoal e na integração entre a pesquisa e a prática.

Esse estudo foi totalmente inspirado e refletido no trabalho real de quatro anos, por meio da experiência de condução desse projeto de cooperação vivida pela autora da tese. A maior contribuição desse trabalho foi compreender e tornar o mais transparente possível as atividades e impactos do PROBIOGÁS no Brasil por meio de sua atuação com o setor de tratamento de esgotos.

Como proposta de aprofundamento da pesquisa e recomendação de trabalhos futuros, recomenda-se fortemente que existam mais estudos sobre modelos de negócios potenciais para a prestadora de serviço, visando fomentar a discussão e tornar mais atrativo o tema, em especial para a digestão anaeróbia do lodo e para a codigestão.

Outra sugestão é realizar uma análise comparativa sobre o biogás entre o Brasil e outros países da América Latina, como exemplo o Chile ou México.

Aplicado diretamente a continuidade deste trabalho, recomenda-se uma análise do conceito de ETE indústria utilizando o modelo CANVAS, visando entender melhor os diferentes aspectos do modelo e como trabalhar alguns gargalos específicos, pela ótica da prestadora de serviço de saneamento.

Outra linha de pesquisa sugerida é uma análise detalhada de arranjos institucionais para o setor público que facilitem a licitação, projeto e operação de ETEs com aproveitamento energético de biogás.

Mais uma proposta de futura pesquisa sob a ótica social é a análise de como trabalhar a educação ambiental e social do ponto de vista de desenvolver no cidadão a aceitação e o entendimento da importância do tratamento de esgotos e de que forma isso pode afetar sua disposição em pagar por tal serviço, definindo medidas de sensibilização de curto, médio e longo prazo.

No âmbito da cooperação internacional, sugere-se um novo programa de cooperação trilateral, a fim de fortalecer a troca de conhecimentos e de

realidades entre o Brasil, Alemanha e outro país da América Latina ou da África.

6

Referências bibliográficas

ABES. (2015). **Impactos da crise sobre o setor de saneamento.**

Agência Nacional de Águas. (2015). **Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos.** Brasília.

AIYUK, S.; FORREZ, I.; LIEVEN, K.; van HAANDEL, A.; VERSTRAETE, W. Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates – A review. **Biosource Technology**, v. 97, p; 2225-2241, 2006.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; DE SOUZA, S. G. (2001). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** RiMa, ABES, Rio de Janeiro.

ANEEL. (2016). **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica.** Agência Nacional de Energia Elétrica, 2. ed. Brasília.

BACHMANN, N. **Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants.** IEA Bioenergy Task 37. 2015.

BALAT, M.; BALAT, H. **Biogas as a Renewable Energy Source - A Review.** Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. v. 31, nº 14, p.1280-1293, 2009.

BATEN, H. H. M.; PEETERS, R. J. E. J. ROELEVELD, P. J. ZOUTBERG, G. R. Sewage sludge as bio fuel. **Water science and technology.** v. 6. 2011.

BATSTONE, D. J.; VIRDIS, B. The role of anaerobic digestion in the emerging energy economy. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 24, p. 142-149, 2014.

BILOTTA, P.; ROSS, B.Z.L. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. **Eng Sanit Ambient.** v.21 nº 2, p. 275-282. 2016.

BMU. **Development of renewable energy sources in Germany.** Graphics and tables Version: July 2012. BMU-KI III - Based on statistical data from the Working Group on Renewable Energy-Statistics (AGEE-Stat). Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. [S.I.]. 2011.

BMWi. (2016). **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**. Erneuerbare Energien auf einen Blick. Acesso em 18 de novembro de 2016, disponível em <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/erneuerbare-energien-auf-einen-blick.html>.

BOUGRIER, C.; DELGENES, J.P.; CARRERE, H. **Combination of thermal treatments and anaerobic digestion to reduce sewage sludge quantity and improve biogas yield**. Trans IChemE, Part B. Process Safety and Environmental Protection, 84(B4), p. 280–284, 2006.

BRASIL. (2016). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014**. Brasília: SNSA/MCIDADES.

_____. 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.

_____. 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.

_____. 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. 145 p

_____. 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, 2015. 183 p.

_____. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Resultados do projeto de medições de biogás em reatores anaeróbios** / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Carolina Cabral ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016. 50 p.

_____. 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.

_____. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Resumo técnico do 4º Workshop Internacional sobre aproveitamento energético de biogás de ETEs** / Probiogás; organizadores, Sanepar, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Hélinah Cardoso Moreira ... [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016. 77 p.

_____. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil** / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Oliver Jende ... [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016. 74 p.

CABRAL, C. B. G. **Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 139. 2016.

CAKIR, F.Y.; STENSTROM, M.K. Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. **Water Research**, v.39, p. 4197-4203. 2005.

CAMARGO, E. B. Aproveitamento do metano do gás de esgoto em veículos. **Revista DAE**, nº 129, p. 5, 2009.

CHERNICHARO, C. A. (2007). **Reatores anaeróbios (2ª ed., Vols. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 5))**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais.

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* **Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico**. Eng. Sanit. Ambient., v. 15, nº 3, p. 229-236, 2010.

CHERNICHARO C. A. L. *et al.* Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Ver. Environ. **Sci. and Biotechnol.**, v. 5: p. 3-19, 2015.

CHERNICHARO, C. A. D. L. *et al.* (2017). **Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas**. No prelo.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MARTINS, O. S. **Instalação e testes de uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto**. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 5. Campinas. 2004.

DICHTL, N. Die Eigenenergieversorgung von Kläranlagen - Rückblick und Ausblick. **Energieeinsatz in Abwasseranlagen. KA – Abwasser, Abfall** v. 51, nº 6, p. 614-618. 2004.

DWA. (2010). **DWA-Themen**. Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft, Schwerpunkt Abwasser.

DWA. (2016). **DWA-Politikmemorandum**. Positionen zur Umweltpolitik. Hennef: DWA.

EBA. (2014). <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2016/01/Graph-1-Biogas-plants.png>. Acesso em 8 de junho de 2016, disponível em European Biogas Association.

EL-FADEL, M.; MASSOUD, M. Methane Emissions from Wastewater Management. **Environmental Pollution**, v. 114, p. 177-185. 2001.

EPE. (Fevereiro de 2015). **Resenha Mensal do Mercado de energia elétrica**. Ano VIII. Número 89. (A. V. 89, Editor) Fonte: <http://www.epe.gov.br>.

EPE. (2016). **Balço Energético Nacional: Ano base 2015**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro.

FACHVERBAND BIOGAS. (2016). **Biogas Trends on the German and international markets**. Biogas Trends on the German and international markets. São Paulo: III Fórum do Biogás.

FACHVERBAND BIOGAS. (20 de Outubro de 2016). <http://www.forumdobogas.com.br/pt-br/>. Acesso em 2016, disponível em Fórum do Biogás.

FORESTI, E. Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives. **Water science and technology**, v. 45, n.10, p. 181-186. 2002.

FORESTI E, ZAIAT M, VALLERO M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. **Rev Environ Sci Biotechnol** v. 5, p. 3–19. 2006.

GORGEK, A. G. *et al.* Comparison of energy efficiencies for advanced anaerobic digestion, incineration and gasification processes in municipal

sludge management. *Journal of Residuals Science and Technology*. V. 13, n. 1, p.54-67, 2016.

HOLM-NIELSEN, J.B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 5478-5484. 2009.

IEA Bioenergy Task 37 (2016). **Country Reports Summary 2015**.

INSTITUTO TRATA BRASIL. (2010). **Esgotamento sanitário inadequado e impactos na saúde da população**. Instituto Trata Brasil.

IPCC. (2006). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC, Japão.

IPCC. (2007). **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]**. IPCC, Geneva, Switzerland.

IPCC. (2014). **Climate change 2014**. Synthesis Report.

JETTEN, M.S.M.; HORN, S.J.; VAN LOODSDRECHT, M.C.M. Towards a more sustainable municipal wastewater treatment system. *Water Science and Technology*, v. 35, Issue 9, p. 171-180. 1997.

JUSTI, J.; ORTEGA, J. M.; JUSTI, E. B. L.; TEDESCO, M. V. Viabilidade de geração de energia elétrica em estação de tratamento de esgoto urbanas baseado na REN 482/12. Trabalho apresentado no 9. Congresso Nacional de Excelência em Gestão. **Anais**, 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. (2014). **Tratamento de Esgotos Domésticos** (7ª ed.). Rio de Janeiro: ABES.

KNITSCHKY, R.; LENZ, J. **The German Water Sector in a nutshell: Introduction to the German Water Industry**. German Association for Water, Wastewater and Waste e.V. (DWA). Apresentado na IFAT, Munique, 2016.

KOGA, P. **Geração de energia renovável a partir dos subprodutos de uma estação de tratamento anaeróbia de esgotos**. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. Curitiba, 2016. p. 127-134.

KYMÄLÄINEN, M. L. K. et al. **Biogasification of biowaste and sewage sludge—Measurement of biogas quality**. *Journal of environmental management*, v. 95, p. S122-S127. [S.l.]. 2012.

LEIBLE, L.; KÄLBER, S. **Potenzial der energiebereitstellung aus biogenen reststoffen und abfällen für deutschland – ein überblick.** In: NAROSSA 10. Internationaler Kongress für nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenbiotechnologie, 7.-8. Juni 2004, Magdeburg.

LIMA, A. P., & SALVADOR, N. N. (janeiro de 2014). Geração de metano e de créditos de carbono no tratamento de esgotos sanitários. **Revista DAE**, 11.

LOBATO, L. C. (2011). **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico.** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Belo Horizonte: Tese de Doutorado.

LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. **Water Science & Technology**. v. 66, p. 2745-2753.2012.

LOBATO, L. C. S. *et al.* Use of biogas for cogeneration of heat and electricity for local application: performance evaluation of an engine power generator and a sludge thermal dryer. **Water science and technology**, v. 67, p.159-167. 2012.

McCARTY, P.L.; BAE J.; KIM, J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer can this be achieved? *Environ. Sci. & Technol.*, v. 45, p. 7100-7106, 2011.

MCTI. (2014). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília.

MIKI, M. K. Dilemas do UASB. **Revista DAE**, v. 183, p. 25-37, 2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2016). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.** Brasília: SNIS.

MIRANDA, V. S. (2012). **A Lei Alemã de Fontes Renováveis de Energia em Confronto com a Resolução Normativa nº 482/2012 da Aneel.** Em E. D. JANEIRO, Série Aperfeiçoamento de Magistrados 17 - Desenvolvimento Sustentável (pp. 128-137). Rio de Janeiro: EMERJ.

MO, W.; ZHANG, Q. Energy–nutrients–water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants. Review Article **Journal of Environmental Management**, v.127, p. 255-267. 2013.

National Association of Clean Water Agencies (NACWA) (2012). **Biogas Production at Wastewater Treatment Facilities.** Congressional Briefing. 16 de Maio de 2012.

NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. **Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology**, v. 5, p. 93-114, 2006.

NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. E. (2006). Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. **Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology**, v. 5, 93-114.

ONYECHE, T.I. Sludge as source of energy and revenue. **Water science and technology**. v. 50 (9) 197-204. 2004.

PERES, L. Tarifas de Energia podem aumentar até 40%. **Jornal Valor Econômico**, p. Seção A3, 14 Janeiro 2015. Disponível em: <<https://www1.fazenda.gov.br/resenhaeletronica/MostraMateria.asp?cod=1014611>>. Acesso em: 20 Janeiro 2015.

PLANSAB. (2013). **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

PÖSCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. **Applied Energy**, v. 87, p. 3305-3321, 2010.

POSSETI, G. R. *et al.* (2013). Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico. In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais**.

POSSETTI, G. R. C. P. *et al.* Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETEs de médio e pequeno porte. 15. Simpósio lusobrasileiro de engenharia sanitária e ambiental, Belo Horizonte. **Anais**, 2012.

POSSETTI, G. R. C. P.; JASINSKI, V. P.; MESQUITA, N. C.; KRIGUEL, K.; CARNEIRO, C. Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico. Trabalho apresentado no 27º Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, **Anais**, 2013.

RASI, S.; LÄNTELÄ, J.; RINTALA, J. **Trace compounds affecting biogas energy utilisation – A review**. **Energy Conversion and Management**. Volume 52, Issue 12, November–December 2011, Pages 3369-3375.

ROSA, P. A. *et al.* **Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso**

Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). Eng. Sanit. Ambient., v. 21, nº 2, p.315-328, 2016.

ROSENFELDT, S. *et al.* Avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás por meio de motor-gerador em uma ETE. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais 2015**.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.; VERVAEREN, H. **Techniques for transformation of biogas to biomethane.** **Biomass and Bioenergy.** Volume 35, Issue 5, May 2011, Pages 1633-1645.

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v.33, p. 1101-1107. 2009.

SANTOS, I. F. *et al.* (25 a 27 de agosto de 2014). **Um Estudo dos Custos de Implantação de Empreendimentos de aproveitamento energético do biogás de Estações de tratamento de esgoto.** Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. IX CBPE. Políticas Energéticas para a Sustentabilidade. Florianópolis-SC.

SEIBERT-ERLING, G.; SALOMON, D. Neue energierechtliche Regelungen für die Eigenstromerzeugung auf Kläranlagen Energie und Wasserwirtschaft. **KA Korrespondenz Abwasser, Abfall** v.61, nº 2, p. 131-134. 2014.

SHEN, Y. *et al.* An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** v. 50, p. 346–362. 2015.

SKERLOS S.J. *et al.* A New Planning and Design Paradigm to Achieve Sustainable Resource Recovery from Wastewater. **Environ. Sci. Technol.** v. 43, p. 6126–6130. 2009.

SPERLING, M. V. (2005). **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias (3ª ed.).** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2015). 1.340 Gigawattstunden Strom aus Klärgas erzeugt. Pressemitteilung vom 10.07.2015 – 257/15.

STEHLIK, P. Contribution to advances in waste-to-energy technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 10, 2009, p. 919-931.

STILLWELL, A.S.; HOPPOCK, D.C.; WEBBER, M.E. Energy Recovery from Wastewater Treatment Plants in the United States: A Case Study of the Energy-Water Nexus. **Sustainability** v. 2(4), p. 945-962. 2010.

SZKLO, A. S.; TOLMASQUIM, M. T. Strategic cogeneration—fresh horizons for the development of cogeneration in Brazil. **Applied Energy**, v. 69, n. 4, p. 257-268. [S.I.]. 2001.

TONINI, D.; DORINI, G.; ASTRUP, T. F. Bioenergy, material, and nutrients recovery from household waste: Advanced material, substance, energy, and cost flow analysis of a waste refinery process. **Applied energy**, n. 121, p. 64-78. 2014.

VALENTE, V. B. **Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em Estações de Tratamento de Esgoto no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2015.

VAN HANDEEL, A. Potencial de geração de energia a partir do lodo de sistemas de tratamento de esgoto. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**: Investigación, desarrollo y práctica, v. 2, p. 125-142. 2009.

VENKATESCH, G.; ELMI, R.A. Economic–environmental analysis of handling biogas from sewage sludge digesters in WWTPs (wastewater treatment plants) for energy recovery: Case study of Bekkelaget WWTP in Oslo (Norway). **Energy**, v. 58, p. 220-235. 2013.

VERSTRAETE, W.; VLAEMINCK, S.E. ZeroWasteWater: short-cycling of wastewater resources for sustainable cities of the future. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**.v. 18, p. 253-264. 2011.

VILLANI, W. (Maio de 2014). **Gestão energética em ETEs**. (ASSEMAE) Fonte: 44ª Assembleia ASSEMAE.

WEILAND, P. **Biogas production: current state and perspectives**. **Applied Microbiology and Biotechnology**. January 2010, Volume 85, Issue 4, p. 849–860.

Water Environment & Reuse Foundation (WERF) (2016). **Recent WE&RF Energy Research and Action Opportunities**. 1 de dezembro de 2016.

WISER, J. P. E.; WILLIS, J. P. E.; SCHETTLER, J. P. E. **Evaluation of Combined Heat and Power Technologies for Wastewater Treatment Facilities**. Columbus Water Works. Columbus, Georgia, p. 213. 2010.

YANWEN SHEN, J.L. *et al.* An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 50, p. 346–362, 2015.

ZANETTE, A. L. (2009). **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)-UFRJ/ COPPE, Rio de Janeiro.

ZAKKOUR, P.D. *et al.* Developing a sustainable energy strategy for a water utility. Part II: a review of potential technologies and approaches. **Journal of Environmental Management** v. 66, p. 115-125. 2002.

Zentrum für Sonnenenergie - und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). **Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG**, Vorhaben I: Spartenübergreifende und integrierende Themen sowie Stromerzeugung aus Klär-, Deponie- und Grubengas. 2014.