

# Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica

Jorge González Aguilera  
Alan Mario Zuffo  
(Organizadores)



**Jorge González Aguilera**

**Alan Mario Zuffo**

(Organizadores)

# Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Karine de Lima  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 1)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-472-6 DOI 10.22533/at.ed.726191107</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario</p> <p style="text-align: right;">CDD 509.81</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 22 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera  
Alan Mario Zuffo

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A EVOLUÇÃO DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL EM MINAS GERAIS	
Marília Carvalho de Melo	
Alexandre Magrineli dos Reis	
Zuleika Stela Chiacchio Torquetti	
Germano Luís Gomes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7261911071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ANÁLISE DA RADIAÇÃO SOLAR NOS MESES DE JANEIRO E FEVEREIRO POR MODELAGEM COMPUTACIONAL USANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	
Arini de Menezes Costa	
Neyla Danquá dos Ramos	
Antonio Alisson Pessoa Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7261911072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
ANÁLISE QUALITATIVA E PROVENIÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS DA PRAIA DE MUITA ÁGUA, MUNICÍPIO DE IMBITUBA, LITORAL CENTRO-SUL DE SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL	
Patrícia Tortora	
Luiz Felipe Poli Schramm	
Norberto Olmiro Horn Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7261911073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
APLICAÇÃO DO ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA (EIV) EM RONDONÓPOLIS/MT: DA OMISSÃO LEGISLATIVA AO PREJUÍZO AMBIENTAL COLETIVO	
José Adolfo Iriam Sturza	
Cristiano Nardes Pause	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7261911074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>52</b>
ATUALIZAÇÃO DE LIMITES POLÍTICO-ADMINISTRATIVOS:O CASO DOS ESTADOS DA BAHIA E SERGIPE	
Christiane Freitas Pinheiro de Jesus	
Nelson Wellausen Dias	
Fernanda dos Santos Lopes Cruz	
Acacia Maria Barros Souza	
José Henrique da Silva	
João Carlos Marques Silveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7261911075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE TRECHOS DA RODOVIA RN-118	
Alisson Cabral Barreto	
Milany Karcia Santos Medeiros	
Alyne Karla Nogueira Osterne	
Ricardo Leandro Barros da Costa	
Lanna Celly da Silva Nazário	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7261911076</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 78**

CARACTERIZAÇÃO DE UM SOLO TIPO MASSAPÊ PARA VERIFICAÇÃO DO SEU POTENCIAL EXPANSIVO

Larissa da Silva Oliveira  
Stephanny Conceição Farias do Egito Costa

**DOI 10.22533/at.ed.7261911077**

**CAPÍTULO 8 ..... 88**

CARACTERIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO DA ARGILA VERMELHA USADA EM TRATAMENTOS FACIAIS

Ana Paula Zenóbia Balduino  
Michele Resende Machado  
Mônica Rodrigues Ferreira Machado  
Giovanni Cavichioli Petrucelli

**DOI 10.22533/at.ed.7261911078**

**CAPÍTULO 9 ..... 93**

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E MORFOLÓGICA DA HETEROJUNÇÃO  $\text{SrTiO}_3/\text{TiO}_2$  OBTIDA POR METODO QUIMICO

Daniele Galvão de Freitas  
Isabela Marcondelli Iani  
Rafael Aparecido Ciola Amoresi  
Ubirajara Coletto Junior  
Chrystopher Allan Miranda Pereira  
Alexandre Zirpoli Simões  
Leinig Perazolli  
Maria Aparecida Zaghete

**DOI 10.22533/at.ed.7261911079**

**CAPÍTULO 10 ..... 106**

CÉLULAS COMBUSTÍVEIS: UMA VISÃO TECNOLÓGICA SOBRE BIOGÁS

Débora da Silva Vilar  
Milson dos Santos Barbosa  
Isabelle Maria Duarte Gonzaga  
Aline Resende Dória  
Lays Ismerim Oliveira  
Caio Vinícius da Silva Almeida  
Dara Silva Santos  
Luiz Fernando Romanholo Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.72619110710**

**CAPÍTULO 11 ..... 121**

COLAPSIBILIDADE DE UM PERFIL DE SOLO NÃO SATURADO

Roger Augusto Rodrigues  
Alfredo Lopes Saab  
Gustavo Tavernaro Tambelli

**DOI 10.22533/at.ed.72619110711**

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

COMPARATIVO DE CUSTOS DIRETOS ENTRE PERFURAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL E ABERTURA DE VALA PARA INSTALAÇÃO DE DUTOS

Milagros Alvarez Sanz  
Yuri Daniel Jatobá Costa  
Carina Maia Lins Costa  
Gracianne Maria Azevedo do Patrocínio

**DOI 10.22533/at.ed.72619110712**

**CAPÍTULO 13 ..... 147**

CONCENTRAÇÃO DE FOSFATO NO IGARAPÉ DO MESTRE CHICO - MANAUS-AM

Mikaela Camacho Cardoso  
Mauro Célio da Silveira Pio

**DOI 10.22533/at.ed.72619110713**

**CAPÍTULO 14 ..... 156**

DETERMINATION OF URANIUM AND THORIUM USING GAMMA SPECTROMETRY: A PILOT STUDY

Diango Manuel Montalván Olivares  
Evelin Silva Koch  
Maria Victoria Manso Guevara  
Fermin Garcia Velasco

**DOI 10.22533/at.ed.72619110714**

**CAPÍTULO 15 ..... 163**

DINÂMICA SOCIOESPACIAL EM PEQUENAS CIDADES:A PAISAGEM GEOGRÁFICA DE OUVIDOR (GO)

Angélica Silvério Freires  
Idelvone Mendes Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.72619110715**

**CAPÍTULO 16 ..... 177**

DIVERSIDADES DE CRITÉRIOS EM AVALIAÇÕES DE IMPACTOS AMBIENTAIS: CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS SOCIOECONOMICOS

Giseli Dalla Nora  
Patricia Regina Alves Palermo

**DOI 10.22533/at.ed.72619110716**

**CAPÍTULO 17 ..... 184**

EDUCAÇÃO AMBIENTAL PARA GESTORES PÚBLICOS: FORMAÇÃO PARA TOMADA DE DECISÕES

Mary Lúcia da Silva Ferreira Lima  
Laura Rocha de Castro  
Marina Marques Gimenez  
Ronei Pacheco de Oliveira  
Amanda Baldochi Souza

**DOI 10.22533/at.ed.72619110717**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>190</b>
ESTUDO DA TÉCNICA DE MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES COM COLUNAS DE BRITA EM UM TRECHO DO SISTEMA VIÁRIO DO CENTRO METROPOLITANO DO RIO DE JANEIRO	
Fernanda Valinho Ignacio Bruno Teixeira Lima Juliano de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.72619110718</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>203</b>
FORMOSO DO ARAGUAIA-TO: DESENVOLVIMENTO REGIONAL E AGRONEGÓCIO	
Roberto de Souza Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.72619110719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>222</b>
INCISÕES EROSIVAS URBANAS: UM PROBLEMA AMBIENTAL EM BOM JESUS DAS SELVAS (MA)	
José Sidiney Barros José Milton de Oliveira Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.72619110720</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>229</b>
MATERIAIS DIDÁTICOS PARA O ENSINO DE GEOMETRIA NA EDUCAÇÃO INFANTIL E ANOS INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL	
Tânia Barbosa de Freitas Mirian Ferreira de Brito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.72619110721</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>238</b>
MINERALIZAÇÃO AURÍFERA EM ZONA DE CISALHAMENTO, GARIMPO CUTIA, SERRA LESTE, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJAS, BRASIL	
Gilberto Luiz Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.72619110722</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>244</b>

## CÉLULAS COMBUSTÍVEIS: UMA VISÃO TECNOLÓGICA SOBRE BIOGÁS

### **Débora da Silva Vilar**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Aracaju – Sergipe

### **Milson dos Santos Barbosa**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Aracaju – Sergipe

### **Isabelle Maria Duarte Gonzaga**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Aracaju – Sergipe

### **Aline Resende Dória**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Aracaju – Sergipe

### **Lays Imerim Oliveira**

Universidade Federal de Sergipe, Engenharia Ambiental e Sanitária  
Aracaju – Sergipe

### **Caio Vinícius da Silva Almeida**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Aracaju – Sergipe

### **Dara Silva Santos**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos  
Aracaju – Sergipe

### **Luiz Fernando Romanholo Ferreira**

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos

Aracaju – Sergipe

**RESUMO:** O uso contínuo dos combustíveis fósseis como meios energéticos tanto para a geração de energia veicular quanto como participante frequente na matriz energética brasileira e mundial têm contribuído negativamente para o crescimento de diversos problemas que assolam e prejudicam a natureza e a saúde humana. Além do seu elevado potencial em contribuir com problemas diversos ambientais, como emissão de gases poluentes na atmosfera, são recursos energéticos finitos uma vez que podem se tornar escassos. Os dispositivos eletroquímicos nomeados de células a combustível surgem como meios alternativos capazes de fornecer energia de forma mais limpa em relação aos combustíveis fósseis, uma vez que ao contrario destes, tem a água com o produto da reação. Nas células a combustível, o uso de diferentes combustíveis como fonte de alimentação vem sendo desenvolvidos a fim de superar as limitações encontradas com o uso de cada de um deles. Dentre os combustíveis que podem ser utilizados, encontra-se o biogás, uma mistura de diferentes gases obtidos a partir da degradação anaeróbica de resíduos orgânicos. Contudo, para que esta mistura gasosa possa ser usada como fonte de alimentação precisa inicialmente

ser purificada, isto é, necessita passar por processos que promovam a remoção de gases dotados de potencialidade de envenenar os catalisadores usados nos eletrodos, para que assim os riscos da queda do desempenho dos mesmos ocasionada pelo envenenamento sejam minimizados. Nos últimos anos, tem crescido os avanços de maturação de tecnologias de biogás e sustentabilidade econômica para plantas de biogás de pequena e grande escala

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração de energia. Células a combustível. Biogás

## FUEL CELLS: A TECHNOLOGICAL VIEW ON BIOGAS

**ABSTRACT:** The continued use of fossil fuels as energy resources for both vehicular energy generation and as a frequent participant in the Brazilian and world energy matrix has contributed negatively to the growth of several problems that are detrimental to nature and human health. In addition, to their high potential to contribute to environmental problems, such as the emission of polluting gases into the atmosphere, they are finite energy resources since they can become scarce. The named electrochemical devices of fuel cells appear as alternative means capable of supplying energy in a cleaner way in relation to the fossil fuels, since unlike these, it has the water with the major product of the reaction. In fuel cells, the use of different fuels as a power source has been developed in order to overcome the limitations encountered with the use of each of one of them. Among the fuels that can be used, the biogas, a mixture of different gases obtained from the anaerobic degradation of organic waste. However, for this gaseous mixture to be used as a power source, it needs to undergo processes that promote the removal of gases with the potential to poison the catalysts used in the electrodes. In recent years, advances in the maturation of biogas technologies and economic sustainability have grown for small and large-scale biogas plants

**KEYWORDS:** Energy generation. Fuel cells. Biogas

## 1 | INTRODUÇÃO

O petróleo bruto, o carvão e o gás são os principais recursos para o abastecimento mundial de energia, e as tecnologias desenvolvidas a base desses combustíveis fósseis estão cada vez mais escassos e caros. Além disso, a dependência desses combustíveis fósseis é um dos problemas mais desafiadores que precisam ser tratados vigorosamente nos últimos tempos, uma vez que, sua produção promove impacto negativo no meio ambiente e contribui para muitas preocupações globais, como mudanças climáticas, depleção de camada de ozônio, chuvas ácidas e redução da cobertura vegetal, o que favorece uma crise ambiental em escala planetária. A partir dessa problemática, a comunidade técnico-científica e empresas da área de energia, buscam fontes de energia renováveis, como solução para substituir os recursos de combustíveis fósseis, a fim de promover baixo impacto ambiental e geração de energia

com alta eficiência (SHAFIEE e TOPAL, 2009; LACHER e TARASCON, 2014).

As células combustíveis surgem como a principal alternativa de conversão de energia do futuro, uma vez que fornecem eficiência energética e operação limpa. Ademais, seu mecanismo de funcionamento, opera sem ruído ou vibração, não possuem peças móveis, o que permite menos manutenção, e sua modularidade permite uma construção simples e uma ampla gama de aplicações em geração de energia portátil, estacionária e de transporte. Quando comparada com as baterias, essas células fornecem capacidade de recarga instantânea. Em suma, as células de combustível fornecem uma conversão de energia primária mais simples, mais eficiente e flexível de energia química (WILBERFORCE *et al.*, 2016; DEKEL, 2017).

Como uma fonte de energia e sem a emissão de poluentes (CO<sub>2</sub>) prejudiciais para o meio ambiente, o hidrogênio, é o combustível fundamental para geração de energia elétrica, ao combinar com o oxigênio em reações eletroquímicas nas células de combustível (EDWARDS *et al.*, 2008). Este combustível é um dos elementos mais abundantes do planeta e pode ser obtido de diversas fontes, como água, biomassa, gás natural, etanol, entre outros. De modo geral, o hidrogênio deve passar por estágios como produção, armazenamento e distribuição, para ser usado nas células combustíveis ou em motores de combustão interna (SINIGAGLIA *et al.*, 2017).

Outra alternativa promissora é o uso do biogás, uma vez que é considerado um combustível renovável para produzir eletricidade “verde”, calor ou combustível de veículo, no qual é gerado a partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos (resíduos de fazenda, lodo de esgoto, aterro sanitário, entre outros). A composição do biogás produzido é fortemente dependente do substrato utilizado e da tecnologia do biodigestor. E o seu ciclo de produção ainda permite a reciclagem desses resíduos orgânicos, redução de patógenos através do saneamento, bem como a redistribuição de nutrientes inerentes ao processo, que possibilitam benefícios agrícolas e ambientais (HOLM-NIELSEN *et al.*, 2009; BUDZIANOWSKI, 2016). Segundo a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (Abiogás), a produção de biogás do Brasil alcança cerca de 20 bilhões de metros cúbicos por ano, nos setores sucroalcooleiro e na produção de alimentos. Já no setor de saneamento básico, resíduos sólidos e esgotos domésticos é de três bilhões de metros cúbicos por ano.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo fornecer uma visão geral, do cenário atual, acerca de células combustíveis, bem como destacar as principais tecnologias que contribuem significativamente nos processos de produção do biogás, a fim do desenvolvimento sustentável e segurança energética. Além de relatar os possíveis desafios enfrentados no mercado da energia, e os países que precisam intensificar pesquisas e modificações para tornar a indústria de células de combustível mais acessível e sustentável.

## 2 | METODOLOGIA

O desenvolvimento metodológico baseou-se num levantamento bibliográfico sobre células combustíveis, incluindo o princípio de funcionamento, suas características, reações químicas envolvidas e a importância do seu aperfeiçoamento, bem como os tipos de combustíveis utilizados, e os processos de obtenção do biogás. Este último tópico, foi elaborado através de uma pesquisa efetuada nas bases de dados de artigos científicos, no portal *Web of Science*, utilizando a combinação das palavras-chave “*Fuel-cell and Biogas and Microorganism*”.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Prospecção

A Figura 1 exibe o número de registros de artigos científicos e patentes tecnológicas utilizando a combinação das palavras-chave “*Fuel-cell and Biogas and Microorganism*”. É possível verificar que o número de patentes foi mais de seis vezes maior que o número de artigos científicos levantados, com 98 patentes contra 15 artigos.

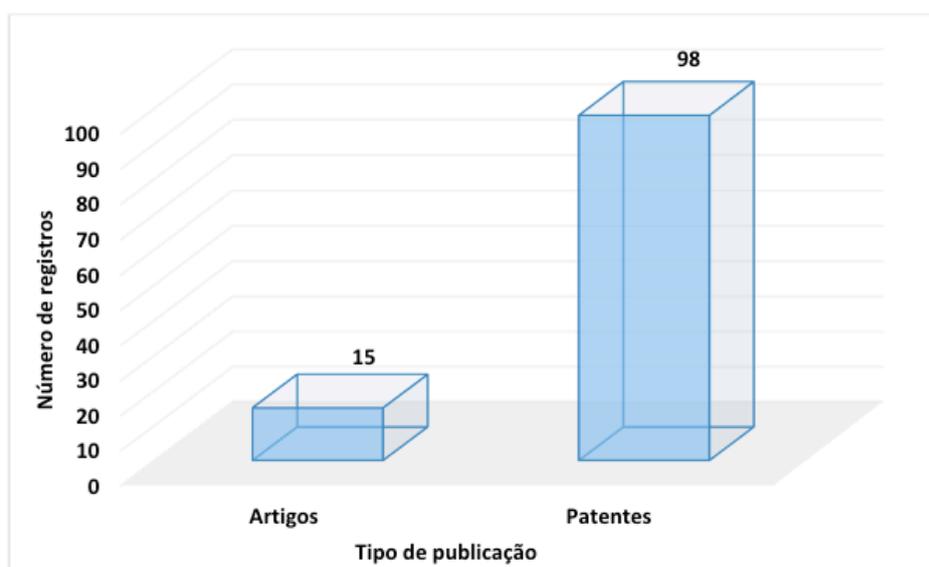


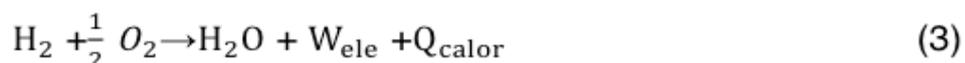
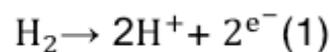
Figura 1: Número de registros de artigos e patentes para a combinação das palavras-chave “*Fuel-cell and Biogas and Microorganism*”.

### 3.2 Células combustíveis

As células combustíveis fazem parte de uma nova classe de tecnologias de geração de energia, uma vez que são dispositivos capazes de converter direta e eletroquimicamente a energia química provinda de combustíveis em energia elétrica e térmica (BUDZIANOWSKI, 2016). Em princípio, as células combustíveis são transdutores eletroquímicos, que ao combinar hidrogênio e oxigênio em reações eletroquímicas, produzem corrente contínua, por meio da alimentação constante

do oxidante (oxigênio) e do combustível. Estes conversores operam sob elevada eficiência energética, não produzem poluição sonora e apresentam flexibilidade de uso do combustível, ciclos operacionais longos, modularidade, elevada integração com fontes renováveis, além de promover baixo impacto ambiental, já que não emite particulados, e a depender da tecnologia utilizada, sem emissão de gases ácidos para o meio ambiente (ELMER *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2017). Quando comparadas com geradores e baterias convencionais de motores de combustão interna, as células combustíveis podem produzir eletricidade continuamente, enquanto que as baterias apenas armazenam energia (EDWARDS *et al.*, 2008).

De um modo geral as células a combustível possuem estrutura básica similar, sua célula unitária consiste de dois eletrodos, um eletrodo catódico (polo positivo) e um eletrodo anódico (polo negativo), o eletrólito (ou meio eletrolítico como comumente é chamado) e um circuito externo (ONG *et al.*, 2017). As reações eletroquímicas de oxidação e redução realizadas por estes dispositivos para produzir corrente elétrica ocorrem no eletrodo anódico, onde o combustível alimentado é oxidado, e no eletrodo catódico, onde o oxidante alimentado é reduzido, (Figura 2) para produzir corrente elétrica. Os eletrodos consistem em um material poroso que é coberto com uma camada de catalisador (geralmente a platina). O hidrogênio molecular (H<sub>2</sub>) é alimentado no ânodo a partir de uma corrente de fluxo de gás, onde ele reage eletroquimicamente e é então oxidado para produzir íons e elétrons de hidrogênio, que migram através do eletrólito ácido e transitam/atravessam pelo circuito externo em direção ao cátodo, respectivamente, conforme mostra a Equação 1. Neste sentido, os elétrons e os íons de hidrogênio ao chegar ao polo positivo reagem com o oxigênio para formar água por meio da Equação 2 e por meio da reação global envolvendo energia e calor (Equação 3), e participam assim da reação de redução do oxigênio alimentado no eletrodo catódico da célula. (PEIGHAMBARDUST *et al.*, 2010, O'HAYRE *et al.*, 2016; DEKEL, 2017):



Dois são os modos aos quais as células a combustível podem ser classificadas. São subdivididas de acordo com o tipo de eletrólito (ácido ou alcalino, líquido ou sólido), ou seja, é determinada pelo tipo e pureza do combustível e oxidante utilizados, e de acordo com suas temperaturas operacionais, sendo consideradas de baixas temperatura aquelas que operam na faixa de 80 à 150 °C, intermediárias 150 à 250 °C, temporárias 250 à 650 °C, e altas aquelas que operam em temperaturas superiores

à 650 °C. Existem atualmente seis tipos de células de combustível estabelecidas no mercado (SHARAF e ORHAN, 2014; DODDS *et al*, 2015):

- 1) Célula combustível de membrana de troca de prótons (PEMFC);
- 2) Célula de combustível alcalino (AFC);
- 3) Célula de combustível líquido direto (DLFC);
- 4) Célula de combustível de ácido fosfórico (PAFC);
- 5) Célula de combustível de carbonato fundido (MCFC);
- 6) Célula de combustível de óxido sólido (SOFC).

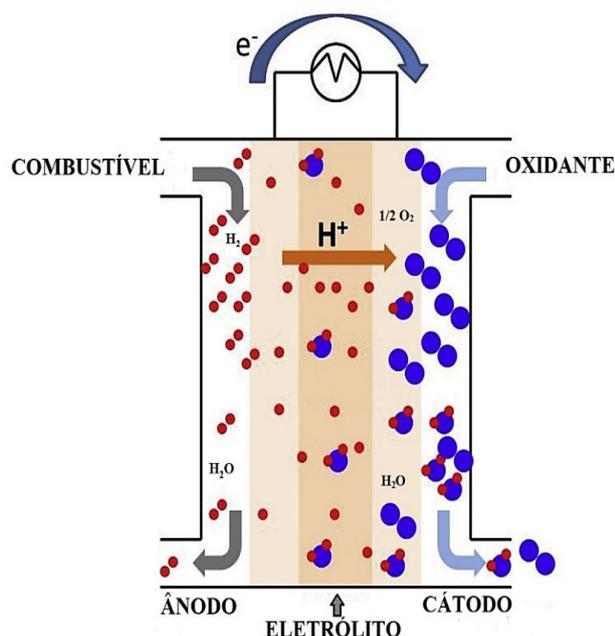


Figura 2: Operação típica da célula combustível.

Fonte: Adaptado de Dekel, 2017.

De forma geral, o eletrólito determina o limite de temperatura de cada tipo de célula eletroquímica. As células PEMFC, AFC e DLFC são classificadas como sendo células de baixa e intermediária temperatura de funcionamento (80-250°C), enquanto que as PAFC, MCFC e SOFC são consideradas células de temperatura operacional temporária e alta (250-1000°C). Contudo, a temperatura de funcionamento destes dispositivos pode ser influenciada por alguns fatores, como: usabilidade do calor, tempo de inicialização e capacidade de variar a produção (KIRUBAKARAN *et al.*, 2009; ELMER *et al.*, 2015). No que diz respeito aos combustíveis utilizados nestes dispositivos os mais comuns são: o gás natural, o hidrogênio, GLP, biogás e alguns combustíveis líquidos, como o metanol e o etanol (os mais utilizados dentre os que vêm sendo estudados para aplicação nas células a combustível de líquido direto. A maioria das células mencionadas acima usam o hidrogênio devido as características que o

combustível apresenta, como: a possibilidade de ser obtido de fontes sustentáveis, não contribuir com o nível de toxidade do meio ambiente e ter densidade energética mássica superior a de outros combustíveis; contudo limitações quanto a sua produção e ao seu armazenamento sob alta pressão somados a fatores que ele pode ocasionar se tornaram fortes barreiras no avanço tecnológico desta alternativa energética (ONG *et al.*, 2017) simple structure, small fuel cartridge, instant recharging, and ease of storage and transport. Alcohols such as methanol and ethanol were the most common types of fuel used, although glycols and acids are also used. The main problem that arose in direct liquid fuel cells (DLFCs). A utilização de biogás é mais desafiadora do que a utilização do gás natural devido a vestígios de impurezas que podem envenenar catalisadores e ao enriquecimento de CO<sub>2</sub> que pode contribuir para a deposição de carbono. Portanto, as células de combustível alimentadas com biogás requerem configurações especiais e abordagens de tratamento de combustível para minimizar esses efeitos negativos (KIRUBAKARAN *et al.*, 2009; VAN BIERT *et al.*, 2016).

### 3.3 Biogás

A China e a Índia foram os primeiros produtores de biogás, utilizando-o como fonte de iluminação e cocção, possuindo como matéria-prima resíduos alimentares e dejetos em geral. A partir de 1950 outros países passaram a utilizar lodo de esgoto como fonte de digestão anaeróbica, tendo como principal objetivo a sua redução. Porém, com a crise do petróleo nos anos 70, surgiu a necessidade de aproveitar o biogás produzido neste processo, impulsionando pesquisas relacionadas a otimização da digestão anaeróbica da matéria orgânica. Já a partir da década de 90 houve a popularização desse processo, alimentado por restaurantes, frigoríficos e outros (KARLSSON *et al.*, 2014).

O biogás consiste, geralmente, de uma mistura de um terço de metano, um terço de dióxido de carbono, nitrogênio, hidrogênio, oxigênio, gás sulfídrico e amônia, variando de acordo com a matriz orgânica, e quando purificado pode ser usado na produção de energia e como combustível veicular. Este é obtido pela degradação anaeróbica de resíduos orgânicos através de microrganismos em biodigestores projetados especialmente para a sua produção. Também é comum a produção de biogás em pântanos, aterros sanitários e locais onde ocorre a decomposição natural de celulose. Biodigestores são equipamentos utilizados na produção de biogás. Uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico em solução aquosa, o qual sofre decomposição, produzindo metano, dióxido de carbono, biofertilizantes e outros gases (KARLSSON *et al.*, 2014).

Existe uma grande variedade de modelos de biodigestores, estes são adaptados de acordo com a necessidade da produção e podem ser do tipo contínuo ou batelada. Os contínuos são alimentados em intervalos de tempo. Já do tipo batelada, todo o resíduo é inserido, mantendo o biodigestor fechado durante o processo. Durante seu dimensionamento é analisada a quantidade, tipo e tratamento do resíduo e geração

de energia e biofertilizante. Os modelos mais conhecidos são o Indiano, que possui pressão de operação constante e deve apresentar concentração em torno de 8% de sólidos totais para evitar entupimento dos canos de entrada e saída do material; e chinês, quase totalmente de alvenaria, de baixo custo, porém com problemas de vazamento se não for devidamente vedado (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Os aterros sanitários são considerados reatores biológicos, onde são depositados resíduos urbanos e água, produzindo gases e chorume. O processo possui duas etapas: decomposição aeróbia que ocorrem, geralmente na deposição do resíduo. Depois dessa etapa, inicia-se a redução de oxigênio, e assim a decomposição anaeróbia. A quantidade dos gases produzidos irá depender da idade do aterro, sendo influenciados também por projeto e operação do aterro, composição e idade do resíduo, entre outros. Sendo assim, desde 2010 foram realizados investimentos em aterros sanitários e em galpões de triagem a fim de utilizar técnicas adequadas quanto a destinação do biogás produzido (MMA, 2017).

A produção de biogás depende da concentração de nutrientes, impermeabilidade do ar, umidade, tamanho das partículas, temperatura e pH. A concentração dos nutrientes no reator é um valor referencial de importância decisiva na produção de biogás, a taxa de crescimento e a atividade das diversas populações estão condicionadas à concentração e a disponibilidade desses nutrientes. Há uma diferença de produção quando se tem ou não contato com oxigênio, a decomposição na presença de ar irá gerar dióxido de carbono, diferente de um processo anaeróbico que produzirá metano, por esse motivo é de grande importância que o biodigestor esteja vedado. Quanto à umidade, esta irá depender da presença de água no resíduo, impermeabilização do fundo do biodigestor, pluviosidade da região e tipo de cobertura (ROHSTOFFE, 2010).

Em relação ao tamanho das partículas, existe um aumento na velocidade de degradação quando estes resíduos são menores. A variação da temperatura acima ou abaixo da faixa de temperatura de cada microrganismo pode acarretar a inibição dos microrganismos, podendo levar até mesmo a danos irreversíveis. O valor do pH no sistema é determinado automaticamente pelos metabólitos ácidos e alcalinos produzidos na decomposição anaeróbia, e se reduz quando a capacidade de tamponamento do sistema se esgota, ou seja, quando ocorre um acúmulo muito grande de ácidos orgânicos (ROHSTOFFE, 2010).

### **3.4 Processo de obtenção do biogás**

A digestão anaeróbica é o processo utilizado para a produção de biogás e gera vantagens ambientais devido a utilização de resíduos orgânicos como matéria-prima para sua produção, e redução das emissões de metano e dióxido de carbono para a atmosfera. Neste processo, os microrganismos participantes estão divididos em três grandes grupos com comportamentos fisiológicos diferentes: bactérias fermentativas, bactérias acetogênicas e bactérias metanogênicas (KARLSSON *et al.*, 2014). A Figura

3 representa um esquema do processo de digestão anaeróbica, dividido em quatro fases principais.

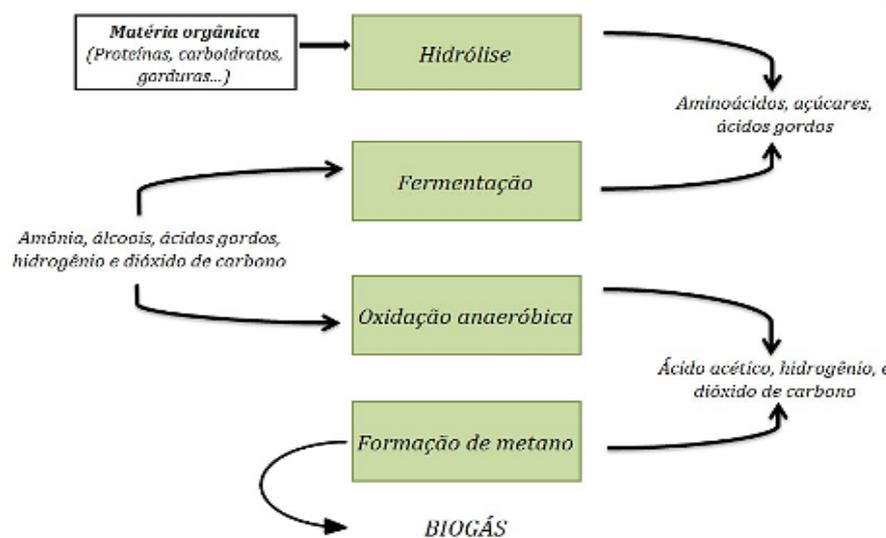


Figura 3: Representação esquemática das etapas de digestão anaeróbica.

Fonte: Manual básico de biogás, 2014.

A hidrólise é uma fase lenta, responsável pela quebra do material orgânico em pequenas moléculas, facilitando a alimentação dos microrganismos. Na segunda fase, acidogênese, os produtos da hidrólise são transformados em compostos mais simples (ácidos graxos voláteis, ácido láctico, sulfeto de hidrogênio, entre outros) através da sua metabolização no interior das células de bactérias fermentativas. Na acetogênese, as bactérias conduzem à oxidação dos produtos da segunda fase, produzindo substrato (hidrogênio, o dióxido de carbono e ácido acético) para a metanogênese. Nesta quarta fase, estas bactérias utilizam uma menor quantidade de substrato. Elas são divididas em dois grupos: o primeiro, que forma metano a partir do ácido acético ou metanol e o segundo, que produz metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono. Sendo esses dois grupos responsáveis pelo consumo de hidrogênio nas outras fases. Assim, pode-se notar que a digestão anaeróbica é composta por diversos microrganismos, os quais geram produtos que servem de alimento para outros tipos de microrganismos dentro do processo, sendo necessários fatores ambientais apropriados para todas as espécies participantes (KARLSSON *et al.*, 2014). Qualquer tipo de biomassa tem potencial para ser um substrato para a produção de biogás por digestão anaeróbica, desde que contenha carboidratos, proteínas, gorduras e celulose e como componentes principais. Tais fatores tornam cada vez maior o número de pesquisas científicas voltadas à obtenção do biogás por meio da digestão anaeróbica (BRAUN, 2007), como mostra a Tabela 1.

Produto	Condições	Tipo de reator	Referência
Biometano	159 dias 35 °C <i>Methanobacterium sp.*</i>	Sistemas bioelectroquímicos	Battle-Vilanova <i>et al.</i> , 2015
	60 dias 35 °C <i>Auxenochlorella protothecoides*</i>	Biorreator heterotrófico	Bohutskyi <i>et al.</i> , 2014
	25 dias 37 °C <i>Geoalkalibacter*</i>	Sistemas bioelectroquímicos	Marone <i>et al.</i> , 2016
	3 dias 37 °C <i>Pseudomonas fluorescens*</i>	Biorreator de filtro anaeróbico	Nettmann <i>et al.</i> , 2013
Biohidrogênio	10 dias 15–35 °C Metanogênico*	Biorreator fermentativo e célula eletroquímica	Golubet <i>et al.</i> , 2013
	3 dias 4 °C Hidrogenase*	Biorreator fermentativo	Kern <i>et al.</i> , 2016
	24 dias 35 °C Metanogênico*	Biorreator Microbiano Assistido Eletroquimicamente	Tommasi <i>et al.</i> , 2012
Biofilme	41 dias 30 ± 2 °C <i>Porphyromonadaceae*</i>	Pilha de combustível microbiana	Daghio <i>et al.</i> , 2014

\*Micro-organismo

Tabela 1: Trabalhos científicos utilizando a digestão anaeróbica para produção de biogás em reatores batelada.

### 3.5 Aplicações do biogás

As políticas internacionais estabeleceram que até 2020, pelo menos 25% de toda bioenergia pode ser originária do biogás. Uma parte importante das energias renováveis será originária a partir de materiais biomassa e co-produtos oriundos das indústrias convencionais (HOLM-NIELSEN e AL-SEADI, 2009). Dessa forma, a utilização de biogás no mercado da energia provavelmente irá acelerar, à medida que os problemas de economia e aceitação do mercado sejam superados. A demanda de biogás segue uma tendência exponencial, como consequência da crescente participação das energias renováveis no fornecimento mundial de energia, incluindo a necessidade de tecnologias baseadas em matérias-primas sustentáveis. A inserção do biogás no mercado é altamente dependente da qualidade das matérias-primas regionais, além das condições políticas e econômicas favoráveis (WELLINGER *et al.*, 2013).

O biogás tem vantagens definitivas, mesmo que comparadas com outras alternativas de energia renovável. Pode ser produzido quando necessário e pode ser facilmente armazenado. Pode ser distribuído através da infraestrutura de gás natural existente e usado nas mesmas aplicações, como o gás natural. Além da utilização de

eletricidade renovável e produção de calor, o biogás pode substituir os combustíveis fósseis no setor de transporte (NEVES *et al.*, 2009). Existem vários fins de utilização de biogás, que incluem (HOLM-NIELSEN e AL-SEADI, 2009; GRANDO *et al.*, 2017; KADAM *et al.*, 2017):

- Geração de calor, vapor, eletricidade ou refrigeração na indústria;
- Produção de eletricidade com produção combinada de calor e energia;
- Utilização como combustível para veículos;
- Produção de produtos químicos e/ou proteínas;
- Injeção nas redes de gás natural;
- Estabilização de sistemas de energia solar;
- Combustível para células de combustível.

Uma maneira eficiente de integrar o biogás no setor de energia é a atualização do biogás para a melhoria da qualidade do gás natural (biometano) e injetá-lo na grade de gás natural existente. Como o biogás nem sempre pode ser usado nas proximidades das instalações de produção, nas áreas agrícolas, a injeção de biogás atualizado como biometano nas redes de gás natural amplia as oportunidades de transporte e uso de biogás nas grandes áreas de consumo de energia, onde a concentração da população está situada (WELLINGER *et al.*, 2013; GRANDO *et al.*, 2017).

Um exemplo notável de aplicação do biogás é a sua utilização como combustível veicular na Suécia, onde o mercado do biogás vem crescendo ligeiramente nos últimos anos. Em 2014, a Suécia tinha 139 estações de tratamento, 35 digestores anaeróbicos de resíduos sólidos e outros 5 digestores anaeróbicos de resíduos industriais que abasteceram 46.975 carros, 2.315 ônibus e 755 caminhões. Eram 17% da frota total de ônibus do país rodando com biometano (biogás purificado). O resultado é que o país construiu uma indústria sólida de biogás e biometano capaz de movimentar os transportes urbanos das suas cidades a partir apenas dos seus resíduos orgânicos. Um excelente exemplo é a cidade de Borås, na região Sul da Suécia, reaproveita 99% do lixo produzido. Apenas 1% não tem serventia alguma e vai para o aterro. Por causa do lixo que é transformado em energia, os moradores pagam até 50% a menos na conta de luz e o transporte público sai 20% mais barato (PECHSIRI *et al.*, 2016; KARLSSON *et al.*, 2017).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o uso do biogás no Brasil poderia abastecer 12% de toda matriz energética nacional. Entretanto, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o país só usa 0,05%. Os dados chamam a atenção para a necessidade de se investir na produção do biogás como fonte a diversificar a brasileira e contribuir com o meio ambiente (SALOMON e LORA, 2009; BARROS *et al.*, 2014). Esse baixo aproveitamento está associado a falta de

confiabilidade nas tecnologias brasileiras para produção e tratamento do biogás por parte dos investidores do setor energético. Além disso, no Brasil, a energia elétrica ainda é muito barata porque é proveniente das hidrelétricas. Mas ao se comparar com o valor de custos, impostos e distribuição, o biogás pode ser mais barato que a energia que o usuário compra da rede. Essa visão tende a ser cada vez ampliada nos próximos anos, uma vez que o Brasil já tem unidades comerciais operando em todas as escalas com tecnologias ambientalmente, energeticamente e economicamente sustentáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A Tabela 2 apresenta exemplos brasileiros de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto que produzem biogás (SALOMON e LORA, 2009; BARROS *et al.*, 2014; PIÑAS *et al.*, 2016).

O maior investimento do governo brasileiro para produção de biogás é o Aterro Sanitário de Gramacho, que fica na baixada fluminense em Duque de Caxias, no Rio de Janeiro. Inaugurado em 1978, o espaço foi cedido à Comlurb e funcionou como lixão da capital até junho de 2012, quando foi encerrado por causa da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20). Ainda como lixão, em 2009, a empresa Gás Verde S. iniciou a extração e produção do biogás bruto, por meio de 301 poços de produção, tubulações de coleta e estação de bombeio. O gás, até então era simplesmente queimado, impedindo que o metano, que tem impacto 21 vezes maior que o gás carbônico em termos de efeito estufa, fosse lançado na atmosfera. A partir de então, o biogás passou a ser purificado até obter a qualidade equivalente ao gás natural, transformando-se em gás verde, que é então transportado para abastecimento parcial da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC), da Petrobras (SALOMON e LORA, 2009; PIÑAS *et al.*, 2016).

Nome/Local	Tipo de resíduo	Produção	Aplicação
Estação de Tratamento Ribeirão (São Paulo)	Efluentes líquidos	8.000 m <sup>3</sup> /dia (65% metano)	Energia elétrica e térmica
Estação de Tratamento Arrudas (Minas Gerais)	Efluentes líquidos	25.000 m <sup>3</sup> /dia (67% metano)	Energia elétrica
Central de Tratamento Caieiras (São Paulo)	Efluentes líquidos	17.600 m <sup>3</sup> /dia	Energia elétrica
Aterro São João (São Paulo)	Sólidos urbanos	15.000 m <sup>3</sup> /h (50% metano)	Energia elétrica
Aterro Bandeirantes (São Paulo)	Sólidos urbanos	135.000 m <sup>3</sup> /dia	Energia elétrica
Aterro Dois Arcos (Rio de Janeiro)	Sólidos urbanos	5,5 milhões m <sup>3</sup> /ano	Energia elétrica
Aterro Gramacho (Rio de Janeiro)	Sólidos urbanos	160 milhões m <sup>3</sup> /ano	Energia elétrica

**Tabela 2:** Exemplos brasileiros de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto que produzem biogás.

## 4 | CONCLUSÃO

As células combustíveis produzem com segurança energia e água para diferentes áreas da sociedade e qualquer combustível rico em hidrogênio pode ser utilizado na célula combustível, como gás natural, propano, gás de aterros e biogás. A tecnologia de biogás promove benefícios ao meio ambiente, economia e conservação de energia. Vastos recursos de biomassa, incluindo resíduos orgânicos, têm potencial para uso como matéria-prima para a produção de biogás. O biogás é um gás combustível que consiste principalmente em metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é produzido, majoritariamente, por digestão anaeróbica de compostos orgânicos. O biogás é usado principalmente para geração de energia elétrica, mas também apresenta grande potencial para ser utilizado como combustível de transporte para veículos, geração de produtos químicos e combustíveis para células de combustível. Nos últimos anos, tem crescido os avanços de maturação de tecnologias de biogás e sustentabilidade econômica para plantas de biogás de pequena e grande escala. Finalmente, com base na pesquisa relatada, verificou-se ainda que o aproveitamento do biogás é economicamente viável com incentivos governamentais, uma vez que promove o aproveitamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos de forma sustentável.

## REFERÊNCIAS

BARROS, R. M.; FILHO, G. L. T.; DA SILVA, T. R. **The electric energy potential of landfill biogas in Brazil.** *Energy Policy*. *Energy Policy*, Vol. 65, p. 150-164, 2014.

BRAUN, R. **Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development.** In: **Improvement of crop plants for industrial end uses.** *Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses*, p. 335-416, 2007.

BUDZIANOWSKI, W. M. **A review of potential innovations for production, conditioning and utilization of biogas with multiple-criteria assessment.** *Renewable and sustainable energy reviews.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, p. 1148-1171, 2016.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada,** Enc. Energ. Meio Rural, 2002.

DEKEL, D. R. **Review of cell performance in anion exchange membrane fuel cells.** *Journal of Power Sources*, Vol. 375, p. 158-169, 2017.

DODDS, P. E.; STAFFELL, I.; HAWKES, A. D.; LI, F.; GRÜNEWALD, P.; MCDOWALL, W.; EKINS, P. **Hydrogen and fuel cell technologies for heating: a review.** *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 40, p. 2065-2083, 2015.

EDWARDS, P. P.; KUZNETSOV, V. L.; DAVID, W. I.; BRANDON, N. P. **Hydrogen and fuel cells: towards a sustainable energy future.** *Energy Policy*, Vol. 36, p. 4356-4362, 2008.

ELMER, T.; WORALL, M.; WU, S.; RIFFAT, S. B. **Fuel cell technology for domestic built environment applications: State of-the-art review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 42, p. 913-931, 2015.

GRANDO, R. L.; DE SOUZA ANTUNE, A. M.; DA FONSECA, F. V.; SÁNCHEZ, A.; BARRENA, R.;

- FONT, X. **Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 80, p. 44-53, 2017.
- HOLM-NIELSEN, J. B.; AL-SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. **The future of anaerobic digestion and biogas utilization.** *Bioresource technology*, Vol. 100, p. 5478-5484, 2009.
- FLORIO, D. Z. de.; FONSECA, F. C.; MUCCILLO, E. N. S.; MUCCILLO, R. **Materiais cerâmicos para células a combustível de óxido sólido.** *Cerâmica*, Vol. 64, p. 569–571, 2008.
- KADAM, R.; PANWAR, N. L. **Recent advancement in biogas enrichment and its applications.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 73, p. 892-903, 2017.
- KARLSSON, N. P.; HALILA, F.; MATTSSON, M.; HOVESKOG, M. **Success factors for agricultural biogas production in Sweden: A case study of business model innovation.** *Journal of Cleaner Production*, Vol. 142, p. 2925-2934, 2017.
- KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C.E.; KOCH, F.F.; PEDROSO, A.G. **Manual básico de biogás.** Ed. Univates, Lajeado, 2014.
- KIRUBAKARAN, A.; JAIN, S.; NEMA, R. K. **A review on fuel cell technologies and power electronic interface.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, p. 2430-2440, 2009.
- LARCHER, D.; TARASCON, J. M. **Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage.** *Nature chemistry*, Vol. 7, p. 19-29, 2015.
- MMA- Ministério do meio ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 04 de setembro de 2017.
- NEVES, L. C. M.; CONVERTI, A.; PENNA, T. C. V. **Biogas production: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones.** *Chemical engineering & technology*, Vol. 32, p. 1147-1153, 2009.
- O'HAYRE, R.; CHA, S. W.; PRINZ, F. B.; COLELLA, W. **Fuel cell fundamentals.** *John Wiley & Sons*, 2016.
- OLIVEIRA, L. G. S.; NEGRO, S. O. Endogenous and exogenous influences on the evolution of Brazilian Biogas Innovation System, 2017.
- ONG, B. C.; KAMARUDIN, S. K.; BASRI, S. **Direct liquid fuel cells: A review.** *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, p. 10142–10157, 2017.
- PECHSIRI, J. S.; THOMAS, J. B. E.; RISÉN, E.; RIBEIRO, M. S.; MALMSTRÖM, M. E.; NYLUND, G. M.; GRÖNDAHL, F. **Energy performance and greenhouse gas emissions of kelp cultivation for biogas and fertilizer recovery in Sweden.** *Science of the Total Environment*, Vol. 573, p. 347-355, 2016.
- PEIGHAMBARDOUST, S. J.; ROWSHANZAMIR, S.; AMJADI, M. **Review of the proton exchange membranes for fuel cell applications.** *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 35, p. 9349-9384, 2010.
- PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S., OLIVEIRA, M. A. D.; ROALCABA, O. D. C. **Landfills for electricity generation from biogas production in Brazil: comparison of LandGEM (EPA) and BIOGAS (Cetesb) models.** *Revista Brasileira de Estudos de População*, Vol. 33, p. 175-188, 2016.

ROHSTOFFE, F. N. Guia prático do biogás: geração e utilização, Probiogás, 5ª edição, totalmente revista e atualizada, Gülzow, 2010.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. **Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil.** *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, p. 1101-1107, 2009.

SHAFIEE, S.; TOPAL, E. **When will fossil fuel reserves be diminished.** *Energy Policy*, Vol. 37, p. 181-189, 2009.

SHARAF, O. Z.; ORHAN, M. F. **An overview of fuel cell technology: Fundamentals and applications.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 32, p. 810-853, 2014.

SINIGAGLIA, T.; LEWISKI, F.; MARTINS, M. E. S.; SILUK, J. C. M. **Production, storage, fuel stations of hydrogen and its utilization in automotive applications-a review.** *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 43, p. 1543-1612, 2017.

VAN BIERT, L.; GODJEVAC, M.; VISSER, K.; ARAVIND, P. V. **A review of fuel cell systems for maritime applications.** *Journal of Power Sources*, Vol. 327, p. 345-364, 2016.

WELLINGER, A.; MURPHY, J. D.; BAXTER, D. **The biogas handbook: science, production and applications.** Elsevier, 2013.

WILBERFORCE, T.; ALASWAD, A.; PALUMBO, A.; DASSISTI, M.; OLABI, A. G. **Advances in stationary and portable fuel cell applications.** *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, p. 16509-16522, 2016.

XU, Q.; ZHANG, F.; XU, L.; LEUNG, P.; YANG, C.; LI, H. **The applications and prospect of fuel cells in medical field: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 67, p. 574-580, 2017.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Jorge González Aguilera:** Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: [jorge.aguilera@ufms.br](mailto:jorge.aguilera@ufms.br)

**Alan Mario Zuffo:** Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: [alan\\_zuffo@hotmail.com](mailto:alan_zuffo@hotmail.com)

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-472-6

