



# Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos – transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil



Klaus Fricke, Christiane Pereira, Aguinaldo Leite, Marius Bagnati



**Klaus Fricke – Christiane Pereira  
Aguinaldo Leite – Marius Bagnati  
Coordenadores**

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**  
transferência de experiência  
entre a Alemanha e o Brasil

Parte I

**Technische Universität Braunschweig  
Braunschweig – 2015**

1ª Versão: Junho – 2015

**Versão Atualizada: Maio – 2017**

Publicado por: ANS e.V., Braunschweig

Apoio financeiro: Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF

Coordenadores: Klaus Fricke  
Christiane Pereira  
Aguinaldo Leite  
Marius Bagnati

Capa: Wiese Foto + Film GmbH & Co.KG, Porta Westfalica, Germany

Tradução: Christiane Pereira  
Sabine Robra  
Simone Dealtry

Revisão textual: Luciane Pansolin

Projeto gráfico: Letras e Formas

Revisão técnica: Christiane Pereira

ISBN: 978-3-924618-46-9

Esse e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

1ª Versão: **Junho – 2015.**

Versão Atualizada: **Maió – 2017.**

---

FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos:** transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015.

---

Uso autorizado desde que citada a fonte e informado via e-mail: [grrsu.br@gmail.com](mailto:grrsu.br@gmail.com)

Copyright: © TU Braunschweig, 2015

Beethovenstraße 51a – 38106 Braunschweig – Germany  
[www.lwi.tu-bs.de](http://www.lwi.tu-bs.de)

# COLABORADORES

Aguinaldo Leite

Alexander Gosten

Aline Cardoso Domingos

Anderson Luiz de Araújo

André Luiz da Conceição

Andreas Jaron

Anne-Sophie Fölster

Anton Zeiner

Antonio Marius Zuccarelli Bagnati

Axel Hüttner

Beate Vielhaber

Bertram Kehres

Bruno Mattheeuws

Burkart Schulte

Camila Barbi Campos

Carlo Vendrix

Carlos RV Silva Filho

Carsten Cuhls

Christiane Pereira

Christine Pereira-Glodek

Christof Heußner

Diana Piffer Gigliotti

Diego de Carvalho Frade

Eduardo Tomasevicius Filho

Erick Meira de Oliveira

Franz Vogel

Gabriel de Carvalho Gimenez

Gabriela Gomes Prol Otero

Helge Dorstewitz

Helge Wendenburg

Hélinah Cardoso Moreira

Herbert Beywinkler

Hubert Baier

Jens Giersdorf

José Luiz Crivelatti de Abreu

Kai Münnich

Karlgünter Eggersmann

Kátia Goldschmidt Beltrame

Klaus Fricke

Lauro Raphael Acorci Donadell

Luc A. De Baere

Lucas Aparecido Rodrigues

Luiz Gustavo Gallo Vilela

Lutz Hoffmann

Magnus Martins Caldeira

Marcelo de Paula Neves Lelis

Marcelo Foelkel Patrão

Maria Thelen-Jüngling

Markus Bux

Michael Balhar

Michael Ludden

Olga Kasper

Paulo Belli Filho

Roberta da Silva Leone

Rodrigo Miguel Pereira Batalha

Sabine Robra

Sebastian Wanka

Simone Neiva Rodella

Tacio Mauro Pereira de Campos

Theo Schneider

Thomas Schlien

Thomas Turk

Victor Bustani Valente

Vinicius Silva de Macedo

Wilhelm Winkelmann

# APRESENTAÇÃO

*Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke*

*Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira*

A Política Nacional de Resíduos Sólidos desloca o tema resíduo sólido para outro patamar, extrapolando discussões voltadas exclusivamente para formas de disposição final em aterros. O novo arcabouço legal incorpora a consciência das riquezas e potencialidades possíveis no manejo dos resíduos, ao passo que também nos revela os erros e omissões que se acumularam nos últimos trinta anos.

Ao debatermos o tema “Gestão Sustentável dos Resíduos Sólidos Urbanos” teremos em pauta a extensão do nosso problema e da nossa responsabilidade frente à proteção ambiental. Neste momento, devemos afastar de nossa consciência qualquer ilusão de facilidade, qualquer desejo de soluções mágicas, qualquer tentação de fazer ações espetaculares.

Da mesma forma, devemos afastar o desânimo, o desespero de achar que os problemas não têm solução, que o mercado de resíduos não suportará a implantação da Política Nacional. É hora de sentarmos à mesa. É hora de estudarmos, avaliarmos e compararmos. É hora de questionarmos. É hora de juntos pensarmos em soluções dinâmicas e eficientes, que, com segurança técnica, possam responder aos anseios do mercado, do poder público e, sobretudo da sociedade.

O livro tem como objetivo abrir uma discussão multidisciplinar integrando vários segmentos do mercado a fim de permitir o delineamento de ferramentas para a implementação de uma gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos. Os debates abrangem desde as tecnologias na forma de fermentação, compostagem, secagem, reciclagem e recuperação energética até o fornecimento de informações, a assessoria na introdução de uma gestão sustentável de resíduos e, ainda, a engenharia e conteúdo científico, bem como os aspectos relevantes para implementação dos projetos, tais como tendências e desafios da gestão, entre outros aspectos do mercado.

Esta publicação técnica irá fornecer ainda conhecimento global deste novo mercado e também a construção de uma inter-relação com o setor dos resíduos no âmbito Brasil-Alemanha, estabelecendo um intercâmbio com instituições alemãs ícones em práticas que garantem a proteção climática e a preservação dos recursos naturais, oportunizando assim uma troca permanente de experiências, através da educação profissional e tecnológica.

A publicação é composta de três capítulos que abordam a gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos na Alemanha e no Brasil e ainda retratam o estado da arte das tecnologias para valorização desses resíduos.

É com imensa alegria que oportunizamos uma publicação que reforçará o modo de discutirmos as melhores práticas na gestão dos resíduos sólidos urbanos, reconhecendo que não

foram medidos esforços para sua realização tanto pelos autores quanto pelo Ministério Federal de Educação e Pesquisa (*Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF*) e pela Agência Alemã de Cooperação Internacional (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH – GIZ*) através do programa PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil).

Os rumos que tomamos no presente definem nosso futuro.

*Jundiaí e Braunschweig,  
Junho de 2015*

**Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:**

FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane. Apresentação. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246I>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Maió – 2017**.

# SUMÁRIO

[Veja o sumário paginado no final]

Colaboradores

Apresentação

Parte III

TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Tecnologias Ambientais:

ferramentas para a valorização de resíduos sólidos urbanos

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke

Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira

FINEP e seu Papel na Gestão de

Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

*FINEP and its Role in Urban Solid Waste Management in Brazil*

Engenheiro de Petróleo Erick Meira de Oliveira

Engenheiro Civil e Ambiental Diego de Carvalho Frade

## **Otimização de Sistemas de Tratamento de Resíduos através de Conceitos Modulares**

*Optimization of Waste Treatment Systems through Modular Concepts*

Engenheiro Civil Karlgünter Eggersmann

## **A Tecnologia DRANCO**

*The DRANCO Technology*

Engenheiro Bruno Mattheeuws

Engenheiro Luc A. De Baere

## **Biodigestão – Tecnologia Kompogas**

*Biodigestion – Kompogas Technology*

Engenheiro Carlo Vendrix

## **Tratamento Biológico Aerado em Leiras Envelopadas com o Sistema GORE® Cover**

*Aerated Biological Treatment with Closure Windrows  
under GORE® Cover System*

CEO Thomas Schlien

CEO Franz Vogel

**Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento de Recicláveis  
em uma Planta de Tratamento Mecânico-Biológico**

*Municipal Solid Waste with Recycling Recovery  
at one Mechanical and Biological Plant*

Químico Michael Ludden

**Secagem do Lodo do Esgoto Comum e Industrial em  
Plantas de Tratamento de Águas Residuais:  
uma forma sustentável de administração do lodo**

*Drying of Sewage Sludge form Communal and Industrial Waste  
Water Treatment Plants: A sustainable way of sludge management*

PhD. Doutor Markus Bux

**Análise de Risco: combustão em plantas de  
tratamento mecânico-biológico e em áreas de  
armazenagem e disposição final de resíduos**

*Risk Analysis: combustion in mechanical-biological plants  
and storage and final disposal areas of waste*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira

## Consulte, também, as Partes I e II:

### PARTE I

#### GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA ALEMANHA

##### **A Alemanha como Protagonista do Desenvolvimento Socioambiental em Gestão de Resíduos**

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira

##### **A Eficiência dos Recursos e Gestão da Reciclagem: implementação na Alemanha**

*Resource Efficiency and Recycling Management: implementation in Germany*

Doutor Helge Wendenburg

##### **Eficiência Energética da Reciclagem de Materiais e da Recuperação Energética de Frações Seleccionadas dos Resíduos**

*Energy Efficiency of Material Recycling and Energy Recovery of Selected Waste Fractions*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira

##### **Gestão Internacional de Resíduos: desafios, medidas e possibilidades**

*International Waste Management: challenges, measures and chances*

Doutor Andreas Jaron

##### **CReED – Centro para Pesquisa, Educação e Demonstração em Gerenciamento de Resíduos**

*CReED – Centre for Research, Education and Demonstration in Waste Management*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Dipl.-Engenheiro Nuclear Burkart Schulte  
Dipl.-Germanística Lutz Hoffmann  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira

##### **Formação Profissional e Continuada: instrumento fundamental para uma gestão sustentável dos resíduos**

*Continuously Capacity Building: a fundamental instrument for a sustainable waste management*

Dipl.-Germanística Lutz Hoffmann

**Estado da Arte e Potencial de Desenvolvimento do  
Tratamento Mecânico-Biológico na Alemanha**

*State of the Art and Development Potential of Mechanical and Biological Treatment in Germany*

Engenheiro Civil Michael Balhar

**Tratamento de Emissões Gasosas Provenientes de  
Plantas de Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos**

*Treatment of Gaseous Emissions from Mechanical-Biological Treatment of Municipal Solid Waste*

Doutor Engenheiro Civil e Químico Ambiental Carsten Cuhls

**Lições Aprendidas Sobre Como Proceder com a  
Digestão Anaeróbia e Outras Plantas de Tratamento de Resíduos**

*Lessons Learned on the Way to Realize Anaerobic Digestion Plants and Other Waste Treatment Plants*

Engenheiro Civil Theo Schneider

Engenheiro Civil e Ambiental Herbert Beywinkler

**Experiências Comprovadas com Combustíveis Alternativos em Fornos de Cimento**

*Proven Experiences with Alternative Fuels in Cement Kilns*

Doutor Hubert Baier

**Gestão de Qualidade: certificação de produtos para o emprego sustentável do composto  
orgânico**

*Quality Assurance: product certification for sustainable application of compost*

Doutor Bertram Kehres

Engenheira Agrônoma Maria Thelen-Jüngling

**A Biodigestão de Resíduos Sólidos na Alemanha**

*The Biodigestion of Solid Waste in Germany*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira

Engenheiro Civil Christof Heußner

Engenheiro Mecânico Axel Hüttner

Engenheiro Mecânico Thomas Turk

**Valorização de Resíduos Sólidos Urbanos:  
conceito, experiências operacionais e otimização**

*Recovery of Municipal Solid Waste:*

*concept, operational experience and optimization*

Doutora Geóloga Beate Vielhaber

**Exploração e Beneficiamento do Biogás Obtido na  
Planta de Fermentação da Cidade de Berlim**

*Exploitation and Beneficiation of Biogas Derived from Fermentation Plant of the City of Berlin*

Engenheiro Mecânico Wilhelm Winkelmann  
Doutor Engenheiro de Minas Alexander Gosten

**Aproveitamento Energético do Biogás**

*Biogas for Energy Production*

Doutora Engenheira Agrônoma Sabine Robra

**Tecnologias de Purificação de Biogás**

*Technologies for Clean up the Biogas*

Engenheiro Civil Helge Dorstewitz  
Engenheiro Mecânico Axel Hüttner

**Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de  
Tratamento de Esgoto: *status quo* na Alemanha e no Brasil**

*Energetic Use of Biogas in Wastewater treatment Plants: status quo in Germany and Brazil*

Engenheira Ambiental Hélinah Cardoso Moreira  
Engenheiro Victor Bustani Valente

**Comportamento dos Aterros quando da Disposição de  
Resíduos do Tratamento Mecânico-Biológico**

*Landfill Behaviour when Disposal of Residues from Mechanical Biological Treatment*

Doutor Engenheiro Civil Kai Münnich  
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke

**Mineração dos Resíduos Sólidos Urbanos de Aterros Sanitários:  
redução das massas a serem depositadas,  
através do tratamento de frações finas**

*Mining of Municipal Solid Waste Landfills: reduction of masses  
to be landfilled by treatment of the fine fraction*

Doutor Engenheiro Civil Kai Münnich  
Administrador e Engenheiro Ambiental Anton Zeiner  
Engenheiro Civil e Ambiental Sebastian Wanka  
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke

## PARTE II

### GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

#### **A Realidade dos Municípios Brasileiros Frente à Nova Política Nacional de Resíduos Sólidos**

Especialista em Direito Aguinaldo Leite

#### **Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos: desafios e oportunidades**

Engenheiro Civil Antonio Marius Zuccarelli Bagnati

#### **Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil – PROBIOGÁS**

*Project Brazil Germany to Promoting Clean Biogas Technologies in Brazil – PROBIOGÁS*

Engenheiro Civil Magnus Martins Caldeira

Engenheiro Civil Marcelo de Paula Neves Lelis

#### **Tecnologias Sustentáveis para a Gestão de Resíduos da Agroindústria de Santa Catarina**

*Sustainable Technologies for the Agroindustry Waste Management in Santa Catarina*

Doutor Engenheiro Professor Mestre Paulo Belli Filho

#### **Iniciativas de Ensino e Pesquisa em Gestão de Resíduos em Jundiá-SP, Brasil**

*Initiatives for Education and Research in Waste Management in Jundiá-SP, Brazil*

Doutor André Luiz da Conceição

#### **Programa Beija-Flor de Tratamento Descentralizado de Resíduos em Florianópolis-SC, Brasil**

*Hummingbird Program of Waste Treatment Decentralized in Florianópolis-SC, Brazil*

Engenheiro Civil Antonio Marius Zuccarelli Bagnati

Professor Doutor Psicólogo José Luiz Crivelatti de Abreu

#### **Resíduos de Construção Civil – Sistema de Gerenciamento Integrado no Município de Jundiá-SP, Brasil**

*Civil Construction Waste – Integrated Management System by Jundiá Municipality-SP, Brazil*

Especialista em Direito Aguinaldo Leite

Engenheiro Agrícola e Civil Mestre Rodrigo Miguel Pereira Batalha

**Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos em  
Cidades de Menor Porte: caso de Votuporanga-SP, Brasil**

*Sustainable Management of Municipal Solid Waste in Smaller Cities: case of Votuporanga-SP, Brazil*

Geólogo Mestre Luiz Gustavo Gallo Vilela  
Bióloga Simone Neiva Rodella

**Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil:  
benefícios × problemas**

*Composting of Municipal Solid Waste in Brazil: benefits × problems*

Engenheira Agrônoma Mestre Kátia Goldschmidt Beltrame

**Capacitação e Pesquisa Fundamental para Desenvolver e  
Implementar uma Instalação de Tratamento Mecânico-biológico,  
com Estágio de Fermentação Integrada em Jundiaí-SP, Brasil**

*Capacity Building and Fundamental Research to Develop and Implement a  
Mechanical Biological Treatment Facility with an Integrated Fermentation Stage in Jundiaí-SP, Brazil*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira  
Especialista em Direito Aguinaldo Leite  
Professor Doutor Tacio Mauro Pereira de Campos

**Caracterização Inovadora de  
Resíduos Sólidos Municipais**

*Inovative Municipal Solid Waste Characterization*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira  
Professor Doutor Tacio Mauro Pereira de Campos  
Especialista em Direito Aguinaldo Leite  
Anne-Sophie Fölster  
Engenheiro Agrícola e Civil Mestre Rodrigo Miguel Pereira Batalha  
Tecnólogo em Meio Ambiente Anderson Luiz de Araújo  
Gestor Empresarial Lucas Aparecido Rodrigues  
Engenheiro Civil e Especialista em Engenharia Ambiental Marcelo Foelkel Patrão  
Administrador e Especialista em Gestão de Negócios Lauro Raphael Acorci Donadell  
Tecnóloga Aline Cardoso Domingos  
Camila Barbi Campos  
Tecnóloga Diana Piffer Gigliotti  
Gabriel de Carvalho Gimenez  
Tecnóloga Roberta da Silva Leone  
Vinicius Silva de Macedo

**Metodologia de Diagnóstico Ambiental em Grandes Geradores para uma  
Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil**

*Methodology of Environmental Diagnosis in Large Generators for a Sustainable Management  
of Solid Waste in Jundiaí Municipality-SP, Brazil*

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira  
Professor Doutor Tacio Mauro Pereira de Campos  
Especialista em Direito Aguinaldo Leite  
Anne-Sophie Fölster  
Engenheiro Agrícola e Civil Mestre Rodrigo Miguel Pereira Batalha  
Tecnólogo em Meio Ambiente Anderson Luiz de Araújo  
Gestor Empresarial Lucas Aparecido Rodrigues  
Engenheiro Civil e Especialista em Engenharia Ambiental Marcelo Foelkel Patrão  
Administrador e Especialista em Gestão de Negócios Lauro Raphael Acorci Donadell  
Tecnóloga Aline Cardoso Domingos  
Camila Barbi Campos  
Tecnóloga Diana Piffer Gigliotti  
Gabriel de Carvalho Gimenez  
Tecnóloga Roberta da Silva Leone  
Vinicius Silva de Macedo

**Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil:  
panorama, desafios e perspectivas**

*Solid Waste Management in Brazil: overview, challenges and perspectives*

Advogado Carlos RV Silva Filho  
Geógrafa e Mestre em Ciências Gabriela Gomes Prol Otero

**A Política Nacional dos Resíduos Sólidos no  
Funcionamento do Sistema Econômico**

*The National Solid Waste Policy Law for the Economic System*

Professor Doutor Eduardo Tomasevicius Filho

**Os Desafios da Educação Ambiental Formal em Matéria de  
Tratamento de Resíduos Sólidos no Brasil**

*The Challenges for a Formal Environmental Education about Solid Waste Treatment in Brazil*

Pedagoga Christine Pereira-Glodek  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira  
Professor Doutor Eduardo Tomasevicius Filho

**Proteção Climática através de uma  
Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos**

*Climate Protection through Sustainable Waste Management*

Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira  
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Doutor Jens Giersdorf  
Mestre em Geografia Olga Kasper

**Projeto i-NoPa – Capacitação e pesquisa fundamental,  
a fim de gerar metodologia de análise para o desenvolvimento de projeto  
para uma instalação de Tratamento Mecânico Biológico (TMB)  
com fermentação integrada na cidade de Jundiaí-SP**

Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke  
Professor Doutor Tacio Mauro Pereira de Campos  
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira  
Especialista em Direito Aguinaldo Leite

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015.**

Versão Atualizada: **Maior – 2017.**

**Parte III**

**TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

# Tecnologias Ambientais: ferramentas para a valorização de resíduos sólidos urbanos

*Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke*

*Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira*

Em decorrência do número excessivo de aterros, acima de 100.000 e os impactos ambientais identificados a partir destas práticas, durante as últimas três décadas o mercado alemão voltou-se para a busca de soluções para fins de proteção ambiental através da mitigação de impactos e proteção natural pela substituição dos recursos primários pelos secundários. Esta empreitada tomou força no momento em que o valor da energia alcançou níveis elevados, foram identificadas a influência na mudança climática provocada pela emissão de gases de efeito estufa a partir dos aterros, podendo representar entre 8 a 12% das emissões antrópicas, e foram valorizados alguns elementos químicos como metais pesados, fosfato, entre outros. Desta forma, todos esses fatores remontaram na formação de um arcabouço de tecnologias extremamente avançadas, com controles ambientais bastantes conservadores e altos índices de desvio de massa, seja na forma de incineração seja na forma de tratamento mecânico e biológico.

A combinação de todos estes fatores gerou uma onda de âmbito global extremamente contaminante, variando entre países de alta industrialização, como a Alemanha, até países com baixo desenvolvimento como o Haiti que exporta seus recicláveis para o Paquistão. Todos em prol da recuperação dos materiais a partir da mola propulsora da economia verde. O mercado tem motivado estas novas práticas.

Podemos apresentar um rol de argumentos para a valorização dos resíduos, mas o que efetivamente movimentará o sistema é o entendimento de que existe uma cadeia econômica intensa neste segmento de mercado. A sociedade pode amparar as novas práticas, o poder público pode garantir através de política pública a implementação dos novos sistemas, porém a sustentabilidade dos novos processos de tratamento só estará garantida quando da aceitação e confiança do mercado.

Acompanhando a tendência global, no Brasil estamos vivenciando um momento divisor de águas, reconhecimento do mercado, político e da sociedade, tecnologias amadurecidas disponíveis internacionalmente, políticas de proteção e preservação ambiental, geração de empregos verdes fomentando a inclusão social, todos fatores positivos para o amparo da introdução da gestão sustentável de resíduos sólidos.

As demandas por tecnologias surgiram em decorrência das vinculações diferenciadas instituídas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos que além de diferenciar resíduos de rejeitos, também, em seu artigo 9º, define uma hierarquia de procedimentos no intuito de afastar o aterramento das frações *in natura* e introduzir práticas de valorização.

As tecnologias estudadas neste capítulo ainda não possuem aplicação em escala no mercado brasileiro. Assim, para fins de tropicalização de tecnologias deve-se focar em capacitação e linhas de pesquisa para aplicação e adaptação das tecnologias com base em nossas diversidades climáticas e gravimétricas; e, ainda nossa disponibilidade de peças de manutenção. Isto apenas será possível através da formação de parcerias com entidades governamentais, acadêmicas, de pesquisa, entre outras.

Durante o mapeamento tecnológico abordaremos frentes de valorização de resíduos presentes a nível global que abarcam soluções voltadas tanto para a promoção da reciclagem quanto recuperação energética, quais sejam: processamento de combustível derivado de resíduos (CDR), compostagem e fermentação. Algumas destas frentes foram apresentadas em versões variando das mais simples até as mais complexas em relação ao avanço tecnológico provendo faixas com menores a maiores desvio de massa e complexidade operacional diversificada.

Conceituar uma rota tecnológica demanda o conhecimento do binômio substrato × subproduto. Isto determina a necessidade de mapeamento qualitativo e quantitativo dos resíduos gerados para fins de entendimento de sua potencialidade de valorização, implicando tanto na definição dos sistemas tecnológicos quanto no dimensionamento da planta.

Promover a aplicabilidade tecnológica está diretamente relacionada com estudos de viabilidade operacional, econômica e ambiental. As tecnologias devem ser adaptadas para serem aplicadas ao nosso mercado. Os governos em todas as suas esferas, devem promover linhas de fomento, na forma de financiamentos e subsídios tanto para pesquisa quanto para aplicação em larga escala, ferramentas estas previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, porém ainda não regulamentadas.

Desta forma, a inovação na indústria de resíduos sólidos urbanos poderá ser aplicada diretamente na resolução dos gargalos de infraestrutura e também em aumento de produtividade, onde a produção de novos conhecimentos científicos e tecnológicos, irá acelerar e desburocratizar o relacionamento entre os produtores do conhecimento e as empresas, atendendo prontamente a demanda cada vez mais latente deste mercado que se formou com a edição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

#### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane. Tecnologias Ambientais: ferramentas para a valorização de resíduos sólidos urbanos. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos**: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015.**

Versão Atualizada: **Maió – 2017.**

# **FINEP e seu Papel na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**

## *FINEP and its Role in Urban Solid Waste Management in Brazil*

*Engenheiro de Petróleo Erick Meira de Oliveira*

*Engenheiro Civil e Ambiental Diego de Carvalho Frade*

### **RESUMO**

Um dos maiores desafios com que se defronta atualmente os países em desenvolvimento é a gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos. No Brasil, frente aos déficits na capacidade técnica financeira e administrativa dos municípios em prover serviços adequados de coleta, transporte, processamento e destinação adequada de resíduos, observa-se que a responsabilidade de muitas dessas atividades tem sido transferida para entes privados, numa tentativa de se equacionar questões orçamentais e, ao mesmo tempo, aprimorar a qualidade dos serviços. Contudo, devido à baixa viabilidade econômica e limitações técnicas das tecnologias hoje disponíveis no Brasil, o país ainda está longe de garantir a sustentabilidade no setor. Nesse contexto, a Agência Brasileira de Inovação (FINEP) vem buscando auxiliar as empresas na promoção da inovação no setor de resíduos sólidos, seja através da concessão de crédito a taxas de juros menos elevadas ou até mesmo em alguns casos subvenções econômicas para o custeio de bens, serviços, capacitação de profissionais, dentre outros. Os resultados, apesar de ainda modestos, são bastante promissores.

**Palavras-chave:** Gestão de Resíduos Sólidos. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Inovação. Financiamento Público. Sustentabilidade.

### **ABSTRACT**

Providing good municipal solid waste management (MSW) services continues to be a major challenge in most developing countries. In Brazil, due to lack of organization and/or financial and technical resources, activities such as collection, transportation, processing, treatment and disposal, which were at the responsibility of municipalities, are being outsourced to private companies, in an attempt to soothe public budget constraints and enhance the quality of the services. However, given the low economic feasibility and technical limitations of the current technologies in Brazil, the country remains a long way from ensuring sustainability in this sector. In this context, the Brazilian Innovation Agency (FINEP) has sought to assist companies in promoting innovation in SWM, either by backing low-interest loans or granting economic subvention for the acquisition of goods, services and labour. The results, though still modest, are encouraging.

**Keywords:** Solid Waste Management. National Solid Waste Policy. Innovation. Public Funding. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

O correto gerenciamento dos resíduos sólidos é um dos principais desafios dos grandes centros urbanos no início deste novo milênio. Quase todas as atividades humanas geram resíduos e, com a intensificação dessas atividades e o incremento populacional, o volume gerado atingiu tamanha proporção que sua destinação final tornou-se uma preocupação em diversas regiões ao redor do globo. Além do expressivo crescimento da geração desses resíduos, pode-se elencar, ainda, ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em sua composição e características e o aumento de sua periculosidade (EPA, 2010).

O problema é ainda mais crítico nos países em desenvolvimento, onde os déficits na capacidade financeira e administrativa dos municípios em prover infraestrutura e serviços adequados de abastecimento de água, saneamento, coleta e destinação adequada de resíduos, somados à pouca aplicação prática, por parte da indústria, do arcabouço legislativo vigente, corroboram a disposição inadequada dos resíduos sólidos, causando diversos impactos socioambientais. No Brasil, por exemplo, apesar da elaboração de uma legislação mais restritiva e dos esforços empreendidos em todas as esferas governamentais, a destinação inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ainda se faz presente em todas as regiões e Estados brasileiros. Segundo dados da ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais), em 2013, cerca de 40% do total de municípios brasileiros ainda realizava a destinação final dos resíduos coletados em locais impróprios (ABRELPE, 2013).

Frente ao exposto, diversas iniciativas têm direcionado a atuação dos governos no tocante ao gerenciamento dos serviços de limpeza urbana e disposição final de resíduos nas cidades de médio e grande porte. No Brasil, em particular, observa-se cada vez mais a chamada privatização dos serviços, que se traduz, na realidade, numa terceirização dos serviços, até então executados pela administração pública na maioria dos municípios. Essa forma de prestação de serviços se dá através da contratação, pelas municipalidades, de empresas privadas, que passam a executar, com seus próprios meios (equipamentos e pessoal), atividades como a coleta de resíduos, a limpeza de logradouros, bem como o tratamento e a destinação final dos resíduos. De acordo com Schneider, Ribeiro e Salomoni (2013), outra iniciativa que tem sido bastante praticada em certas regiões são as chamadas soluções consorciadas, onde municípios com áreas mais adequadas para a instalação de unidades operacionais às vezes se consorciam com cidades vizinhas para receber os seus resíduos, negociando algumas vantagens por serem os hospedeiros, tais como isenção do custo de vazamento ou alguma compensação urbanística, custeada pelos outros consorciados.

A terceirização de serviços e o uso conjunto de soluções intermunicipais no Brasil têm mostrado resultados bastante significativos no que tange à coleta de resíduos domiciliares. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), o atendimento da população brasileira pelos serviços de coleta de resíduos domiciliares na zona urbana está próximo da

universalização, tendo sua abrangência expandida de 79%, no ano 2000, para 97,8% em 2008 (IBGE, 2010). No entanto, as questões relacionadas ao correto recebimento e tratamento dos resíduos se encontram ainda distantes de serem equacionadas.

Tabela 1 – Destino final dos resíduos sólidos brasileiros, por unidades de destino – 1989/2008

Ano	Vazadouro a céu aberto	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
1989	88,2%	9,6%	1,1%
2000	72,3%	22,3%	17,3%
2008	50,8%	22,5%	27,7%

Fonte: Adaptado de IBGE (2010, p. 60).

Apesar da disposição final dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários ter aumentado ao longo dos últimos anos no país, como pode ser observado na Tabela 1, cerca de metade dos 5.564 municípios brasileiros em 2008 ainda utilizavam lixões (IBGE, 2010). Em levantamento realizado pela ABRELPE em 2013 este valor já atingia 41,74%, representando uma melhora significativa em relação aos dados coletados em 2008 (ABRELPE, 2013).

Apesar disso, os aterros das grandes cidades caminham para a saturação. Por fim, o alto grau de urbanização atual reduziu significativamente a quantidade de áreas com dimensões e características adequadas para a implantação de aterros sanitários e que sejam, ao mesmo tempo, próximas aos locais de maior produção, a fim de atender às necessidades do município.

Alguns municípios têm buscado soluções alternativas para o destino de resíduos, considerado hoje o principal gargalo do processo de gestão de resíduos sólidos no Brasil. Nesse contexto, vem se destacando a concepção das chamadas Centrais de Tratamento de Resíduos (CTRs), que se configuram em um conjunto de tecnologias integradas, tais como aterros sanitários e industriais, centros de triagem, processamento biológico, compostagem, recuperação de energia, dentre outras, em diferentes unidades de tratamento capazes de promover o gerenciamento completo dos diversos tipos de resíduos, evitando a poluição e minimizando os impactos ambientais e sociais.

Na visão do Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo (SELUR) e da Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública (ABLP), as CTRs constituem hoje a solução mais segura, moderna e eficiente para tratar os resíduos sólidos domiciliares e de grandes geradores (PwC, 2011). Contudo, esse interesse esbarra na imaturidade da própria cadeia de gestão de resíduos, que ainda não dispõe de centros de referência nacionais capazes de desenvolver os conceitos tecnológicos, auxiliar na definição das tecnologias mais

adequadas a cada tipo de resíduo e ainda realizar capacitações do pessoal envolvido. Tal fato, além de configurar um entrave técnico à implementação dos projetos, gera uma insegurança na tomada de decisão por parte dos agentes envolvidos. Outra questão relevante dentro desse contexto diz respeito ao fato de quase a totalidade das tecnologias serem importadas, o que agrega mais alguns obstáculos, relacionados aos aspectos técnico, tributário e de financiamento.

Diante do contexto supracitado, o papel do financiamento público em fomentar a inovação nesse setor assume vital importância, visto que a transferência de tecnologias deve vir acompanhada de processos de adaptação e absorção que permitam a sua adequação às características gravimétricas e climáticas dos resíduos nacionais. Além disso, a simples aquisição de equipamentos – movimento que já vem sendo observado – apresenta riscos relevantes, na medida em que pode ocasionar projetos pouco eficientes, inadequados às exigências ambientais ou ainda com viabilidade econômica questionável. A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), agência brasileira responsável por fomentar a inovação no país, tem exercido papel relevante nessa trajetória. Desde o ano de 2012, quando foi criado um núcleo específico dentro do Departamento de Energia e Tecnologias Limpas (DENE), a carteira de financiamentos em projetos voltados para a gestão de resíduos sólidos apresentou um crescimento significativo, tendo fechado o ano de 2014 com mais de R\$ 555 milhões, sendo R\$ 320 milhões destes oriundos de projetos já efetivamente contratados e um pouco mais de R\$ 235 milhões resultantes de projetos aprovados e em vias próximas de contratação. A proeminência desse setor também ficou evidente com a publicação de um edital específico dentro do Programa Inova Empresa: o “Inova Sustentabilidade”.

Diante disso e levando em consideração o forte apelo ambiental e social em se desenvolver a cadeia de resíduos no país, o presente trabalho se propõe a mapear e revisar as iniciativas inovadoras do setor fomentadas no âmbito da FINEP e propor também diretrizes para atuações futuras. Para tanto, além desta introdução, onde foram apresentadas as justificativas para a escolha do tema de pesquisa bem como seus objetivos, este trabalho contempla outras três seções principais:

- **Rotas Tecnológicas**, onde são expostas as iniciativas inovadoras hoje presentes no setor;
- **Resultados e Próximos Passos**, onde busca-se mostrar o avanço obtido no setor desde a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), datada de 2008, e o que se espera quanto ao seu desenvolvimento nos próximos anos; e
- Conclusões, **sucedidas pelas Referências Bibliográficas utilizadas.**

## 2 ROTAS TECNOLÓGICAS

Até praticamente um pouco mais da metade da década de 2000, grande parte das políticas públicas de gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos estava voltada para a universalização da coleta (SINIR, 2012), deixando de lado os maiores gargalos desse sistema, que é o destino final dos resíduos. Os resultados não poderiam ser diferentes: segundo a última PNSB, um em cada três

municípios brasileiros passou por situações de enchentes, entre 2004 e 2008, sendo a principal causa apontada pelas prefeituras a disposição inadequada de resíduos em ruas, avenidas, lagos, rios e córregos (IBGE, 2010).

Com a promulgação dos marcos legais do setor de resíduos, como a Política Nacional de Saneamento Básico – instituída na Lei nº 11.445, de 2007 – e, principalmente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – formalizada na Lei nº 12.305, de 2010, e posteriormente regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010 –, houve mudanças significativas. As atuais iniciativas no setor de resíduos sólidos brasileiro, que buscam romper o paradigma de alguns anos atrás, passaram a se concentrar em técnicas de tratamento e de valorização de resíduos.

O primeiro consiste na adoção de tecnologias apropriadas para minimizar os impactos gerados pelo descarte inadequado dos resíduos. Já a valorização vai além, transformando-os em um fator de geração de renda, por meio da produção e comercialização de subprodutos. Não há na literatura brasileira, contudo, uma definição clara desse último conceito. Segundo o Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território (MAOT, 2011), o Decreto-Lei nº 73/2011, de Portugal, conceitua a valorização como um subconjunto do tratamento:

[...] ‘Valorização’ qualquer operação, nomeadamente as constantes no anexo II do presente Decreto-Lei, cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico ou a preparação dos resíduos para esse fim na instalação ou conjunto da economia. (MAOT, 2011, p. 3254)

Essa sessão, portanto, abordará as técnicas de tratamento atualmente disponíveis, tema relevante não apenas por constar entre as prioridades da gestão e do gerenciamento elencadas no artigo 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), mas também porque visa explorar as tendências em termos de tecnologia e as possibilidades de valorização.

## 2.1 Aterros Sanitários

A análise das tecnologias iniciará pelos aterros sanitários que, apesar de não se configurarem como um método de tratamento, desempenham um papel importante no contexto nacional, dado que correspondem ao destino final de disposição mais comumente utilizado (SINIR, 2012).

Os aterros, por definição, consistem, basicamente, na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são cobertas com terra ou outro material inerte. Para tanto, o terreno em questão passa por um processo de nivelamento e impermeabilização, sendo também realizadas obras de drenagem para a captação do chorume (percolado do aterro sanitário). Conforme os resíduos vão sendo depositados, são instaladas tubulações que captam parte dos gases gerados nos processos de decomposição. Sua disseminação no Brasil ocorreu por se tratar de uma tecnologia

cuja implantação é simplificada e por ser uma solução que atende a uma grande variedade de classes de resíduos, desde domiciliares até Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), desde que esses últimos tenham passado por um processo de esterilização.

Outro ponto importante diz respeito à atratividade dos aterros do ponto de vista econômico. Um estudo realizado, em 2008, pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) para a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE) mostrou que, para um aterro que recebe cerca de 2.000 ton/dia (carga equivalente à geração de Curitiba – capital do Estado do Paraná –, em 2013), e uma receita estimada de R\$ 46,81/ton, é prevista uma taxa interna de retorno (TIR) para o acionista de 20,42%, bastante significativa quando comparada à taxa SELIC da época (em média 12,5%) (FGV, 2008, p. 18).

Apesar das vantagens supracitadas, com a implantação da PNRS, a perspectiva, contudo, é de um declínio na utilização dos aterros sanitários, já que para estes só deverão ser direcionados os rejeitos e resíduos sólidos que não puderem ser aproveitados por meio de outras técnicas de tratamento e recuperação, conforme o artigo 3º, inciso XV, da PNRS. Isso porque, por se tratar de um método que tem por finalidade apenas a disposição final dos resíduos, o aterro é frequentemente associado a uma técnica ultrapassada de destinação por desperdiçar recursos e não garantir de forma categórica a proteção ambiental. Além disso, sua implantação exige grandes extensões de terra e pode incorrer em danos ambientais significativos, tais como a contaminação dos lençóis freáticos e aquíferos, o escorregamento dos taludes e a explosão devido ao acúmulo de metano.

## 2.2 Compostagem

A compostagem configura-se em um tratamento aeróbio, isto é, na presença de O<sub>2</sub>, tendo como foco os resíduos orgânicos (pertencentes à Classe II-A) que, depois de estabilizados, dão origem a um composto passível de ser empregado na agricultura. Esses são usualmente conhecidos como adubos orgânicos e, caso sejam adicionados minerais – como o Fósforo (P), o Potássio (K) e o Nitrogênio (N) –, passam a receber a denominação de organominerais. De acordo com Fricke *et al.* (2007, p. 24):

[...] Sob condições aeróbias, todos os componentes biológicos formados através dos micro-organismos são biodegradáveis. Este efeito é conhecido pela expressão “onipotência bioquímica”. O processo total de degradação microbiológica aeróbia pode ser resumido da seguinte forma:

Componentes orgânicos + oxigênio = dióxido de carbono + água + energia. (FRICKE *et al.*, 2007, p. 24)

Por se tratar de uma técnica advinda da atividade agropastoril, a compostagem pode ser realizada tanto de forma extensiva como intensiva, como ilustrado nas Figuras 1 e 2. Estas se distinguem, basicamente, em função do nível de automação, processamento e infraestrutura, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Sistematização das tecnologias aeróbias

	Compostagem	
	extensiva	intensiva
<b>Grau de automatização</b>	Baixo	Alto
<b>Proteção contra a emissão de ar</b>	Sob pátio coberto ou coberturas semipermeáveis	Completamente ou parcialmente em áreas fechadas
<b>Disponibilidade de área</b>	Alta	Baixa
<b>Controle de emissões</b>	Baixo	Alta
<b>Custos</b>	Investimento e custos de operação baixos	Investimento e custos de operação altos
<b>Capacidade de processamento*</b>	Baixo, até 10.000 ton/ano	Médio e elevado, a partir de 20.000 ton/ano

\* A capacidade de processamento citada é apenas uma referência, visto que toma como base o mercado alemão, o qual tem restrições mais severas em relação a emissões atmosféricas.

Fonte: Adaptado de Pereira (2014, p. 64).

Figura 1 – Compostagem de leiras abertas (extensiva)



Fonte: Fricke *et al.* (2007, p. 39).

Figura 2 – Máquina revolvedora (intensiva)



Fonte: Fricke *et al.* (2007, p. 45).

Pereira (2014, p. 64) ressalta a versatilidade como uma das principais vantagens da compostagem:

[...] Esses diversos arranjos tecnológicos que variam desde processos mais simples, em áreas abertas com poucos maquinários, até os mais complexos, em áreas fechadas, extremamente automatizadas, permitem que o processo de compostagem seja aplicado em áreas com condições bastante diversificadas independente das condições climáticas ou gravimétricas dos resíduos. (PEREIRA, 2014, p. 64)

Adicionalmente, os compostos orgânicos oferecem maior dificuldade ao carreamento pela água de chuva, tendo em vista a presença de minerais que possibilitam sua maior fixação no solo. O fertilizante organomineral, resultado da adição de minerais ao composto orgânico, proporciona a potencialização dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), isto é, aumenta a assimilação destes pelas raízes. O Ministério Público do Estado do Paraná (MPPR, 2013, p. 16) também cita outras vantagens da utilização desse fertilizante, dentre as quais cabe destacar que:

- a) Atua como fonte de macro e micronutrientes para as plantas;
- b) Reduz as oscilações diárias de temperatura do solo por ser mau condutor de calor;
- c) Exerce efeito controlador sobre várias doenças e pragas de plantas;
- d) Aumenta a estabilidade estrutural do solo, propiciando uma maior resistência à erosão.

Em contrapartida, cabe mencionar a possibilidade de emissão de odores, prejudicial, sobretudo quando o sistema se situa próximo a regiões populosas, neste caso prevalecendo o emprego das tecnologias de aeração intensivas onde há maior controle dos odores. Também constitui restrição importante a grande área demandada por essa tecnologia, no caso dos sistemas extensivos. Por fim, soma-se a isso o fato da compostagem não poder ser empregada para materiais orgânicos de difícil decomposição, tais como couro, borracha e madeira e ainda ter sua aplicabilidade limitada quando o material de entrada for de origem mista, como os resíduos domiciliares coletados de forma tradicional, implicando em um maior esforço mecânico de segregação nas plantas de tratamento.

### 2.3 Tratamento Anaeróbio (Fermentação)

De acordo com Cassini (2003, p. 15):

A digestão anaeróbia [...] é um processo de estabilização biológica complexo no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples como metano e gás carbônico. (CASSINI, 2003, p. 15)

Fricke *et al.* (2007, p. 33 a 35), por sua vez, elencam quatro fases sequenciais para a degradação anaeróbia:

- Na primeira etapa, a **fase hidrolítica**, as moléculas maiores, que muitas vezes são materiais insolubilizados (polímeros), são decompostas em fragmentos solubilizados por meio de enzimas extracelulares.
- Na segunda etapa, a **fase de acidificação**, os produtos da fase hidrolítica são absorvidos por meio de bactérias de fermentação e transformados em ácidos orgânicos (por exemplo, ácido butírico, propiônico, acético), álcoois, H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.
- A terceira etapa é chamada de **fase acetogênica**. Os ácidos orgânicos e álcoois anteriormente gerados formam o ácido acético das bactérias acetogênicas.
- O ácido acético juntamente com uma pequena quantidade de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, são transformados em CH<sub>4</sub> nesta quarta fase (a **fase metanogênica**) pelas metanobactérias. (FRICKE *et al.*, 2007, p. 33 a 35)

Complementarmente, dada as exigências específicas associadas ao meio dos microorganismos (variação de pH, relação de C:N etc.) e a degradação sequencial dos compostos orgânicos, diferentes tipos de processamento pode ser realizados, como mostrado no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Esquema do processo de fermentação conforme a sua gestão



Fonte: Adaptado de Fricke *et al.* (2007, p. 35).

De forma resumida, de acordo com Fricke *et al.* (2007), os processos microbacteriológicos de fermentação podem ser classificados quanto:

a) às faixas de temperatura nas quais os respectivos micro-organismos apresentam rendimento ótimo, sendo a faixa de temperatura mesófila (30-37 °C) mais estável e a faixa de temperatura termófila (50-60 °C) menos estável, porém possibilitando maior geração de gás e níveis maiores de degradação;

b) à separação dos ambientes onde ocorrem as etapas de degradação. No monofásico, todas ocorrem em um mesmo tanque, simultaneamente, possibilitando um tempo de permanência mais prolongado (de 15 a 30 dias). Trata-se de um processo mais instável, visto que pode ocorrer concentração excessiva de determinadas substâncias. O processo multifásico, por sua vez, separa as etapas de hidrólise e acidificação das etapas acetogênica e metanogênica. Essa separação, apesar de encarecer os custos da unidade, permite uma maior adaptabilidade às características de cada grupo de micro-organismos. Desse modo, consegue-se tempos de permanência menores (4 a 20 dias);

c) ao teor de sólidos totais (ST), diferenciando o tratamento anaeróbico em seco (20,0 – 40,0%) e úmido (> 20,0%). Como no processo úmido há acréscimo de água, consegue-se obter uma solução de fácil bombeamento e mistura, o que possibilita a utilização de técnicas convencionais de transporte e mistura. Além disso, outras vantagens do processo úmido são: a fácil liberação do gás e as condições favoráveis de mistura do substrato. O seco, por sua vez, possibilita a utilização de tanques de armazenamento e fermentação de tamanhos menores.

De forma resumida, Fricke *et al.* (2007) elencam as seguintes vantagens da utilização do processo anaeróbico:

a) a redução da emissão de dióxido de carbono proveniente da utilização de combustível fóssil na geração de energia;

b) o aproveitamento eficiente da energia contida nos resíduos, considerando a prescrição para a disposição dos resíduos; e

c) a extensão da vida útil dos aterros, pela redução do volume de resíduos enviados.

Já De Campos (2013) destaca, dentre as principais desvantagens dos fermentadores anaeróbios, a flexibilidade reduzida destes com relação aos materiais pesados, o que exige sua abertura periódica para a retirada dos sedimentos.

## 2.4 Tratamento Mecânico-Biológico

De acordo com Fricke *et al.* (2007, p. 5), o tratamento mecânico-biológico (TMB) ganhou importância considerável a partir do final da década de 1990, na Europa – sobretudo na Alemanha, onde essa categoria responde por cerca de 25,0% do total de resíduos tratados –, devido ao apoio governamental e a inovações de processo. O objetivo principal das diversas técnicas de TMB, que englobam as etapas de tratamento mecânico, físico e biológico, consiste na separação e pré-tratamento dos diferentes componentes dos resíduos e posterior aproveitamento – que pode ser energético ou como insumo industrial –, tratamento e disposição.

Fricke *et al.* (2007, p. 80-81) ainda citam alguns objetivos secundários, igualmente relevantes por estarem associados ao aproveitamento de materiais recicláveis, tais como:

a) Separação de materiais recicláveis, em metais ferrosos e não ferrosos;

b) Separação e preparação para o aproveitamento energético ou para o beneficiamento da matéria-prima (Exemplo: utilização de RCC como material de construção); e

c) Tratamento biológico como pré-tratamento para posterior aproveitamento, tratamento ou disposição (Exemplo: tratamento de chorume para utilização como biofertilizante).

Vale ressaltar que o TMB se constitui numa composição entre os tratamentos mecânicos e biológicos tanto aeróbicos quanto anaeróbicos, na qual é realizada em uma primeira etapa a separação física de materiais indesejáveis ou que podem ser reciclados, tais como plásticos, papelão, alumínio entre outros e ainda o preparo da massa para o tratamento biológico. Essa etapa também inclui a pesagem, classificação, armazenamento intermediário e homogeneização dos resíduos. Na fase biológica esta pode ser para prover simples estabilização da fração orgânica, reduzindo massa e teor contaminante, até empregos mais refinados para produção de energia, geração de composto e secagem visando a produção de combustível derivado de resíduos (CDR). Logo em seguida, temos ainda uma segunda fase de tratamento mecânico, esta opcional, para condicionamento das frações processadas, na forma de peneiramento, trituração e separadores inteligentes.

## 2.5 Aproveitamento do Biogás

A disposição final de resíduos sólidos urbanos produz emissões de gases causadores do efeito estufa. O metano é um gás que, se liberado livremente na natureza, pode atingir a camada de

ozônio, tendo um impacto negativo estimado em vinte e uma vezes pior do que o gás carbônico. Por isso, a simples queima de metano já se caracteriza como um procedimento ambientalmente correto, sendo inclusive fomentada através de políticas que criaram o mercado de venda de créditos de carbono.

Figura 4 – Biodigestor para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos municipais na cidade de Marl, na Alemanha



Fonte: Portal Resíduos Sólidos (2013b).

De acordo com o Portal do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013):

[...] O objetivo do projeto de aproveitamento energético do biogás produzido pela degradação dos resíduos é convertê-lo em uma forma de energia útil tais como: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade. Independente do uso final do biogás produzido no aterro, deve-se projetar um sistema padrão de coleta tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e flare com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano. Existem diversos projetos de aproveitamento energético no Brasil, como nos aterros Bandeirantes e São João, no município de São Paulo, que já produzem energia elétrica. (MMA, 2013)

O gás proveniente dos aterros contribui consideravelmente para o aumento das emissões globais de metano. As estimativas das emissões globais de metano, provenientes dos aterros, oscilam entre 20 e 70 Tg/ano<sup>III</sup>, enquanto que o total das emissões globais pelas fontes

antropogênicas equivale a 360 Tg/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20% do total de metano (MMA, 2013).

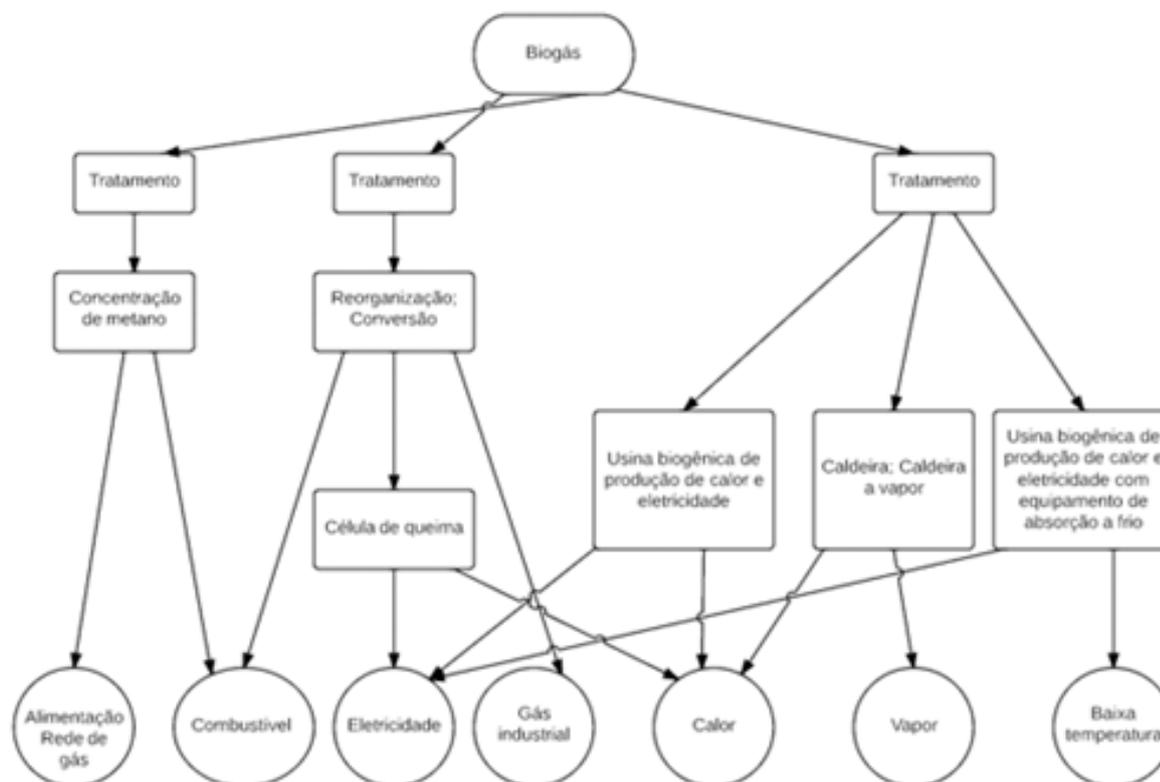
[1] 1 Tg (teragrama) equivale a  $10^3$  Gg (gigagramas). 1 Gg, por sua vez, equivale a  $10^3$  toneladas do gás poluente.

Para o caso brasileiro, segundo o Primeiro Inventário Nacional de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, realizado pelo Governo Federal em 2005, as emissões de metano por resíduos sólidos no Brasil, para o ano de 1990, foram estimadas em 618 Gg, aumentando para 677 Gg no ano de 1994. As emissões de metano geradas no tratamento dos resíduos líquidos de origem doméstica e comercial foram estimadas em 39 Gg para o ano de 1990, subindo para 43 Gg em 1994 (MCT, 2005).

Observa-se que o aproveitamento de biogás configura-se hoje em uma alternativa de valorização de resíduos com bastante potencial a ser explorado. Isto porque, além do forte apelo ambiental em se reduzir o efeito estufa, o biogás pode ser aproveitado como diversas formas de energia útil, como explicitado na Figura 5.

De maneira geral, conforme exposto no Portal dos Resíduos Sólidos (2013a),  $1,0 \text{ m}^3$  de biogás, com uma concentração de 60% de metano, possui conteúdo energético de cerca de 6,0 kWh, ou ainda 0,6 L de Óleo Combustível. Por fim, é importante ressaltar que a coleta do biogás contribui para a segurança dos aterros, na medida em que reduz riscos de explosões ou incêndios.

Figura 5 – Possibilidades de Aproveitamento do Biogás Produzido



Fonte: Fricke *et al.* (2007, p. 63).

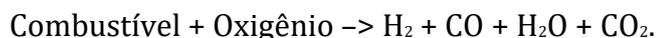
## 2.6 Tecnologias de Conversão Termoquímica

De acordo com Schaeffer (2014), o termo conversão termoquímica descreve a conversão de energia quimicamente armazenada através da influência de calor. Três rotas principais são resumidas sob este termo: a combustão, a gaseificação e a pirólise. A diferenciação entre elas reside principalmente na disponibilidade de oxigênio de cada processo. Na combustão, também chamada de incineração, a quantidade de oxigênio é suficiente para submeter o combustível a uma oxidação completa, ao passo que, na gaseificação, a oxidação do combustível ocorre parcialmente. A pirólise, por sua vez, ocorre na ausência de oxigênio.

Schaeffer (2014) explicita que a reação principal da combustão pode ser descrita, de forma simplificada, como:



Já na gaseificação, a reação principal é representada pela equação:



A partir da análise das duas equações, verifica-se que tanto a gaseificação quanto a combustão percorrem o mesmo caminho de reação, diferenciando-se pelo fato da gaseificação interromper as reações num nível intermediário. Diferentemente dos dois anteriores, na pirólise a conversão termoquímica ocorre na ausência de oxigênio, somente através do craqueamento térmico dos compostos do combustível. Uma definição alternativa da pirólise pode ser encontrada no Atlas da Biomassa, produzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica, que a conceitua como:

[...] O processo que consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300 °C e 500 °C), na “quase-ausência” de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido piro-lenhoso. (ANEEL, 2002, p. 55)

Os produtos gerados nos processos de conversão termoquímica são diferentes. Na combustão, o produto principal do processo consiste num gás de exaustão, que não possui poder calorífico aproveitável. Toda energia quimicamente armazenada no combustível é transformada em calor. Assim, somente o calor contido no gás de exaustão pode ser utilizado para a geração de energia elétrica. Na gaseificação, Schaeffer (2014) explica que o combustível é transformado em gás de síntese (conhecido por syngas), um gás combustível que pode ser encaminhado para outro processo de conversão termoquímica para finalmente gerar energia.

O syngas pode ser utilizado para a produção de combustíveis líquidos – *Coal to Liquid* – como, por exemplo, diesel, gasolina, óleos lubrificantes de elevada qualidade, produtos químicos

(carboquímica) e hidrogênio. O teor de energia desse gás, contudo, é inferior ao teor de energia no combustível original, devido às perdas causadas pela oxidação parcial no processo de gaseificação.

O caso da pirólise é similar ao caso da gaseificação, visto que o combustível não é oxidado, ou seja, transforma-se em outros combustíveis. No entanto, a pirólise consiste na trituração dos resíduos que deveriam ser previamente selecionados, e após esta etapa esses resíduos são destinados ao reator pirolítico onde, através de uma reação endotérmica, ocorrem as separações, em frações sólidas, líquidas e gasosas, dos subprodutos em cada etapa do processo. De acordo com Schaeffer (2014), a divisão quantitativa dessas frações depende das condições de temperatura e tempo de retenção nas quais a pirólise é realizada.

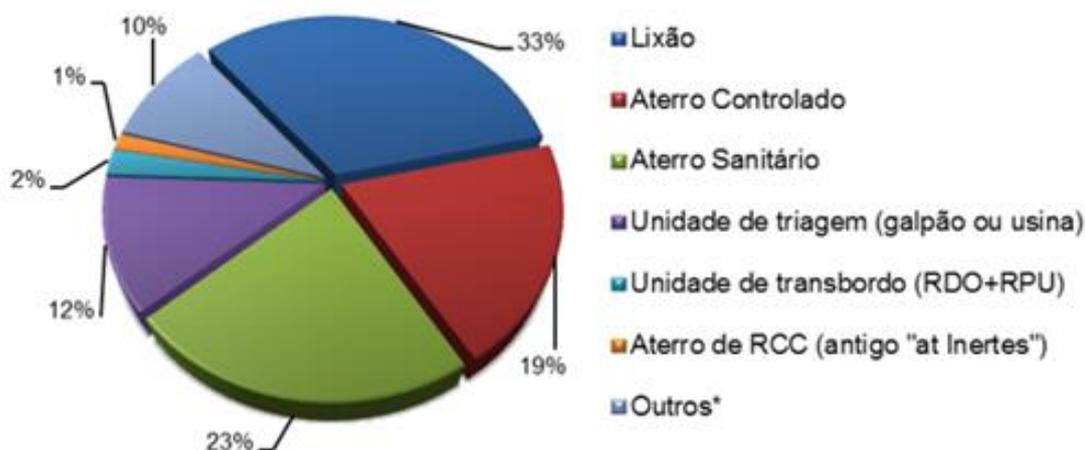
Schaeffer (2014) ainda argumenta que as tecnologias de gaseificação e pirólise ainda não se estabeleceram plenamente, devido ao custo de investimento e maior risco tecnológico, o que justifica os números recentes em favor das tecnologias de combustão (incineração) no Brasil. A atual conjuntura, contudo, pode mudar em um futuro próximo, visto que o número de pleitos submetidos no escopo da FINEP contendo projetos de gaseificação e pirólise tem crescido substancialmente.

Observa-se que a mobilização em prol da viabilidade dessas rotas tecnológicas alternativas se deve, em grande parte, ao apelo ambiental em se reduzir a emissão de substâncias tóxicas, tais como NOX (Óxido Nitroso), dioxinas e furanos, que constitui uma grande desvantagem da incineração, segundo Connett (1998). Além disso, pode-se elencar como outros gargalos dessa tecnologia a necessidade de se operar com um material mais homogêneo, com baixo teor de umidade e poder calorífico consideravelmente alto. Por fim, também é importante mencionar que, para instalações de incineração com capacidade superior a 40 ton/dia, exige-se a apresentação do Estudo de Impactos Ambientais e do Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), segundo a Resolução CONAMA nº 1/1986.

### **3 RESULTADOS E PRÓXIMOS PASSOS**

As alternativas para o tratamento e valorização de resíduos sólidos no Brasil, apesar de ainda modestas, tem registrado avanços inegáveis ao longo desses últimos anos. Conforme ilustrado na Figura 6, as unidades de processamento de resíduos passaram a ganhar destaque ao longo dos últimos anos em comparação com o cenário da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), datada de 2008 e ressaltada na Tabela 1, que somente listava, como unidades de destinação final de resíduos, vazadouros a céu aberto, aterros controlados e aterros sanitários. Adicionalmente, de acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), o compartilhamento de unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares e públicos já se caracteriza como uma prática que cresce a cada dia no País (SNSA, 2014).

Figura 6 – Composição das unidades de destino de RSUs em 2012 no Brasil



\* Unidade de tratamento por micro-ondas ou autoclave; Queima em forno de qualquer tipo; Aterro industrial; Área de reciclagem de RCC; Vala específica de RSS; Área de transbordo e triagem de RCC e volumosos (ATT); Unidade de manejo de galhadas e podas; Unidade de compostagem (pátio ou planta); Unidade de tratamento por incineração.

Fonte: Adaptado de SNSA (2014, p. 92).

As movimentações recentes no setor de resíduos sólidos brasileiro foram, sem dúvida, facilitadas pela intensificação da inovação no setor, onde se propagaram novas tecnologias de ponta com moderado domínio nacional e com adequação às condições ambientais, contribuindo, assim, para a redução dos impactos negativos sobre o meio ambiente. Nesse contexto, o papel da FINEP tem sido de fundamental importância. Além de seu notável resultado em termos de projetos de inovação contratados/em vias de contratação no ano de 2014, a agência demonstrou uma capacidade ímpar de integração de ações de fomento à inovação no setor de resíduos sólidos ao coordenar a publicação, em 2013, de um edital específico dentro do Programa Inova Empresa: o “Inova Sustentabilidade”.

O edital, oriundo de esforços conjuntos da FINEP com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), propunha, no rol de seus objetivos principais, a promoção da Produção Sustentável e do Saneamento Ambiental por meio de iniciativas inovadoras voltadas para a gestão de resíduos sólidos urbanos e industriais.

O resultado do Inova Sustentabilidade foi além do esperado: o programa, que teve uma demanda inicial por recursos da ordem de R\$ 7,6 bilhões, teve um total de R\$ 4,3 bilhões em projetos pré-habilitados, distribuídos em 167 Planos de Negócio, voltados para o desenvolvimento sustentável no País, volume este muito superior ao seu orçamento inicial, de R\$ 2 bilhões (FINEP, 2014a). Vale ressaltar também que, além da concessão de crédito subsidiado para empresas, com taxas extremamente atrativas e com participações de até 90% em certos casos, o edital também

lançou mão da integração de outros instrumentos não reembolsáveis da FINEP, como a Subvenção Econômica para empresas, buscando compartilhar com elas os custos e riscos inerentes às atividades de inovação, e os Projetos Cooperativos Empresa-Universidade, que buscam estimular a pesquisa de desenvolvimento tecnológico e de engenharia não rotineira através da aquisição de novos conhecimentos sobre um determinado produto, sistema ou processo e de seus componentes.

Com respeito ao setor de resíduos sólidos no Brasil, em particular, observa-se que, no contexto do edital do Inova Sustentabilidade, a linha temática de Produção Sustentável figura como a principal destinação das propostas, representando 56% do total e tendo como principais subtemas a Eficiência Energética no Setor Industrial (18%) e os Resíduos Sólidos Industriais (16%). A segunda maior demanda, por sua vez, ocorreu na linha de Saneamento Ambiental (35%), com destaque para o subtema de Resíduos Sólidos Urbanos (16%). Além disso, os indicadores socioambientais do programa mostraram que as empresas estão focadas na redução e também na destinação adequada e utilização de resíduos, colaborando para tornar os produtos e processos produtivos menos nocivos ao meio ambiente. De acordo com o gerente do Departamento de Tecnologia para o Desenvolvimento Urbano e Regional (DURB) da FINEP, Carlos Sartor, dentre os indicadores mais representativos, seis tratam de redução (de emissões e de consumo de água, energia e resíduos) e outros quatro de gestão ou utilização de resíduos (FINEP, 2014b).

Acompanhando a tendência global, observa-se que a gestão dos resíduos sólidos é considerada hoje como um dos temas prioritários na agenda pública brasileira e tem ganhado destaque por parte do setor privado que, graças ao papel do financiamento público em fomentar a inovação no setor, facilitando a transferência de tecnologias e minimizando os riscos associados, passou a enxergar possibilidades de lucrar com suas atividades. Apesar disso, ainda há um longo caminho a ser percorrido, sobretudo com respeito ao desenvolvimento de novas tecnologias no Brasil de tratamento e valorização dos resíduos. Nesse contexto, apesar do papel da FINEP em financiar todas as rotas tecnológicas relacionadas à inovação no setor de resíduos, sejam estas viáveis ou não do ponto de vista econômico, na visão do corpo de analistas da agência, algumas rotas tecnológicas figuram como as mais promissoras para o futuro próximo, tais como a secagem, a mineração e a despolimerização.

A primeira rota consiste na secagem biológica de todos os resíduos orgânicos e inorgânicos ou apenas da fração de alto poder calorífico (inorgânico) para fins de geração de Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), e ainda na expressiva redução de massa quando se refere às frações orgânicas, podendo alcançar até 40% de perda de massa, afastando estas massas dos aterros. A opção por elencar a secagem como uma rota tecnológica promissora nos próximos anos se justifica por sua versatilidade para diferentes cenários brasileiros, já que ela pode ser usada para atender requisitos específicos das indústrias cimenteiras, que exigem insumos com teores de umidade bastante reduzidos (geralmente menores que 20%) ou para se reduzir a massa de frações orgânicas e de alto poder calorífico em aterros, como já mencionado. Além disso, ressalta-se

também que as rotas de secagem possuem bastante espaço para pesquisa e desenvolvimento, sobretudo no tocante à seleção e ao cultivo de bactérias adequadas para diferentes tipos de massas orgânicas e em questões relativas ao aparelhamento mecânico.

Com respeito à Mineração e Recuperação de Aterros (*Landfill Mining and Reclamation*), apesar desta técnica se encontrar ainda pouco difundida mundialmente e não existir casos relevantes de aplicação no Brasil, ela foi aqui elencada pelo expressivo potencial de disseminação, já que hoje há uma grande quantidade de lixões e aterros no país. Em termos gerais, a mineração consiste em um processo pelo qual os resíduos sólidos, anteriormente depositados em aterros são escavados e processados. A função é reduzir a quantidade de massa que pode ser valorizada e se encontra encapsulada no interior do aterro encerrado e, eventualmente, remover material perigoso de modo a possibilitar que a massa do aterro seja substituída. No processo, é possível recuperar materiais recicláveis (os principais sendo solo, plásticos e metais), aumentando também o espaço útil do aterro. Além disso, há a possibilidade do material combustível retirado ser empregado na geração de energia. Por fim, outros benefícios adicionais desta técnica são: a mitigação dos impactos ambientais (poluição dos lençóis freáticos); a recuperação de volume útil de aterramento; e a redução ou eliminação de custos associados com pós-tratamento e monitoramento do aterro.

A qualidade do que é recuperado na mineração figura como principal desvantagem. Os rejeitos obtidos a partir da mineração de um aterro sanitário são, provavelmente, pobres quando comparados aos obtidos a partir do processamento de resíduos recém-descartados. Ademais, esses rejeitos podem estar contaminados com solos, chorume e outras substâncias, resultando em dificuldades na reciclagem de tais itens, o que contribui para reduzir a taxa de retorno dessa atividade. Outro ponto negativo se refere aos impactos ambientais, riscos à saúde e à segurança que podem ocorrer em processos de mineração incorretamente estruturados, dado que materiais potencialmente perigosos podem ser trazidos à superfície, como o amianto.

Vale ressaltar que, desde o primeiro projeto registrado em Israel, na década de 1950 (VAN DER ZEE *et al.*, 2004), a literatura atual sobre Mineração e Recuperação de Aterros identifica hoje um pouco mais de 60 projetos documentados realizados em todo o mundo (RICARDO-AEA, 2013). Em face dos milhões de aterros sanitários existentes em todo o mundo, o pequeno número de projetos de mineração de aterro documentados sugere que essa atividade ainda está longe de ser simples e que tem havido poucos “*drivers*” até o momento. Apesar disso, a FINEP conta com pleitos que buscam viabilizar essa rota tecnológica em um futuro próximo, seja através do desenvolvimento de novos equipamentos ou da simples adaptação de equipamentos de outros segmentos da indústria para viabilizar o melhor aproveitamento dos materiais.

Por fim, com relação à última rota tecnológica elencada, segundo Fricke e Pereira (2015, p. 52):

[...] a despolimerização catalítica em baixa pressão é uma técnica moderna que tem por objetivo principal empregar a olidificação para otimizar a

reciclagem dos metais e minerais inclusive as terras raras e metais estratégicos. A produção de derivados de petróleo, carvão e gás pode ser entendido como um objetivo secundário. Tendo duas aplicações principais sendo a primeira na forma de conversão de resíduos e substâncias residuais ricas em carbono, como plásticos, têxteis, papel etc., em frações de alta energia de petróleo, gás e carvão (Char) e a segunda o processamento de materiais compostos-plásticos-metais por transferência da matriz plástica integrada com metais e minerais em uma forma mais simplesmente separável pelo uso do processo de olidificação. Por exemplo, os resíduos eletrônicos que contêm altas quantidades de metais preciosos e minerais integrados aos plásticos, e também resíduos de fios elétricos, sucata automotiva e similares são adequados como matéria-prima.

A despolimerização catalítica em baixa pressão tem que ser enquadrada como um processo de pirólise. Estabelecendo um comparativo entre a pirólise e os processos de gaseificação e incineração, temos que a pirólise é a que mais se identifica quanto as suas características de temperatura e de pressão.

Neste método, em contraste com a clássica pirólise, se trabalha através da utilização de catalisadores, a temperaturas mais baixas, até 500 °C e sob pressão normal, resultando em baixo consumo de energia e menor formação de dioxinas e furanos.

A partir do processo é possível produzir quatro subprodutos: óleo, carbono (Char), que consiste em carbono e substâncias minerais a partir da matéria-prima, gás rico em energia e água através do processo de secagem. (FRICKE; PEREIRA, 2015, p. 52)

No que diz respeito à viabilidade técnica desta última rota tecnológica apontada, há duas verdades incontestáveis: da mesma forma que ela pode ser enquadrada como a tecnologia que quebrará paradigmas da gestão de resíduos, observa-se também ela não possui, ainda, lastro suficiente que comprove sua viabilidade econômica. As plantas hoje em operação são de pequena escala e com substratos homogêneos, apesar de alguns fornecedores apresentarem sua adaptabilidade para substratos diversificados. Ressalta-se que também há dúvidas – no que tange aos resultados operacionais –, visto que, com bastante frequência, observam-se estimativas extremamente otimistas tanto com relação à capacidade operacional quanto às quantidades de subprodutos geradas.

## 4 CONCLUSÕES

A Lei nº 12.305/2010 deslocou o tema da gestão sustentável de resíduos sólidos para outro patamar, extrapolando as discussões antes voltadas exclusivamente para formas convencionais de disposição final, tais como vazadouros a céu aberto e aterros, para as Centrais de Tratamento de Resíduos (CTRs). Ao introduzir conceitos relacionados ao tratamento e valorização de resíduos e estabelecer metas, prazos e penalidades para a aplicação de Planos de Gerenciamento e institucionalizar os acordos setoriais, a lei obrigou o setor a sair da inércia e a adotar uma postura mais profissionalizada, bem como estimulou a diversificação dos serviços prestados.

No cenário atual, a demanda da indústria de resíduos segue concentrada na busca por infraestrutura, tecnologia e sistemas inovadores de gestão, levando em consideração tanto aspectos técnico-operacionais como a identificação dos arranjos tecnológicos mais adequados para otimizar o gerenciamento dos resíduos brasileiros, que contam com características diferenciadas em cada região do país. Nesse contexto, a FINEP, como agência brasileira de inovação, tem assumido uma posição estratégica, buscando compartilhar com as empresas, através da disponibilização de créditos subsidiados a taxas consideravelmente menores às praticadas no mercado e da concessão de recursos não reembolsáveis, os custos e riscos inerentes às atividades de inovação.

Além disso, a agência tem buscado integrar as diversas partes envolvidas no setor através da promoção de eventos técnicos-científicos e de projetos cooperativos entre empresas e universidades brasileiras, também envolvendo recursos não reembolsáveis. Os resultados, conforme mencionado ao longo do texto, foram bem positivos: por parte da FINEP, o número de projetos voltados para a gestão de resíduos sólidos apresentou um crescimento significativo, tendo fechado o ano de 2014 com mais de R\$ 555 milhões, sendo R\$ 320 milhões destes oriundos de projetos já efetivamente contratados e um pouco mais de R\$ 235 milhões resultantes de projetos aprovados e em vias próximas de contratação.

Com relação à resposta do mercado ao apelo da inovação no setor, os indicadores do Inova Sustentabilidade, chamada pública que envolveu recursos da magnitude de R\$ 4,3 bilhões, claramente mostraram que as empresas estão focadas na redução e também na destinação adequada e utilização de resíduos, frente à grande demanda de projetos envolvendo subtemas como Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Sólidos Industriais.

Apesar dos avanços inegáveis nos últimos anos, o equacionamento da geração excessiva e da disposição final ambientalmente segura dos resíduos sólidos no Brasil ainda está longe de ser solucionado. A participação qualificada da sociedade na elaboração e controle das políticas públicas e a integração cada vez maior das prefeituras com as empresas do setor são essenciais para o desenvolvimento da gestão sustentável de resíduos sólidos no Brasil, porém os principais desafios para os próximos anos residem, sobretudo, na viabilização econômica das novas rotas tecnológicas de tratamento e valorização de resíduos e no desenvolvimento de capacidade técnica, onde a participação das instituições públicas de fomento à inovação é imprescindível.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 1**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1986\\_001.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- BRASIL. **Decreto nº 7.404**, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 2010. p. 1. Seção 1. Edição extra. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- CASSINI, Sérgio Túlio (Coord.). **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.
- CONNETT, Paul. Municipal Waste Incineration: A Poor Solution For The Twenty First Century. In: 4th Annual International Management Conference Waste-To-Energy, 1998, Amsterdã. **Anais...** Amsterdã. Disponível em: <<http://home.myfairpoint.net/vzeeai8y/Poorsolution.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2015.
- DE CAMPOS, Tácio M. P. **Relatório Técnico**: avaliação da proposta de tratamento mecânico-biológico para a cidade de Jacareí / SP. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2013.
- EPA – Environment Protection Agency. **Climate Change and Waste**: Reducing Waste Can Make a Difference. Washington, D. C., 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/cc-waste.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

- FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/biblioteca/publicacoes/publicacoes-abetre/FGV%20-%20Aterros%20Sanitarios%20-%20Estudo.pdf/view>>. Acesso em: 07 jan. 2015.
- FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. **Inova Sustentabilidade seleciona R\$ 4,3 bi em projetos**. 04.08.2014a. Disponível em: <<http://finep.gov.br/noticias/todas-noticias/4148-inova-sustentabilidade-seleciona-r-4-3-bi-em-projetos>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. **Inova Sustentabilidade utiliza indicadores socioambientais**. 06.08.2014b. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/4126-inova-sustentabilidade-utiliza-indicadores-socioambientais>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- FRICKE, Klaus; DICHTL, Norbert; SANTEN, Heike; MÜNNICH, Kai; BAHR, Tobias; HILLEBRECHT, Kai; SCHULZ, Olaf. **Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil**. Guia para uma gestão integrada de resíduos sólidos com a aplicação da técnica de TMB compreendendo disposição em aterros, tratamento de chorume e recuperação de aterros desativados. Finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Göttingen, Germany: Hubertus & Co, 2007.
- FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane. **Conceito tecnológico para a valorização de resíduos urbanos: tratamento e disposição final**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 7 jan. 2015.
- MAOT – Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. **Decreto-Lei nº 73**, de 17 de junho de 2011. Portugal: Diário da República 1ª série nº 116. 2011. Disponível em: <[http://www.apambiente.pt/zdata/Políticas/Residuos/DL\\_73\\_2011\\_DQR.pdf](http://www.apambiente.pt/zdata/Políticas/Residuos/DL_73_2011_DQR.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2015.
- MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. In: **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília: MCT, 2005. Parte 2, p. 81-161.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. [201-?a]. 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: 09 jan. 2015.
- MPPR – Ministério Público do Estado do Paraná. **Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. Apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. 2. ed. Curitiba, 2013. Disponível em: <[http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila\\_compostagem\\_Final\\_Pos\\_Print.pdf](http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2015.

- O TEMPO. **Explosão em aterro sanitário mata um e pode afetar o solo.** [2014]. Disponível em: <<http://www.otempo.com.br/cidades/explos%C3%A3o-em-aterro-sanit%C3%A1rio-mata-um-e-pode-afetar-o-solo-1.854454>>. Acesso em: 08 jan. 2015.
- PEREIRA, Christiane Dias. **Rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares.** 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- PORTAL IG. **Deslizamento em aterro sanitário interdita estrada em SP.** [2011]. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/sp/deslizamento+em+aterro+sanitario+interdita+estrada+em+sp/n1300099006829.html>>. Acesso em: 08 jan. 2015.
- PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Biogás.** [2013a]. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/biogas/>>. Acesso em: 09 jan. 2015.
- PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Biodigestor de Resíduos Sólidos orgânicos municipais de Marl na Alemanha.** [2013b]. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/biodigestor-de-residuos-solidos-organicos-municipais-de-marl-na-alemanha/>>. Acesso em: 09 jan. 2015.
- PwC – PricewaterhouseCoopers Serviços Profissionais Ltda. **Guia de orientação para adequação dos Municípios à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).** São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.ablp.org.br/pdf/Guia\\_PNRS\\_11\\_alterado.pdf](http://www.ablp.org.br/pdf/Guia_PNRS_11_alterado.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2015.
- RICARDO-AEA. **Feasibility and Viability of Landfill Mining and Reclamation in Scotland. Escócia, 2013.** Disponível em: <<http://www.ricardo-aea.com/cms/assets/Documents-for-Insight-pages/Resource-efficiency/Feasibility-and-Viability-of-LFMR-Scotland-1904130.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- SCHAEFFER, R. **Tecnologias críticas para o desenvolvimento econômico e inovação tecnológica do Brasil.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.
- SCHNEIDER, Dan Moche; RIBEIRO, Wladimir Antonio; SALOMONI, Daniel. Orientações básicas para a gestão consorciada de resíduos sólidos. In: Secretaria de Gestão Pública (SEGEP); Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (AECID). **Inovação na gestão pública – Cooperação Brasil-Espanha.** Brasília: Editora IABS, 2013. Cap. 7, p. 1-220. Disponível em: <[http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/segep/modernizacao\\_gestao\\_bra\\_esp/2013/Volume\\_7.pdf](http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/segep/modernizacao_gestao_bra_esp/2013/Volume_7.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2015.
- SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657)>. Acesso em: 07 jan. 2015.
- SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2012.** Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=104>>. Acesso em: 11 jan. 2015.

VAN DER ZEE, D. J.; ACHTERKAMP, Marjolein Clasine; DE VISSER, Bert-Jan. Assessing the market opportunities of landfill mining. **Waste Management**, v. 24, n. 8, p. 795-804, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15381231>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

#### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

OLIVEIRA, Erick Meira de; FRADE, Diego de Carvalho. FINEP e seu Papel na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos**: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015.**

Versão Atualizada: **Maió – 2017.**

# Otimização de Sistemas de Tratamento de Resíduos através de Conceitos Modulares

*Optimization of Waste Treatment Systems through Modular Concepts*

Engenheiro Civil Karlgünter Eggersmann

## RESUMO

Os impactos ambientais identificados a partir da disposição final dos resíduos sólidos urbanos entraram na pauta de discussões globais em decorrência da necessidade de preservar os recursos naturais e proteger o clima. Desta forma, todos esses fatores remontaram na formação de um arcabouço de tecnologias extremamente avançadas, com controles ambientais bastantes conservadores e altos índices de desvio de massa, seja na forma de incineração seja na forma de tratamento mecânico e biológico. Durante o mapeamento tecnológico abordamos neste artigo frentes de valorização de resíduos presentes a nível global que apontassem soluções voltadas tanto para a promoção da reciclagem quanto recuperação energética, quais sejam: compostagem, fermentação e produção de combustíveis derivados de resíduos. Desta forma, a empresa Eggersmann se posiciona no mercado de forma diferenciada não apenas por possuir grande flexibilidade na configuração dos seus sistemas, devido à construção modular, podendo, portanto, atender exigências básicas, elevadas e até exigências de alta complexidade, mas principalmente por deter uma carteira de projetos amparadas nas diversidades gravimétricas e multiculturais, permitindo assim que sua atuação atenda com plenitude a demanda dos parceiros.

**Palavras-chave:** Resíduos. Reciclagem. Modular. Aeróbio. Anaeróbio. Tratamento.

## ABSTRACT

The environmental impacts identified from the final disposition of solid urban waste entered the agenda of global conversations as a consequence of the need to conserve natural resources and protect the climate. This way, all these factors resulted in formation of a technologies portfolio extremely advanced, with environmental controls quite conservative and high rates of mass reduction, either in the form of incineration is in the form of mechanical and biological treatment. During the technology mapping are discussed in this article a series of alternatives of waste recovery present at global level to pinpoint solutions geared both for the promotion of recycling and energy recovery, which are: composting, fermentation and production of waste fuels. In this way, the company Eggersmann positions itself in the market in a different way not only because it has great flexibility in the configuration of their systems, due to the modular construction, and, therefore, meet basic requirements, high and even demands of high complexity, but mainly by holding a

portfolio of projects supported in gravimetric diversities and multicultural, thus allowing its performance meets with fullness the demand of partners.

**Keywords:** Residues. Recycling. Modular. Aerob. Anaerob. Treatment.

## 1 PORTFÓLIO DE SERVIÇOS

O grupo Eggersmann que engloba várias empresas independentes e hoje emprega cerca de 500 funcionários, emergiu da empresa Fechtelkord & Eggersmann, fundada em 1951 como empresa de construção civil, que abrange hoje os setores da engenharia civil geral e da construção “chave na mão” para municípios, para a indústria e para clientes particulares.

As atividades da Eggersmann Anlagenbau Kompoferm GmbH estão voltadas para a construção de plantas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, com realização de sistemas “chave-na-mão” para o tratamento, por exemplo, de resíduos sólidos urbanos, resíduos orgânicos domésticos e verdes, resíduos do comércio e embalagens leves. A gama de serviços inclui todas as etapas que vão desde o planejamento, desenvolvimento, construção, montagem, comissionamento até os sistemas computacionais de controle tipo EMSR.

Desde 2012, a empresa Eggersmann Anlagenbau Backhus GmbH está integrada ao grupo. Essa empresa atua principalmente na área da tecnologia de sistemas móveis e fixos de reviramento para o tratamento de resíduos orgânicos, através do desenvolvimento, produção e comercialização, em nível mundial, de equipamentos móveis para o reviramento de leiras triangulares e sistemas fixos de reviramento em leiras alinhadas, e fornece também os sistemas periféricos necessários para preparo mecânico dos resíduos.

A empresa BRT Recycling Technologie GmbH se afiliou ao Grupo Eggersmann em 2013. O portfólio técnico engloba a comercialização, o desenvolvimento e a produção de equipamentos-chave para o tratamento de resíduos, como rompedores de sacolas, sistemas de peneiras mecânicas, sistemas de triagem e separação, bem como, a montagem, o comissionamento e os serviços de manutenção.

A empresa Kompotec Sistemas de Compostagem abrange a operação de plantas próprias de compostagem e biodigestão anaeróbia para o tratamento de resíduos orgânicos. A comercialização dos compostos produzidos é realizada pela empresa Bioterra GmbH que também opera um ecoponto para recebimento de materiais recicláveis.

Através da empresa Betriebs- und Umwelttechnik GmbH, a qual realiza e opera vários projetos de parceria pública privada (PPP, *Public-Private-Partnership*), como corpos de bombeiros, escolas e edifícios da administração pública, o Grupo Eggersmann está engajado na gestão de serviços. O Grupo Eggersmann é completado com a empresa de engenharia Eggersmann, um hotel (Lind-Hotel em Rietberg, Alemanha) e a empresa PantaTec GmbH, que desenvolveu e comercializa um aditivo para o tratamento de superfícies metálicas.

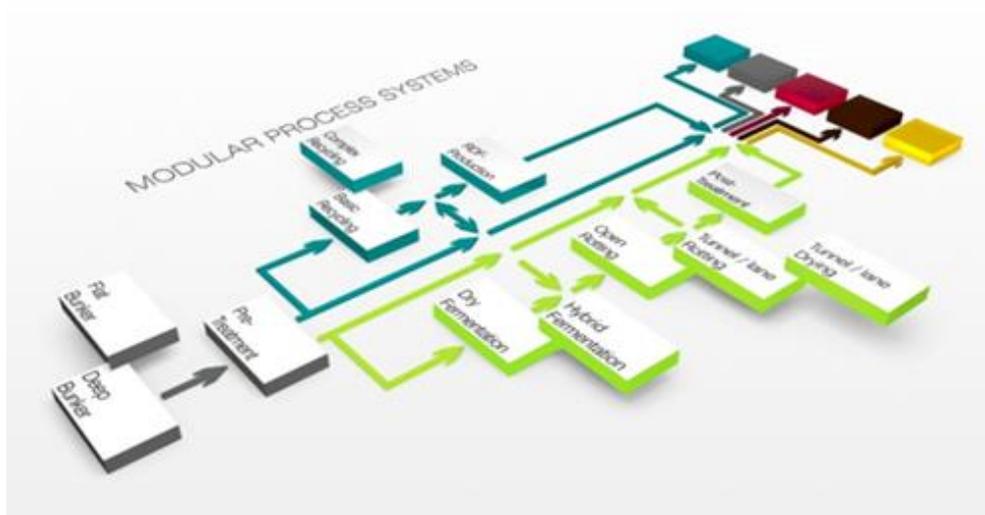
## 2 SISTEMAS MODULARES PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS E COMERCIAIS

As instalações para o tratamento de resíduos domésticos e comerciais possuem uma construção modular a qual é interligada à planta principal por interfaces específicas. Os módulos mais relevantes dessa cadeia de processos são:

- Área de descarregamento;
- Pré-triagem e pré-tratamento mecânico;
- Tratamento mecânico;
- Tratamento biológico; e,
- Processamento mecânico do produto do tratamento biológico.

Os módulos e, portanto, a instalação, são configurados de acordo com as exigências do projeto em relação aos substratos, metas de processamento, especialmente no que tange as frações e qualidades a serem produzidas, considerando ainda as especificações legais e a possível produção de energia.

Figura 1 – Processos modulares



Fonte: Arquivo Eggersmann.

### 2.1 Área de Descarregamento

A área de descarregamento normalmente é construída como sistema fechado dentro de um galpão arejado. A escolha entre pátio plano ou reservatório profundo dependerá da capacidade da planta, do material entregue e das condições topográficas encontradas para o local de construção.

Instalações com reservatório profundo são preferencialmente recomendadas para plantas de capacidade operacional elevada, em virtude das grandes movimentações de descarregamento, sendo a movimentação dos resíduos gerenciados por um ou vários sistemas de guindaste com garra. A grande vantagem deste sistema está na separação entre os caminhões de coleta e os equipamentos necessários para a operação da planta, por exemplo, as pás-carregadeiras utilizadas para a alimentação da instalação.

O descarregamento e armazenamento dos resíduos entregues em plantas de pequena escala, muitas vezes descentrais, ocorre em áreas cobertas. Nestes casos, pátios planos são instalados e operados por pás-carregadeiras.

Figura 2 – Reservatório profundo



Fonte: Arquivo Eggersmann.

## 2.2 Pré-Triagem e Pré-Tratamento Mecânico

Os resíduos descarregados, sejam domésticos da coleta tradicional ou resíduos comerciais, contêm objetos volumosos que dificultam o processo de tratamento ou provocam distúrbios e danos aos equipamentos. Desta forma, antes de alimentar o sistema, estes materiais são removidos por meio de uma pá-carregadeira ou uma garra.

O fluxo de material é conduzido, por meio de um sistema de carregamento, para trituração, por exemplo através de rompedor de sacolas ou de triturador de baixa rotação, com o objetivo de romper as embalagens e produzir a granulometria máxima necessária para os processos de tratamento a jusante.

O material triturado é conduzido para o peneiramento, cuja parte menor consiste em uma fração fina e rica em material orgânico, e a parte maior consiste em um fluxo rico em recicláveis e de frações de alto valor calorífico. Os metais ferrosos oriundos dos dois fluxos são removidos por meio de um separador magnético.

Os materiais recicláveis, por exemplo: plásticos, são removidos manualmente da fração maior, e o restante é conduzido para o módulo de tratamento mecânico, ou, junto com a fração fina e rica em material orgânico, conduzido para o módulo da secagem biológica.

A fração fina e rica em material orgânico é tratada, de acordo com os objetivos do projeto, a partir das soluções modulares para tratamento biológico. No âmbito do tratamento biológico podemos ter os processos aeróbios onde podem ser produzidos composto orgânico, ou rejeitos estabilizados apropriados para a disposição em aterros ou mesmo combustível derivado de resíduos, e também os processos anaeróbios para a produção de biogás e consequente produção de energia.

De modo geral, os equipamentos de pré-triagem são instalados em um galpão fechado, com arejamento forçado. Plantas menores, e muitas vezes descentrais, devem prever galpão coberto. Nestes casos, os equipamentos do módulo de pré-triagem/pré-tratamento são concebidos de forma móveis ou semimóveis.

Figura 3 – Unidade de triagem – Tecnologia de transporte



Fonte: Arquivo Eggersmann.

## 2.3 Tratamento Mecânico

O fluxo de material, depois de segregadas as frações orgânicas e os metais ferrosos, é conduzido para o módulo de processamento mecânico.

De acordo com os objetivos do projeto, vários outros materiais recicláveis são separados manualmente ou automaticamente por meio da integração de equipamentos de separação como, separação por corrente de ar, separação balística, cortadores de metais não ferrosos e separadores e separadores ópticos como o NIR (espectrômetro infravermelho).

Figura 4 – Sistema de separação por fluxos de ar, durante a produção de CDR



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 5 – Peneira rotativa e cabine de triagem manual



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Como alternativa ou complementando a produção de materiais recicláveis, a produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR) é possível, produzindo um combustível regular de acordo com as especificações do projeto. Os teores de substâncias nocivas e o valor calorífico mínimo deste combustível são adequados pela segregação automática de resíduos perigosos, e pelo enriquecimento por materiais de alto valor calorífico, porém, quando se opta pela prevalência da produção de CDR, temos como resultado a redução do fluxo de materiais para destinação na forma de reciclagem, afastando a produção de matérias-primas recicladas.

Os rejeitos produzidos durante o processamento mecânico devem ser aproveitados ou eliminados de acordo com os regulamentos legais.

O módulo da separação mecânica deve ser implementado em galpão fechado com arejamento forçado, objetivando reduzir as emissões de odores e particulados.

## 2.4 Tratamento Biológico

Considerando a elevada presença de frações orgânicas, superior a 50%, nos resíduos domésticos, temos que o tratamento biológico é uma ferramenta estratégica de redução de massa e de teores contaminantes destas frações.

O tratamento biológico tem sua atuação enfatizada quando se depara com o objetivo de geração de CDR, onde a massa a ser submetida à secagem biológica pode atingir até 90% do total de resíduos coletados.

A escolha dos processos de tratamento biológico ocorre segundo os objetivos do projeto, por exemplo:

- Produção de compostos orgânicos ou semelhantes;
- Produção de material estabilizado para disposição em aterro, de acordo com as especificações legais;
- Produção do biogás;
- Produção de combustíveis derivados de resíduos conforme parâmetros definidos em projeto.

Desta forma, a etapa de tratamento biológico pode abranger uma série de formas de tratamento, desde o aeróbio, anaeróbio até o combo aeróbio/anaeróbio, estes em sistemas abertos ou completamente fechados, completamente ou parcialmente automatizados ou mesmo de controle manual, estes disponíveis em modular, adequados para a configuração e adaptação, de acordo com as exigências do projeto, quais sejam:

### **Processos aeróbios:**

- Compostagem / secagem biológica em leiras triangulares, sob cobertura;
- Compostagem / secagem biológica em leiras em linhas, sob cobertura;

- Compostagem em leiras em linhas, em galpões fechados;
- Compostagem em leiras em linhas / secagem biológica em leiras encapsuladas;
- Compostagem em túneis / secagem biológica em túneis de compostagem fechados.

**Processos anaeróbios:**

- KOMPOFERM - biodigestão a seco descontínua em túneis (batelada).
- Biodigestão híbrida (seco e úmido).

### *2.4.1 Tratamentos aeróbios*

Os objetivos do tratamento biológico aeróbio são a produção de compostos orgânicos ou produtos semelhantes, um material estabilizado apropriado para a disposição em aterros conforme os regulamentos legais ou a secagem biológica para melhorar as condições físicas dos materiais quando da produção de combustível derivado de resíduos.

Enquanto na compostagem, uma grande parte do material orgânico é degradada pelos micro-organismos, sob libertação de calor, na secagem biológica, apenas uma pequena porção do material orgânico é degradada pelos micro-organismos, também sob libertação de calor. Este calor está sendo utilizado para a evaporação da umidade contida no material e é suficiente, dependendo do tempo de tratamento e do processo escolhido, para a secagem do material para teores de umidade de < 20%, ou, com período prolongado de tratamento, atingindo teor de umidade < 15%. Portanto, o período de tratamento necessário para a secagem biológica é expressivamente mais curto, comparado com a compostagem.

Outro fator importante para a escolha do processo de tratamento aeróbio adequado consiste no tipo de substrato a ser tratado. Para o tratamento da fração rica em material orgânico, frações mistas ou resíduos orgânicos selecionados, basicamente todos os processos aeróbios são apropriados, enquanto que no tratamento de resíduos da biodigestão anaeróbia, a gama de processos adequados é reduzida, limitando-se em processos encapsulados da compostagem em linhas ou em túneis. Estes sistemas estão disponíveis com aeração forçada, com condução do ar em ciclo fechado e inclusão de calor de fontes externas no ar de alimentação.

A integração, mesmo que parcial, de um sistema de aquecimento no piso das linhas ou túneis de compostagem é bastante favorável. Esta medida resulta na aceleração do início do processo aeróbio, promove uma eventual higienização do material, e otimiza a redução do teor de umidade das frações digeridas anaerobicamente. Os sistemas de aquecimento do ar e do piso, respectivamente, são empregados, preferencialmente, o calor residual do sistema de cogeração.

Em muitos projetos, é imprescindível observar as características locais do projeto, principalmente no que concerne ao impacto da vizinhança. Esta análise será determinante na escolha de sistemas totalmente abertos, cobertos ou fechados. Muitas vezes, sistemas mais simples abertos ou cobertos, podem ser realizados em áreas de aterramento, em locais ermos, onde há grandes distâncias de áreas urbanas, ou em plantas com pequenas capacidades. Plantas de

tratamento próximas às áreas urbanizadas ou com maiores capacidades de operação deverão ser realizadas em ambiente fechado.

É possível a combinação da compostagem intensiva, esta com forte emissão de odores, portanto implementada em galpões fechados, com sistemas de pós-tratamento aeróbio, com menores impactos de odor podendo ocorrer em áreas abertas ou apenas cobertas.

Os sistemas fechados de compostagem em linhas e em túneis apresentam demanda reduzida de área devido a otimização da área disponível, e a condução do ar em ciclo fechado possibilita um ótimo desenvolvimento do processo de compostagem resultando em período de tratamento curtos. A compostagem em leiras triangulares, com períodos de tratamento prolongados, resulta em uma maior disponibilidade de área.

Figura 6 – Sistema móvel de reviramento para leiras triangulares



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 7 – Sistema de reviramento das linhas (*Lane Turner*) com operário



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 8 – Sistema de reviramento de linhas (*Lane Turner*) automatizado



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 9 – Sistema de reviramento de linhas (*Lane Turner*) retirada do material



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 10 – Sistema de reviramento de linhas, linha fechada (*Lane Turner Closed*)

Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 11 – Túneis de compostagem com sistema de carregamento automatizado



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Os Quadros 1a, 1b, 1c e 1d apresentam um comparativo entre os tratamentos aeróbios com: os objetivos do processo, secagem biológica e compostagem; os materiais a serem tratados; as áreas de aplicação; as emissões; o sistema para a aeração do material; a integração de calor de

fontes externas no processo da compostagem; a demanda de área; as propriedades específicas e características dos diversos processos de tratamento aeróbio.

Quadro 1a – Comparativo entre os tratamentos aeróbios

		Compostagem / secagem biológica em leiras triangulares cobertas	Compostagem / secagem biológica em linhas de compostagem cobertas	Compostagem em linhas em sistema fechado
Objetivo do processo	Compostagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de composto orgânico e produtos similares, bem como rejeitos estabilizados para disposição em aterros;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de composto orgânico e produtos similares, bem como rejeitos estabilizados para disposição em aterros;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de composto orgânico e produtos similares, bem como rejeitos estabilizados para disposição em aterros;</li> </ul>
	Secagem biológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de fração seca como matéria-prima para o processamento mecânico para fins de produção de CDR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de fração seca como matéria-prima para o processamento mecânico para fins de produção de CDR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de fração seca como matéria-prima para o processamento mecânico para fins de produção de CDR.</li> </ul>
Material a ser tratado		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fração rica em material orgânico de resíduos sólidos urbanos (RSU);</li> <li>• Frações mistas da coleta tradicional de RSU;</li> <li>• Resíduos orgânicos da coleta seletiva e verdes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fração rica em material orgânico de resíduos sólidos urbanos (RSU);</li> <li>• Frações mistas da coleta tradicional de RSU;</li> <li>• Resíduos orgânicos da coleta seletiva e verdes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fração rica em material orgânico de resíduos sólidos urbanos (RSU);</li> <li>• Frações mistas da coleta tradicional de RSU;</li> <li>• Resíduos orgânicos da coleta seletiva e verdes.</li> </ul>
Aplicações		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com capacidades menores;</li> <li>• Pós-tratamento após a compostagem intensiva em sistema fechado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com capacidades menores;</li> <li>• Pós-tratamento após a compostagem intensiva em sistema fechado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com capacidades menores e médias.</li> </ul>
Emissões		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas, devido à construção aberta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas, devido à construção aberta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixas, devido ao sistema fechado e aeração forçada.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor com dados Eggersmann.

Quadro 1b – Comparativo entre os tratamentos aeróbios

	<b>Compostagem / secagem biológica em leiras triangulares cobertas</b>	<b>Compostagem / secagem biológica em linhas de compostagem cobertas</b>	<b>Compostagem em linhas em sistema fechado</b>
Integração de calor de fontes externas no processo da compostagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe.</li> </ul>
Sistema para a aeração do material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeração por exaustão.</li> </ul>
Demanda de área	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta, devido à eficiência reduzida e tempos de tratamento prolongados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Média, devido a eficiência maior da utilização da área, com tempos de tratamento prolongados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Média a baixa devido à alta eficiência no uso da área, com tempos de tratamentos médios.</li> </ul>
Operação / Condução do processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento dinâmico;</li> <li>• Construção das leiras por meio de uma pá carregadora;</li> <li>• Reviramento das leiras por meio de um sistema móvel de reviramento;</li> <li>• Desmontagem das leiras por meio de uma pá carregadora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento dinâmico;</li> <li>• Carregamento das linhas por meio de uma pá carregadeira, a automatização por sistemas de transporte é opcional;</li> <li>• Reviramento do material por meio de um sistema fixo com controle manual; a automatização do sistema é opcional;</li> <li>• Retirada do material por meio de uma pá carregadeira; a retirada por meio do sistema de reviramento em conjunto de um sistema de transporte automatizado é opcional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento dinâmico;</li> <li>• Carregamento das linhas por meio de uma pá carregadeira, a automatização por sistemas de transporte é opcional;</li> <li>• Reviramento do material por meio de um sistema fixo com controle manual; a automatização do sistema é opcional;</li> <li>• Retirada do material por meio de uma pá carregadeira; a retirada por meio do sistema de reviramento em conjunto de um sistema de transporte automatizado é opcional.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor com dados Eggersmann.

Quadro 1c – Comparativo entre os tratamentos aeróbios

		<b>Compostagem em linhas / secagem biológica em linhas encapsuladas</b>	<b>Compostagem em túnel / secagem biológica em túneis de compostagem fechados</b>
Objetivo do processo	Compostagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de composto orgânico e produtos similares, bem como rejeitos estabilizados para disposição em aterros;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de composto orgânico e produtos similares, bem como rejeitos estabilizados para disposição em aterros;</li> </ul>
	Secagem biológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de fração seca como matéria-prima para o processamento mecânico para fins de produção de CDR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de fração seca como matéria-prima para o processamento mecânico para fins de produção de CDR.</li> </ul>
Material a ser tratado		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fração rica em material orgânico de resíduos sólidos urbanos (RSU);</li> <li>• Frações mistas da coleta tradicional de RSU;</li> <li>• Resíduos orgânicos da coleta seletiva e verdes;</li> <li>• Resíduos da biodigestão, misturas de resíduos da biodigestão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fração rica em material orgânico de resíduos sólidos urbanos (RSU);</li> <li>• Frações mistas da coleta tradicional de RSU;</li> <li>• Resíduos orgânicos da coleta seletiva e verdes;</li> <li>• Resíduos da biodigestão, misturas de resíduos da biodigestão.</li> </ul>
Aplicações		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com capacidade média a grande.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas com capacidade média a grande.</li> </ul>
Emissões		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucas, devido à encapsulação das linhas de compostagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucas, devido aos túneis de compostagem fechados.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor com dados Eggersmann.

Quadro 1d – Comparativo entre os tratamentos aeróbios

	<b>Compostagem em linhas / secagem biológica em linhas encapsuladas</b>	<b>Compostagem em túnel / secagem biológica em túneis de compostagem fechados</b>
Integração de calor de fontes externas no processo da compostagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trocadores de calor para o aquecimento do ar de alimentação do processo, nas aplicações para a compostagem de resíduos da biodigestão e misturas destes resíduos, opcionais nas aplicações para a secagem biológica;</li> <li>• Sistema de aquecimento integrado no piso das linhas de compostagem, para aplicações na compostagem de resíduos da biodigestão e misturas destes resíduos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trocadores de calor para o aquecimento do ar de alimentação do processo, nas aplicações para a compostagem de resíduos da biodigestão e misturas destes resíduos, opcionais nas aplicações para a secagem biológica;</li> <li>• Sistema de aquecimento integrado no chão dos túneis de compostagem, para aplicações para a compostagem de resíduos da biodigestão e misturas destes resíduos.</li> </ul>
Sistema para a aeração do material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeração por pressão nas aplicações de secagem biológica;</li> <li>• Ar recirculado nas aplicações para a compostagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ar recirculado.</li> </ul>
Demanda de área	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequena, devido da alta eficiência no uso da área, com tempo de tratamento curto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequena, devido da alta eficiência no uso da área, com tempo de tratamento curto.</li> </ul>
Operação / Condução do processo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento dinâmico;</li> <li>• Carregamento das linhas por meio de uma pá carregadeira, a automatização por sistemas de transporte é opcional;</li> <li>• Reviramento do material por meio de um sistema fixo automatizado;</li> <li>• Retirada do material por meio de uma pá carregadeira; a retirada por meio do sistema de reviramento em conjunto de um sistema de transporte automatizado é opcional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento estático;</li> <li>• Carregamento dos túneis por meio de uma pá carregadeira; o carregamento do material nos túneis por meio de um sistema automatizado é opcional;</li> <li>• Retirada dos túneis por meio de uma pá carregadeira; a retirada do material por meio de um sistema automatizado é opcional;</li> <li>• Reviramento dos túneis de compostagem por meio de uma combinação do carregamento e da retirada.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor com dados Eggersmann.

Especialmente os sistemas encapsulados, respectivamente fechados, com recirculação do ar, oferecem a possibilidade de amplo controle do processo no que se refere ao tratamento de materiais com baixos teores de energia, por exemplo: os resíduos da biodigestão e as misturas destes materiais. Estes sistemas permitem a adaptação das taxas de aeração, de fluxos de ar expelido e o pré-aquecimento do ar de alimentação. Além disso, a importação e exportação de energia do processo pode ser adaptada de acordo com as necessidades do projeto, por exemplo por meio do sistema de aquecimento no piso. O gerenciamento do sistema ocorre automaticamente através de sistema computacional ou por seleção manual dos parâmetros de processo.

Na área do tratamento aeróbio, o sistema de condução do ar de aeração é integrado entre os módulos. Este contém a captação do ar exaurido por cada um dos módulos bem como, a reutilização dos fluxos de ar exaurido dos diversos galpões para a aeração do processo aeróbio, além do tratamento de todos os fluxos de ar exauridos.

O tratamento das emissões gasosas é realizado por meio de processos certificados como umidificadores de ar, sistemas químicos por absorção e biofiltros.

#### ***2.4.2 Processos de tratamento anaeróbio***

O objetivo principal da biodigestão anaeróbia de frações ricas em material orgânico advindo de RSU é a produção de energia em forma de biogás com alta presença de metano.

A degradação da matéria orgânica se encontra em sinergia com os objetivos da compostagem aeróbia para a produção de composto orgânico, produtos semelhantes ou de rejeito estabilizado para a disposição em aterros, pois frequentemente a etapa de fermentação antecede a de tratamento aeróbio.

A composição heterogênea dos RSU remonta a presença de contaminantes como metais, pedras, plásticos, películas, redes, entre outros, na massa a ser submetida à biodigestão, estes devem ser afastados para garantir um ótimo desempenho do sistema. Estes contaminantes interferem significativamente nos sistemas anaeróbios contínuos, exigindo maior complexidade dos módulos de tratamento mecânico para fins de conservação dos equipamentos e garantia da eficiência dos sistemas.

Sistemas contínuos transformam a massa orgânica em um substrato adequado para ser bombeado, de forma pastosa ou viscosa, a partir da adição de água de processo. Problemas com a segurança de funcionamento e desgaste de componentes e equipamentos são relacionados à consistência do substrato. Em seguida, o substrato é conduzido para sistemas de prensagem, os quais apresentam desgaste e consumo de energia elevados, durante a desidratação da massa digerida a ser submetida ao pós-tratamento aeróbio, são geradas emissões líquidas.

Para mitigar comprometimentos operacionais foi desenvolvido um tratamento anaeróbio com alta segurança de funcionamento e com baixa exigência no que concerne ao preparo anterior da massa quando do tratamento mecânico. Este objetivo foi atingido com sucesso pelo processo anaeróbio a seco do tipo KOMPOFERM, conduzido em batelada.

### 2.4.2.1 KOMPOFERM – Tratamento anaeróbio – seco descontínuo

O processo de tratamento anaeróbio a seco descontínuo KOMPOFERM se constitui em um sistema de biodigestão para a biomassa sólida, por exemplo a fração rica em material orgânico derivada de RSU ou de resíduos orgânicos, em túneis de biodigestão anaeróbia, em túneis de fermentação herméticos, construídos em concreto armado e operados em batelada.

Este sistema é caracterizado pelas seguintes etapas de processo:

- Carregamento de um túnel de biodigestão com biomassa fresca, sem recirculação de resíduo da biodigestão;
- Iniciação aeróbia do processo até atingir a temperatura de processo pré-definida;
- Biodigestão anaeróbia com recirculação da água de processo, denominada percolado;
- Encerramento aeróbio do processo através da aeração do material dentro do túnel de biodigestão;
- Descarregamento do túnel de biodigestão.

Estas etapas de processo se repetem em cada batelada. Considerando o tempo médio de tratamento de 21 dias, e baseado na capacidade operacional de cada equipamento, até oito túneis de tratamento poderão ser agrupados em um módulo.

Os sistemas KOMPOFERM se distinguem pelas seguintes características:

- Túneis de tratamento em concreto armado com:
  - ✧ Piso aerado do tipo *Spigot* para a aeração do material durante as etapas de iniciação e encerramento do processo, bem como, da drenagem da água de processo durante a etapa de tratamento anaeróbio;
  - ✧ Declive desde a entrada do túnel, parte frontal até a parede traseira, parte inferior;
  - ✧ Chapas de drenagem laterais para a desumidificação eficiente do material e retenção de componentes mais grossos do circuito de percolado;
  - ✧ Fossos laterais com declive para a remoção segura do percolado dos túneis de tratamento para a caixa de areia, sem utilização de bombas;
  - ✧ Sistema de umedecimento embutido no teto;
  - ✧ Portão hermético.
- Caixa de areia bem dimensionada para a recepção dos fluxos de percolado decorrentes dos túneis com separação eficiente de materiais pesados e sedimentáveis;
- Reservatório de grande volume, para o tratamento anaeróbio do percolado e para o armazenamento de calor;

- Gasômetro de grande volume, instalado com preferência no teto dos túneis de tratamento;
- Flare para a combustão do gás com baixo teor de metano e para emergências, instalado de preferência no teto dos túneis de tratamento.
- Contêineres, montados, testados e instalados de preferência na cobertura dos túneis de tratamento, contendo a tecnologia EMSR com o sistema de controle de processo, a central de aquecimento, o sistema de recirculação e abastecimento sob pressão de ar, bem como, os equipamentos e máquinas, consistindo do compressor para a aeração do material durante as etapas de iniciação e encerramento do processo, o ventilador de ar exaurido e diversos outros equipamentos.
- Área de acesso atrás dos túneis de fermentação para a instalação da tubulação do ar de alimentação, ar exaurido, do biogás e do percolado todas produzidas em aço inox, com os respectivos acessórios bem como, o trocador de calor para o aquecimento do percolado na caixa de areia e em todo o reservatório de percolados.

Uma das maiores vantagens do processo de tratamento anaeróbico a seco descontínuo KOMPOFERM consiste na sua segurança de funcionamento, pois opera sem necessidade de bombeamento ou transporte do substrato, durante o processo. Os corpos estranhos que se encontram no substrato não se constituem em distúrbios para a operação.

A segurança de funcionamento também é baseada na separação da fase líquida da fase sólida, por meio das extensas chapas de drenagem. Estas chapas de drenagem otimizam a retirada da umidade do resíduo sólido da biodigestão antes de descarregar o túnel de tratamento, resultando em um elevado teor de matéria seca e estruturada sem necessidade de uma etapa de desidratação a jusante, apresentando propriedades favoráveis para o pós-tratamento aeróbico controlado.

O encerramento aeróbico do processo por aeração do material provoca, em um primeiro passo, a expulsão de restos de biogás e gás amoníaco, ainda contidos no resíduo de biodigestão, os quais são conduzidos para o tratamento do ar exaurido. Esta medida garante uma redução significativa das emissões, durante o pós-tratamento dos resíduos da biodigestão.

As chapas de drenagem não apenas influenciam o processo de desidratação da massa mas também impedem, de maneira eficiente, a entrada de componentes sólidos ou corpos estranhos no sistema de percolação. O teor de matéria seca do percolado é bastante baixo, apresentando granulometria  $< 2$  mm. A segurança de funcionamento do sistema de percolação é portanto garantida por estas medidas.

Durante os últimos anos, o processo KOMPOFERM tem passado por adaptações, melhorando sua funcionalidade. Uma melhoria decisiva foi a construção do reservatório de percolado em forma de sistema “*plug-flow*”, seja ele instalado subterrâneo em forma de porão embaixo dos túneis ou na superfície, na área do acesso técnico. Esta forma de fluxo é decisiva para a higienização do percolado durante sua permanência no reservatório.

Figura 12 – Túnel de tratamento anaeróbio



Fonte: Arquivo Eggersmann.

No caso da instalação do reservatório em forma de porão, embaixo dos túneis de tratamento, temos menores demandas por área e por tecnologia de bombeamento pela condução do líquido por gravidade, e poucas perdas de calor, pela redução das superfícies. Outra etapa de desenvolvimento tecnológico foi o avanço da estabilização biológica da faixa mesofílica para a termofílica, esta última garantindo a higienização da massa digerida.

Também foram aperfeiçoados outros sistemas tais como lavagem de biogás e de CO<sub>2</sub> e o teto de membrana dentro dos túneis de fermentação.

Figura 13 – Túnel de fermentação com sistema de carregamento automatizado



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 14 – Planta de tratamento anaeróbico a seco com tanque de armazenagem de percolado e tratamento aeróbico em túneis



Fonte: Arquivo Eggersmann.

#### *2.4.2.2 Tratamento híbrido*

O módulo processual mais eficiente é o que combina os tratamentos biológicos disponíveis, maximizando a quantidade de biogás produzida, o teor de metano, e, portanto, com melhor rendimento energético.

O desenvolvimento deste processo foi baseado nos seguintes aspectos:

- Otimização da produção específica de biogás pela biodigestão de um fluxo parcial de frações ricas em material orgânico, em um reservatório externo aos túneis de fermentação, mantendo o alto padrão de segurança de operação;
- Utilização elevada do calor residual do sistema de cogeração;
- Redução de sedimentos por meio da caixa de areia do processo de tratamento a seco KOMPOFERM;
- Redução da proporção pastosa dos resíduos da biodigestão e, portanto, simplificação da aeração no pós-tratamento aeróbio;
- Pós-tratamento diferenciado dos resíduos da biodigestão, por exemplo: por secagem térmica dos componentes mais finos e pós-tratamento aeróbio dos componentes mais grossos.

O tratamento híbrido consiste de uma separação da fração rica em material orgânico, em uma parte mais grossa e uma parte mais fina. A fração mais grossa, que tende conter a maior proporção de corpos estranhos, é tratada por um sistema de fermentação a seco KOMPOFERM, com a respectiva segurança de funcionamento.

O tratamento da fração rica em material orgânico, porém com teor negligenciável de corpos estranhos, ocorre por biodigestão anaeróbia a úmido convencional. Os restos da biodigestão são submetidos a uma separação sólido / líquido.

Outra característica do processo híbrido consiste no sistema compartilhado da água de processo, entre os componentes da biodigestão a úmido e o processo de tratamento a seco KOMPOFERM. A fase líquida da separação sólido / líquido oriunda da biodigestão a úmido é conduzida para o sistema de percolação, do qual a água de processo para a preparação do substrato é retirada. Portanto ambos os sistemas possuem um sistema de água de processo integrado.

Além do sistema de água de processo, os dois sistemas também possuem um sistema de biogás integrado, composto de gasômetro, flare para o gás com baixo teor de metano e emergências bem como, as instalações para a purificação do biogás e o sistema de cogeração.

Os sólidos obtidos na separação sólido / líquido da biodigestão a úmido são submetidos a uma secagem térmica em secador de esteira aquecida com o calor residual do sistema de cogeração, ou submetidos a um pós-tratamento aeróbio junto com os resíduos da biodigestão a seco KOMPOFERM. A separação sólido / líquido e a secagem térmica são operados em sistema contínuo, resultando em uma utilização equilibrada do calor com elevados tempos de operação.

Os resíduos da biodigestão submetidos ao pós-tratamento aeróbios são transformados em combustíveis derivados de resíduos, e os sólidos da biodigestão a úmido, submetidos à secagem térmica, processados em um material adequado para a disposição.

O tratamento híbrido aumenta a produção de energia através da produção do biogás e a utilização do calor residual do sistema de cogeração. O tratamento seletivo dos resíduos do tratamento anaeróbio facilita e otimiza os demais passos do tratamento.

Figura 15 – Fermentação híbrida



Fonte: Arquivo Eggersmann.

### *2.4.3 Variante preferencial de tratamento biológico da fração rica em material orgânico*

Considerando as vantagens processuais específicas bem como, o sistema de tratamento biológico como um todo, o sistema descrito a seguir se mostra notadamente vantajoso para o tratamento da fração rica em material orgânico nos RSU:

- Separação da fração rica em material orgânico, em uma fração fina e uma fração grossa, ambas ricas em material orgânico;
- Tratamento anaeróbio da fração grossa, rica em material orgânico, pelo processo da biodigestão anaeróbia a seco KOMPOFERM;
- Tratamento aeróbio da fração fina rica em material orgânico junto com os resíduos do processo da biodigestão anaeróbia a seco KOMPOFERM em um sistema de tratamento aeróbio fechado com recirculação do ar e a opção da inclusão de calor de fontes externas ao processo, ou no ar de alimentação ou pelo sistema de aquecimento do piso.

Este processo modular identificado como “1/2 híbrido”, oferece as seguintes vantagens:

- A fração fina rica em material orgânico não será umedecida durante o tratamento anaeróbio, mantendo sua forma pastosa, permanecendo assim em um estado físico que permite uma boa aeração;
- A proporção elevada de material inerte contida na fração fina, não é conduzida para o tratamento anaeróbio e portanto, reduz os problemas causados por sedimentação;
- No tratamento aeróbio da fração fina rica em material orgânico junto com os resíduos da biodigestão, a primeira absorve a água contida nos resíduos da biodigestão, portanto, o substrato produzido tem teor de umidade balanceado para o tratamento aeróbio;
- A fração fina, rica em material orgânico, aumenta a produção de calor através da degradação microbiológica da matéria orgânica e, portanto, promove a evaporação da umidade, no tratamento aeróbio.

Devido a degradação elevada da matéria orgânica no tratamento aeróbio, este pode ser aplicado tanto para compostagem quanto para a secagem. O processo “1/2 híbrido” oferece a opção de transformar o material em CDR ou em composto orgânico ou em material similar.

## **2.5 Condicionamento Mecânico das Frações Tratadas Biologicamente**

O material produzido no tratamento biológico é conduzido para a etapa de condicionamento mecânico, segundo as exigências do projeto, podendo gerar CDR, composto

orgânico ou rejeito estabilizado adequado para disposição em aterro, conforme os regulamentos legais.

As frações que foram submetidas ao tratamento biológico, dependendo da finalidade do condicionamento, podem passar por diversas fases de condicionamento mecânico através de peneiras, trituradores, separadores por fluxo de ar, separadores de materiais duros, separadores balísticos bem como, cortadores de metais não ferrosos e separadores ópticos como NIR (espectrômetro infravermelho).

Figura 16 – Condicionamento mecânico



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Os rejeitos produzidos durante o condicionamento devem ser conduzidos para o aproveitamento térmico ou para a disposição final em aterros, conforme os regulamentos legais.

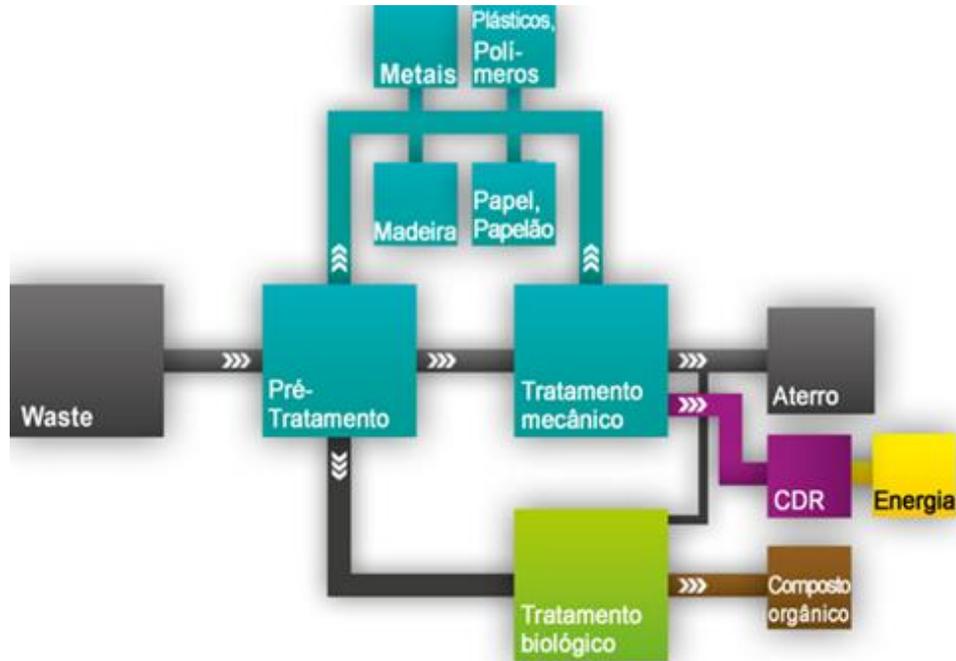
### **3 EXEMPLOS DE PLANTAS DE TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO**

De acordo com as exigências e condições específicas, cada projeto é planejado individualmente. Devido à construção modular, um grande número de diferentes configurações está disponível, podendo ser agrupadas da seguinte maneira:

- Básico;
- Intermediário;
- Complexo; e,
- Complexo Híbrido.

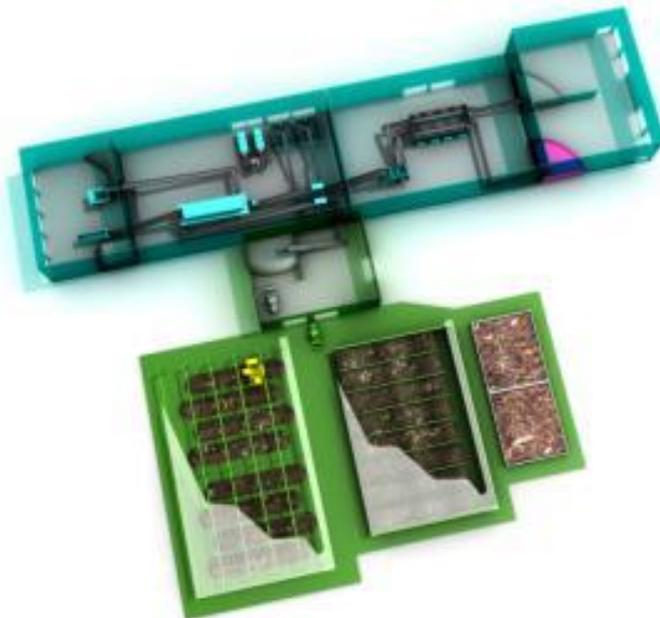
Como exemplo, a seguir são descritas uma configuração dos grupos “Intermediário” e “Complexo”.

Figura 17 – Fluxograma do tratamento mecânico-biológico com compostagem



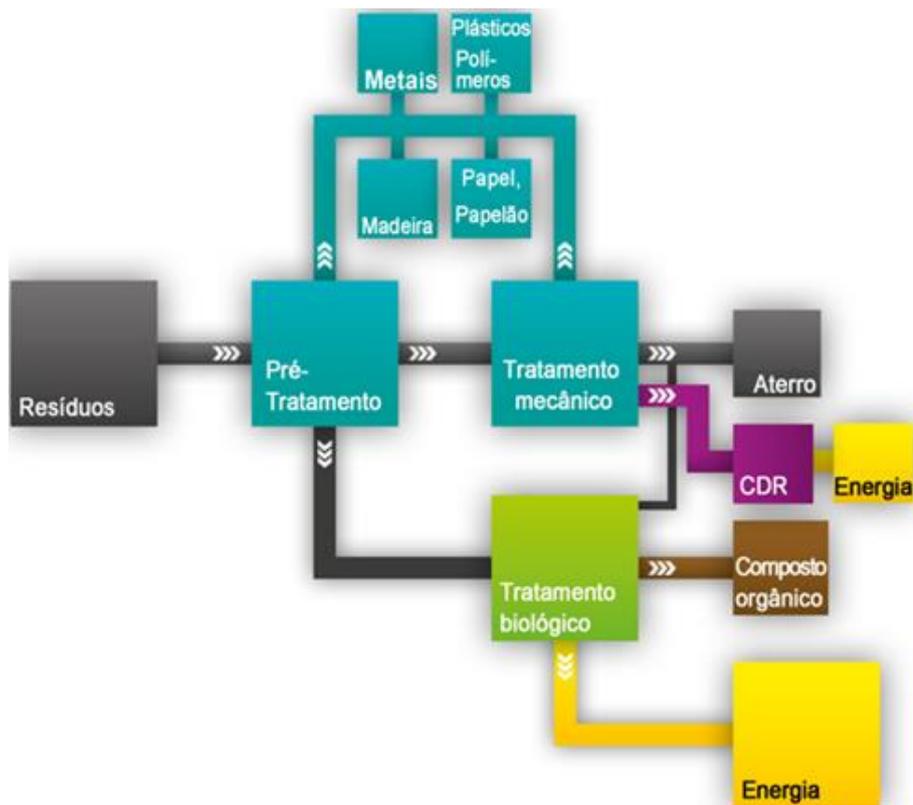
Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 18 – *Layout* do tratamento mecânico-biológico com compostagem



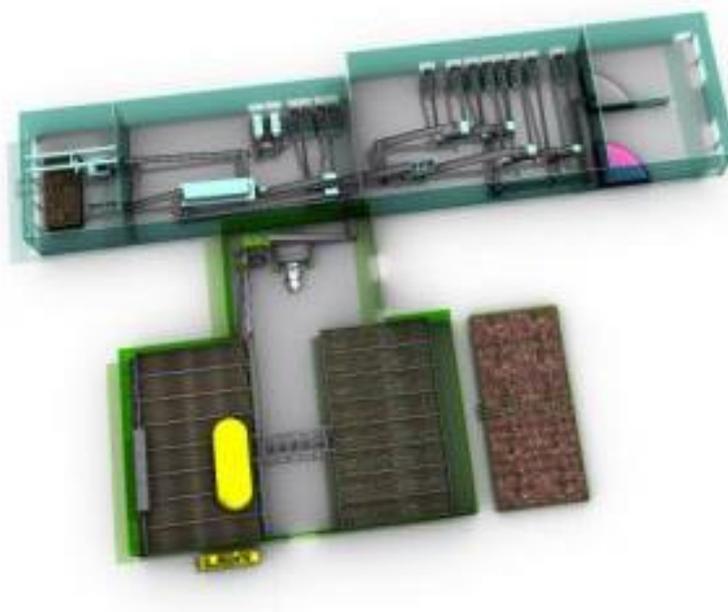
Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 19 – Fluxograma do tratamento mecânico-biológico com biodigestão anaeróbia e compostagem



Fonte: Arquivo Eggersmann.

Figura 20 – *Layout* do tratamento mecânico-biológico com biodigestão anaeróbia e compostagem



Fonte: Arquivo Eggersmann.

## 4 CONCLUSÕES

Os impactos ambientais identificados a partir da disposição final dos resíduos sólidos urbanos entraram na pauta de discussões globais em decorrência da necessidade de preservar os recursos naturais e proteger o clima. Esta empreitada tomou força no momento em que o valor da energia alcançou níveis elevados, foram identificadas a influência na mudança climática provocada pela emissão de gases de efeito estufa a partir dos aterros, podendo representar entre 8 a 12% das emissões antrópicas, e foram valorizados alguns elementos químicos como metais pesados, fosfato, entre outros.

Desta forma, todos esses fatores remontaram na formação de um arcabouço de tecnologias extremamente avançadas, com controles ambientais bastantes conservadores e altos índices de desvio de massa, seja na forma de incineração seja na forma de tratamento mecânico e biológico.

Durante o mapeamento tecnológico abordamos neste artigo frentes de valorização de resíduos presentes a nível global que apontassem soluções voltadas tanto para a promoção da reciclagem quanto recuperação energética, quais sejam: compostagem, fermentação e produção de combustíveis derivados de resíduos.

Algumas destas frentes tecnológicas foram apresentadas em versões variando das mais simples até mais complexas em relação ao avanço tecnológico provendo faixas que variam entre menores a maiores desvio de massa e complexidade operacional diversificada.

Todas estas tecnologias possuem nuances que devem ser consideradas isoladamente, contemplando aspectos operacionais, econômicos e ambientais, para afastar experiências desastrosas que não consideram os aspectos locais e as demandas de projeto.

Atualmente no Brasil há pouca presença tecnológica para a promoção da valorização dos resíduos e as práticas existentes são aplicadas em baixa escala, sendo necessárias adaptações tecnológicas e parcerias internacionais para o desenvolvimento de parque industrial nacional voltado para a valorização dos resíduos, acompanhando assim uma tendência que transpassa nas fronteiras e é identificada globalmente.

Desta forma, a empresa Eggersmann se posiciona no mercado de forma diferenciada não apenas por possuir grande flexibilidade na configuração dos seus sistemas, devido à construção modular, podendo, portanto, atender exigências básicas, elevadas e até exigências de alta complexidade, mas principalmente por deter uma carteira de projetos amparadas nas diversidades gravimétricas e multiculturais, permitindo assim que sua atuação atenda com plenitude a demanda dos parceiros.

Além disso, a empresa entende que é necessário prover a maximização da geração dos subprodutos, afastando ao máximo resíduos do aterro e dispondo apenas àquelas frações não mais passíveis de valorização, desde que estes sistemas sejam justificados economicamente, contribuindo assim com a preservação ambiental e otimizando os custos de gestão atual dos resíduos.

## REFERÊNCIA

PEREIRA, Christiane Dias. **Rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

EGGERSMANN, Karlgünter. Otimização de Sistemas de Tratamento de Resíduos através de Conceitos Modulares. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Mai – 2017**.

# A Tecnologia DRANCO

## *The DRANCO Technology*

Engenheiro Bruno Mattheeuws

Engenheiro Luc A. De Baere

### RESUMO

A tecnologia DRANCO foi desenvolvida há trinta anos e tornou-se uma das tecnologias líder na digestão anaeróbia de resíduos biológicos e resíduos mistos. Algumas experiências, tendências e oportunidades são apresentadas neste artigo.

**Palavras-chave:** Digestão anaeróbia. Biogás. DRANCO. Resíduos biológicos. Resíduos mistos.

### ABSTRACT

The DRANCO technology was developed thirty years ago and has become one of the leading technologies for anaerobic digestion of biowaste and municipal solid waste. Some experiences, trends and opportunities are presented at this article.

**Keywords:** Anaerobic digestion. Biogas. DRANCO. MSW. Biowaste.

## 1 INTRODUÇÃO: DEGRADAÇÃO ACELERADA DE ATERROS

A tecnologia de digestão DRANCO foi desenvolvida pelo estudo e otimização da digestão “seca” espontânea que ocorre num aterro. Quando o oxigênio é retirado do aterro, as bactérias anaeróbias assumem gradualmente o papel de bactérias aeróbias. Parte da fração orgânica dos resíduos eliminados se degrada devido a estas bactérias anaeróbias e ao gás do aterro, liberando no aterro uma fase de gás rico em metano. Infelizmente a decomposição anaeróbia num aterro é descontrolada e muito lenta (20 a 50 anos). A tecnologia DRANCO foi desenvolvida para otimização dos parâmetros da digestão anaeróbia “seca” e “estática” que ocorre num aterro. Um abrangente esforço de pesquisa resultou em um tempo de digestão de duas a três semanas, usando um processo DRANCO contínuo.

Devido a sua origem, a tecnologia de digestão DRANCO tem sido frequentemente aplicada no tratamento de resíduos orgânicos selecionados ou resíduos mistos, que são normalmente depositados em aterros. Estas instalações operam com um conteúdo de matéria seca no digester de até 40%. Mas a DRANCO é uma tecnologia amplamente aplicável que pode tratar diferentes tipos de matérias-primas.

## 2 ESQUEMA BÁSICO DE DIGESTÃO

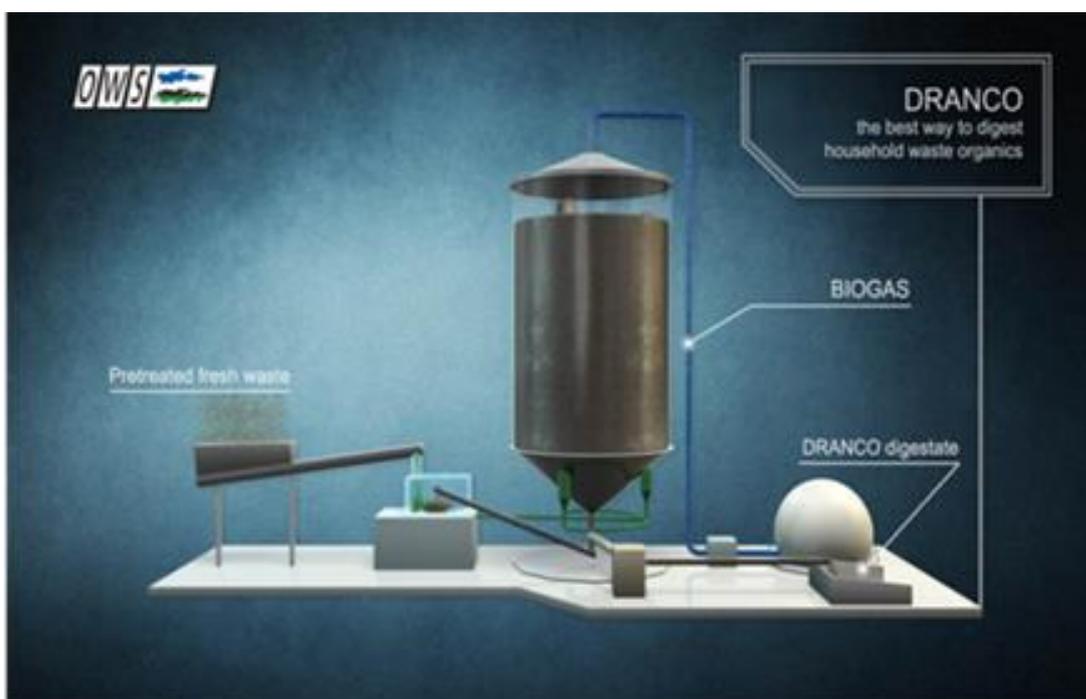
Basicamente, o esquema de um digestor DRANCO é composto por dois ou três passos principais:

- Pré-tratamento dos resíduos;
- Digestão anaeróbia;
- Pós-tratamento do digerido.

Os resíduos orgânicos necessitam normalmente de um pré-tratamento para reduzir a dimensão da fração orgânica (inferior a 40 mm) e para remover grandes componentes inertes e metais. Embora o processo DRANCO possa tratar concentrações elevadas de poluentes e materiais não degradáveis na fração orgânica enviada para o digestor, a remoção destes componentes melhorará a qualidade do produto final e pode reduzir o consumo de energia e a abrasão.

A fração orgânica pré-tratada inferior a 40 mm é subsequentemente misturada com uma grande quantidade de resíduo digerido proveniente do digestor. A relação de mistura é normalmente de cerca de uma tonelada de matéria-prima para seis a oito toneladas de resíduos digeridos. Isto ocorre na parte de mistura da bomba de alimentação. Uma pequena quantidade de vapor é adicionada à mistura para aumentar a temperatura para 35 – 40 °C para operação mesofílica e para 50 – 55 °C para operação termofílica. A Figura 1 representa o esquema de processamento geral DRANCO.

Figura 1 – Esquema de processamento DRANCO

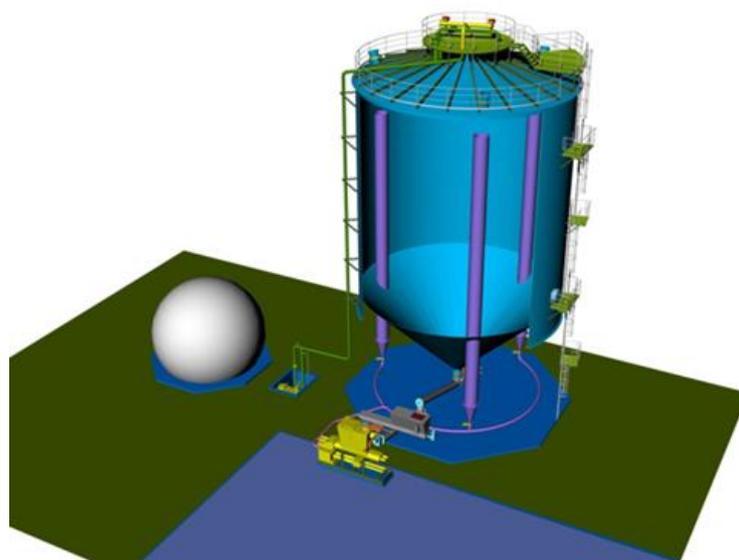


Fonte: OWS.

A mistura pré-aquecida de resíduos orgânicos frescos e digeridos é depois bombeada para a parte superior do digestor através de tubos de alimentação. Estes tubos de alimentação atravessam o cone na parte inferior do digestor e chegam até cerca de um metro de distância do interior da parte superior do digestor. O material é empurrado para fora dos tubos de alimentação e flui para a parte superior da massa de digestão no digestor.

Os tubos internos de alimentação (ver a Figura 2) têm um diâmetro de cerca de um metro para minimizar a fricção e o consumo de energia durante o bombeamento. A distância e a altura através das quais o material é bombeado são também minimizadas pela alimentação interna.

Figura 2 – Vista 3D do digestor DRANCO



Fonte: OWS.

Logo que o material entra na estrutura principal do digestor demora alguns dias (dependendo da taxa de alimentação) para atingir o fundo do digestor. A massa de digestão desce através do digestor somente por gravidade. Não é necessário nenhum equipamento de mistura ou injeção de gás na parte interior do digestor. O biogás se eleva e sai do digestor pela parte superior e flui para o armazenamento e tratamento de gás.

Os resíduos digeridos são extraídos pela parte inferior do digestor através de rosca de compressão suspensa por baixo da saída cônica. A maior parte do material extraído é reciclada durante o processo e enviada para a parte de mistura da bomba para ser misturada com a matéria-prima fresca que entra. A parte remanescente é desviada para tratamento adicional. O tempo médio de retenção no digestor é de cerca de 20 a 30 dias.

### 3 AS VANTAGENS DA DIGESTÃO DRANCO

O processo patenteado da DRANCO apresenta algumas vantagens significativas em comparação com outros sistemas de digestão convencionais “úmidos” e outros “secos”.

### 3.1 Digestão “seca” de taxa elevada

O processo DRANCO pode operar com concentrações totais de sólidos de até 45 a 50% transportadas para o digestor e concentrações totais de sólidos de até 45% dos resíduos digeridos que saem do digestor. Estas condições muito concentradas de operação são possíveis porque a massa se desloca na vertical através do digestor, ou seja, de cima para baixo. Os sistemas de digestão seca, nos quais a massa de digestão se desloca na horizontal através do digestor, requerem um elevado nível de fluidez. Operam a concentrações totais de sólidos cerca de 10 a 20 pontos percentuais inferiores ao sistema DRANCO. Normalmente também estão equipados com misturadores ou bicos de injeção de gás que deslocam o material para a frente. Isto não é necessário na digestão vertical de sólidos. Essa elevada concentração de sólidos também permite taxas de produção de biogás elevadas.

Em instalações de escala completa, as taxas de produção de biogás de até 10 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> de volume ativo do digestor por dia podem ser mantidas como médias anuais para matérias-primas orgânicas. Isto minimiza o volume necessário e, por conseguinte, o número de digestores. Um único digestor com um volume total de 4.000 m<sup>3</sup> pode tratar 60.000 toneladas de resíduos orgânicos por ano, produzindo 8,9 milhões de m<sup>3</sup> de biogás contendo 55% de metano. A conversão de todo o biogás em motores de combustão interna rende 15 milhões kWh por ano. Esse digestor tem um diâmetro de 16 m e uma altura de 30 m.

### 3.2 Sem espuma ou sedimentos no tanque

A operação com conteúdo suficiente de matéria altamente seca evita a formação de espuma ou a sedimentação de partículas no fundo do digestor. As partículas pesadas inferiores a 40 mm, tais como areia, bem como qualquer vidro e pedras remanescentes que passem pelo filtro de 40 mm podem ser tratadas. Concentrações de até 22% de vidro foram encontradas em resíduos digeridos de resíduos mistos. Os componentes pesados existentes no resíduo não descem através da massa concentrada no digestor, nem os materiais leves, tais como madeira, isopor etc. flutuam.

### 3.3 Requisitos mínimos de calor

A temperatura do digestor é mantida pela injeção de vapor na parte de mistura do digestor. Os requisitos de calor são mantidos num mínimo absoluto porque somente a matéria-prima fresca que entra necessita ser aquecida até à temperatura operativa. As perdas de calor no digestor são mínimas devido à elevada concentração de sólidos que reduz grandemente as perdas por convecção. Por conseguinte, o digestor só precisa ser isolado para manter a temperatura em seu interior durante vários dias sem abrandar o processo biológico.

É possível observar o aumento da temperatura em digestores de sólidos elevados que operam a taxas de carga elevadas devido à energia exotérmica libertada durante a decomposição anaeróbia. Esta quantidade de energia exotérmica será relativamente limitada a alguns graus Celsius,

mas apesar de tudo controlada. No entanto, não existe o perigo de sobreaquecimento como é o caso da decomposição aeróbia de matérias orgânicas.

### 3.4 Operação Termofílica

Tal como no caso da maioria dos sistemas de fermentação seca, o processo DRANCO pode ser facilmente operado a temperaturas termofílicas. A operação termofílica gera normalmente uma maior produção por tonelada de resíduos tratados e pode alcançar taxas de carga significativamente superiores. Um benefício acrescido da operação a um nível de temperatura de 50 °C é o fato dos patógenos humanos serem eliminados a estas temperaturas, melhorando assim a higienização e a destruição de geradores de novos de infestantes.

### 3.5 Pré-Tratamento Menos Intensivo

Um digestor DRANCO pode tratar resíduos sólidos que contenham componentes inertes, tais como vidro, pedras, plástico, os resíduos alimentares contêm, em geral, pequenas quantidades destes contaminantes. Muitas vezes, o pré-tratamento de resíduos alimentares está, por isso, limitado à remoção de metal e a uma redução aproximada da dimensão. Todas as bombas, sem-fins e outro(s) equipamento(s) mecânico(s) da tecnologia DRANCO foram concebidos para tratar componentes inertes, o que resulta num requisito simples de pré-tratamento limitado dos resíduos alimentares.

No caso de tecnologias de digestão “úmida” é necessário encontrar um pré-tratamento mais intensivo. As instalações úmidas operam geralmente com bombas e misturadores altamente sensíveis à abrasão e a danos provocados por materiais inertes. Por conseguinte, o pré-tratamento deve remover todos estes contaminantes para salvaguardar as subsequentes peças mecânicas da instalação de digestão.

### 3.6 Sem Necessidade de Introdução Adicional de Água

A tecnologia de digestão DRANCO é concebida para tratar produtos secos. Uma vez que o conteúdo de matéria seca pode chegar a 40% num digestor DRANCO, não existe necessidade de adicionar água aos resíduos orgânicos para possibilitar o tratamento mecânico. Os sistemas de digestão “úmida” mais tradicionais requerem frequentemente água adicional para permitir a mistura no tanque de digestão ou para reduzir os custos de mistura.

## 4 ENERGIA DE SÓLIDOS NA PRÁTICA

A tecnologia DRANCO foi aplicada a uma vasta gama de substratos. Estes variam de resíduos relativamente úmidos, tais como principalmente resíduos de restauração e alimentares, a lamas desidratadas, matérias orgânicas separadas na origem, a matérias orgânicas produzidas no

pré-tratamento de resíduos municipais e resíduos mistos (depois da remoção dos materiais recicláveis e, frequentemente, também após a recolha separada da fração compostável limpa).

#### **4.1 Matérias Orgânicas Separadas na Origem nas Instalações da Igean em Brecht, Bélgica**

A maior instalação DRANCO foi construída em Brecht, Bélgica, e está funcionando há mais de treze anos. A instalação foi concebida para uma capacidade de 42.500 toneladas por ano, mas conseguiu alcançar uma capacidade superior a 50.000 toneladas de matéria-prima fresca por ano após os três primeiros anos. A matéria-prima recebida é composta por matérias orgânicas separadas na origem, tais como resíduos de jardim, cozinha e alimentar, às quais se podem adicionar fraldas e papel ou cartão não reciclável. Esta instalação foi construída para a intermunicipalidade de IGEAN, uma associação de 26 municípios em volta da cidade de Antuérpia, que detém e opera a instalação. No mesmo local, outra instalação da DRANCO mais antiga foi renovada, tratando 15.000 toneladas adicionais por ano, de modo que um total de mais de 65.000 toneladas por ano é tratado na instalação.

As matérias orgânicas separadas na origem são primeiramente enviadas para um depósito de homogeneização de rotação lenta. O material é rastreado e as matérias orgânicas que passam pelo filtro de 40 mm são enviadas para o digestor depois da remoção dos materiais ferrosos usando um separador magnético. O excedente é enviado para uma trituradora e para um segundo depósito rotativo.

As matérias orgânicas são digeridas num digestor com um volume de 3.150 m<sup>3</sup>, uma altura de 25 m e um diâmetro de 15 m. Em 2006, foram produzidos sete milhões de m<sup>3</sup> de biogás e consumidos em dois motores a gás, cada um com uma potência elétrica total de 625 kW. A produção elétrica líquida ascendeu a 9,1 milhões de kWh, suficiente para abastecer 2.500 famílias. Os motores a gás operaram 97% do tempo durante o ano.

Os resíduos digeridos são desidratados por uma prensa para secar a concentração da matéria em pelo menos 45%, e é compostada aerobicamente por um período de duas a três semanas. Durante a primeira semana de aeração atingem-se temperaturas superiores a 60° de modo a eliminar quaisquer patógenos remanescentes. A massa desidratada é convertida em composto bem estabilizado durante este período, o qual pode ser utilizado em aplicações agrícolas. A instalação produz 20.000 toneladas de composto, satisfazendo os regulamentos belgas relativos a uma correção do solo de alta qualidade. O excesso de águas residuais é centrifugado e enviado para as instalações de tratamento, concebidas para o tratamento destes líquidos provenientes tanto das instalações de digestão e do aterro adjacente, bem como da instalação de compostagem de resíduos verdes ao ar livre.

Figura 3 – Instalação da DRANCO (I e II) em Brecht, Bélgica



Fonte: OWS.

Tabela 7a – Perspectiva geral de doze anos da instalação da DRANCO em Brecht (II), Bélgica (2002 a 2007)

<b>BRECHT: PERSPECTIVA GERAL (2002 a 2007)</b> Matéria-prima fresca (tpa)						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Biorresíduos</b>	45.476	45.383	51.229	52.946	52.943	47.563
<b>Outros</b>	978	1.778	2.525	2.126	2.030	1.702
<b>TOTAL</b>	46.454	47.161	53.754	55.072	54.974	49.265

<b>BRECHT: PERSPECTIVA GERAL (2002 a 2007)</b> Produção de biogás						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>m<sup>3</sup> biogás (em milhões)</b>	5,8	6,0	6,9	6,9	7,0	5,9
<b>m<sup>3</sup> biogás/t (matéria-prima fresca)</b>	124	128	128	125	128	119
<b>m<sup>3</sup> biogás/ m<sup>3</sup>r/dia</b>	7,0	7,5	7,4	7,2	7,4	6,2

Fonte: OWS.

Tabela 7b – Perspectiva geral de doze anos da instalação da DRANCO em Brecht (II), Bélgica (2008 a 2013)

<b>BRECHT: PERSPECTIVA GERAL (2008 a 2013)</b> Matéria-prima fresca (tpa)						
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Biorresíduos</b>	43.813	42.757	42.550	44.023	46.412	42.648
<b>Outros</b>	2.318	2.262	2.679	2.846	2.690	3.678
<b>TOTAL</b>	46.131	45.019	45.229	46.869	49.102	46.326

<b>BRECHT: PERSPECTIVA GERAL (2008 a 2013)</b> Produção de biogás						
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>m<sup>3</sup> biogás (em milhões)</b>	5,6	6,0	5,9	5,8	6,4	5,9
<b>m<sup>3</sup> biogás/t (matéria-prima fresca)</b>	122	133	130	124	129	128
<b>m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup>r/dia</b>	6,0	6,3	6,3	6,5	7,0	7,0

Fonte: OWS.

## 4.2 Digestão de Resíduos Mistos

O processo DRANCO é bem adequado ao tratamento de frações orgânicas altamente contaminadas derivadas do pré-tratamento de resíduos sólidos domésticos mistos. O resíduo misto é pré-tratado para recuperar os componentes recicláveis, tais como metais ferrosos e não ferrosos, mas também papel e plástico que possam ser removidos para reciclagem ou visando a minimização de custos de destinação final.

O processo DRANCO é ideal para a digestão de fluxo parcial devido a sua concentração de sólidos muito elevada nos resíduos digeridos. Este é o processo no qual somente uma fração de 50 a 65% da fração orgânica total é efetivamente digerida, enquanto os restantes 50 a 35% são desviados e não são sujeitos a decomposição anaeróbia. Os resíduos digeridos são depois intensivamente misturados a matérias orgânicas não digeridas. A concentração de matéria seca de 45% na mistura resultante das duas frações permite uma aeração suficiente e uma decomposição aeróbia rápida. A energia para atingir altas temperaturas e para a secagem durante a fase aeróbia é

principalmente fornecida pela fração que não foi digerida. A digestão de fluxo parcial evita a necessidade onerosa de desidratação e tratamento de águas residuais.

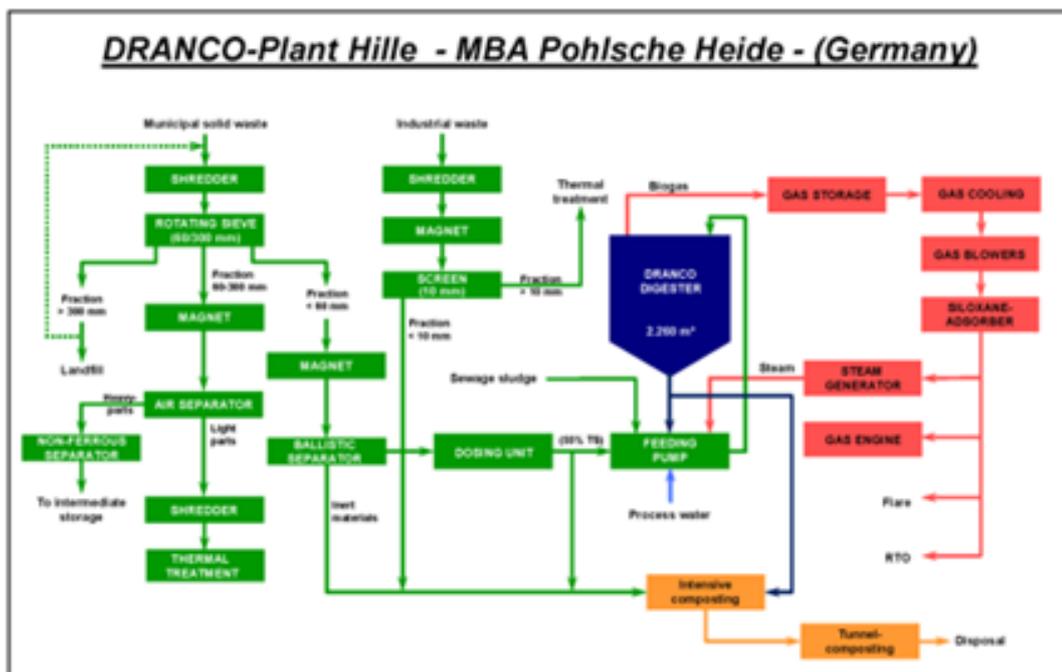
Uma instalação que trate 100.000 toneladas por ano de resíduo sólido misto recupera recicláveis e produz frações combustíveis. Cerca de 28.000 toneladas por ano de matéria orgânica são desviadas para digestão, às quais se adiciona cerca de 7.000 toneladas por ano de lodos desidratados e não digeridos. A instalação não produz águas residuais.

Figura 4 – Digestão de fluxo parcial



Fonte: OWS.

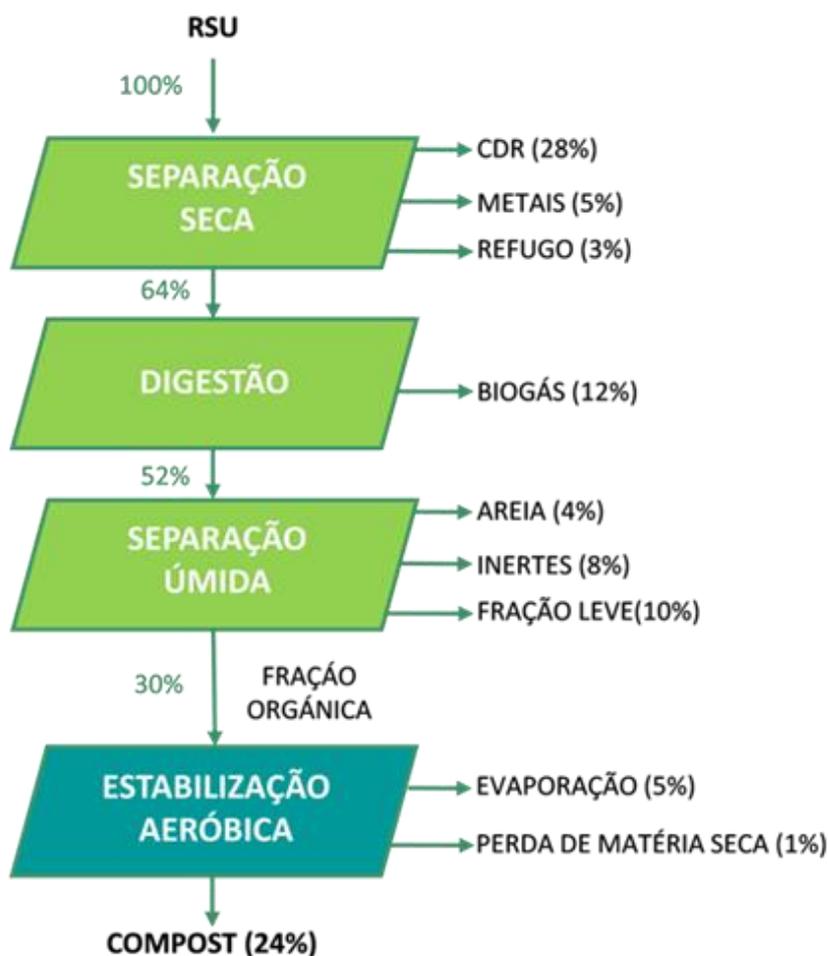
Figura 5 – Fluxograma da instalação da DRANCO em Hille (Alemanha)



Fonte: OWS.

No caso de ser utilizada uma digestão de fluxo completo, conforme descrito na Figura 6, então um processo úmido de pós-tratamento pode ser aplicado aos resíduos digeridos. Cerca de 50 a 60% dos sólidos voláteis, representando os componentes orgânicos facilmente degradáveis e muitas vezes úmidos e viscosos são já convertidos em biogás no digestor. Isto resulta numa massa digerida que pode ser facilmente separada usando filtros e outro equipamento de separação úmida, conforme desenvolvido no processo SORDISEP. Areia, fibras e inertes podem ser recuperados e limpos de modo a produzir subprodutos comercializáveis. Isto aumenta o desvio dos resíduos dos aterros em até 85% e a recuperação de materiais de resíduos mistos em até 50%.

Figura 6 – SORDISEP para uma recuperação máxima de materiais recicláveis e desvio dos resíduos dos aterros



Fonte: OWS.

A tecnologia SORDISEP será aplicada na instalação em Bourg-en-Bresse (França). O início da instalação está previsto para 2015 (ver a Figura 7).

Figura 7 – DRANCO e SORDISEP aplicados em Bourg-en-Bresse (França)



Fonte: OWS.

### 4.3 Digestão de Resíduos Alimentares

Muitas instalações de digestão da DRANCO estão tratando biorresíduos (orgânicos selecionados) ou resíduos VGF (*resíduos de vegetais, jardins e frutas*). Estas instalações operam com um conteúdo baixo de matéria seca, normalmente entre 25% e 35%. Os resíduos VGF contêm frequentemente uma fração de resíduos de cozinha (resíduo alimentar) para além do fluxo principal de resíduos de jardim e outros biorresíduos. Em geral, quanto maior a fração de resíduos alimentares, menor o conteúdo de matéria seca operacional no digestor.

Em alguns casos, o insumo da digestão DRANCO é constituído por 100% de resíduos alimentares. Este tipo de resíduo é normalmente mais úmido e líquido do que resíduo misto ou orgânico selecionado. Embora o elevado conteúdo de água, o potencial de biogás dos resíduos alimentares não é, em geral, significativamente diferente do resíduo misto ou biorresíduos (europeus).

A tecnologia DRANCO também pode constituir uma tecnologia de digestão adequada para este insumo. A principal adaptação para que a tecnologia DRANCO trate resíduos alimentares foi o tratamento do elevado conteúdo de água dos resíduos. Uma vez que o digestor da DRANCO não tem mistura interna, deverá evitar-se uma operação demasiadamente úmida. Para manter a viscosidade do conteúdo do digestor suficientemente elevada, a saída é desidratada e a fração sólida resultante é principalmente reciclada para o digestor. Com os sólidos também se recicla uma quantidade importante de biomassa ativa e fibras não digeridas. Isto resulta num tempo de retenção prolongado das fibras, o que permite uma biodegradação adicional dessa matéria orgânica. Uma prensa pode ser usada para desidratar eficazmente o digerido.

Na Coreia do Sul foram construídas duas instalações de digestão para tratar 100% de resíduos alimentares. Tipicamente, estes resíduos têm um conteúdo de matéria seca de 20%.

A instalação da DRANCO em Busan (ver a Figura 8) é constituída por duas linhas paralelas cada uma com um tanque de digestão com um volume total de 3.150 m<sup>3</sup>. O diâmetro de um tanque é de 15 metros, com uma altura total superior 24 metros. O processo opera a uma

temperatura de 40 °C e um tempo de retenção de cerca de dezoito dias. O tempo de retenção atual do material sólido é múltiplo daquela devida a elevada relação de reciclagem da bolacha de filtro-prensagem. O conteúdo de matéria seca do fermentador é mantido entre 18 e 20%.

A instalação foi concebida para tratar anualmente 73.000 toneladas de resíduos alimentares ou, incluindo o rejeito durante o pré-tratamento, cerca de 100 toneladas por dia por tanque de digestão. A produção anual média de biogás dos resíduos alimentares de Busan é de 110 Nm<sup>3</sup> por tonelada. A produção total de biogás da instalação de Busan é de 18.000 Nm<sup>3</sup> por dia com uma concentração média de metano de 62%. Esta instalação de biogás produz cerca de 32,5 MWh por dia, ou seja, 12.000 MWh por ano.

Figura 8 – Instalação da DRANCO de tratamento de resíduos alimentares em Busan (Coreia do Sul)



Fonte: OWS.

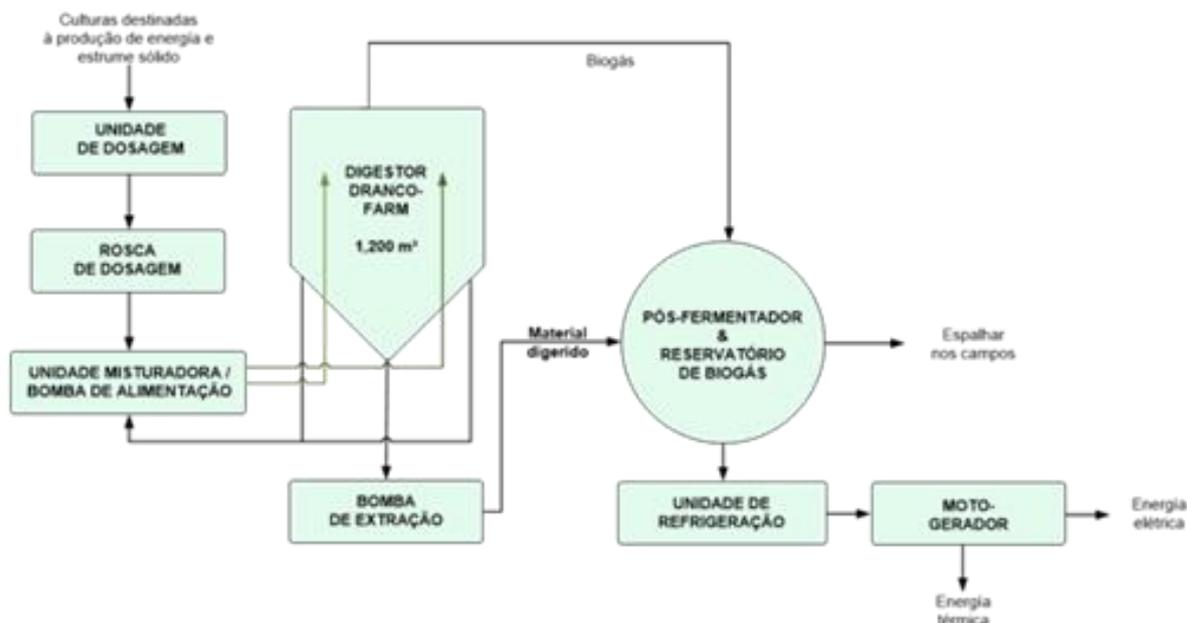
#### 4.4 Culturas Energéticas, Resíduos de Colheitas e Subprodutos da Produção de Biocombustíveis

A tecnologia DRANCO está idealmente adaptada à digestão de culturas energéticas e resíduos de colheitas. Por exemplo, o milho é colhido com um conteúdo de matéria seca de cerca de 32% e é cortado durante a colheita para uma dimensão inferior a 20 mm. Isto significa que toda a planta, conforme colhida, pode ser alimentada num digestor DRANCO sem qualquer outro pré-tratamento ou até qualquer adição de água. O cereal pode ser armazenado como forragem, durante os meses de inverno, e gradualmente alimentado no digestor.

Os resíduos digeridos da digestão do cereal são extraídos com um conteúdo de sólidos de 20% e podem ser desidratados ou simplesmente devolvidos aos campos nos quais a cultura energética foi cultivada.

Em comparação com o etanol ou o biodiesel, a energia líquida obtida por hectare é significativamente superior. Para o biodiesel, para cada tonelada de combustível fóssil consumido na produção, produz-se cerca de duas toneladas de combustível renovável, enquanto este valor ascende a 2,5 a 3 nas instalações de etanol. O biogás de cereal pode render de 6 a 8 toneladas de combustível renovável por hectare por tonelada de combustível fóssil utilizado na cultura, colheita etc.

Figura 9 – Fluxograma da instalação da DRANCO-FARM para a digestão de energia



Fonte: OWS.

A digestão anaeróbia pode, também, ser integrada numa biorrefinaria. Por exemplo, a implementação de um digestor anaeróbio para produção de biogás de subprodutos de bioetanol pode substituir a necessidade de combustíveis fósseis na instalação e melhorar assim significativamente a redução dos gases de efeito estufa. Neste momento, em algumas instalações onde resíduos de destilaria completos ou finos estão já sendo (mono)digeridos. A digestão anaeróbia seca de uma mistura de resíduos de destilaria completos ou finos e resíduos de milho pode assegurar até uma melhor solução, em que mais energia pode ser gerada num digestor de menor volume (e numa área menor).

## 5 CONCLUSÕES

A tecnologia DRANCO é única devido ao seu design vertical, a elevada concentração de sólidos e a ausência de mistura dentro do digestor. Isto permite um digestor de menor volume e a operação de uma instalação sem produção excessiva de águas residuais.

A DRANCO dispõe de 28 referências de grande escala, tratando uma vasta gama de matérias-primas: matéria orgânica separada na origem (com e sem papel/papelão não reciclável),

matéria orgânica selecionada, matéria orgânica de resíduos mistos, lodos. Mesmo sem as culturas energéticas, resíduos de colheitas e subprodutos da indústria de biocombustíveis, tais como erva, forragem de milho, resíduos de milho e resíduos de destilaria completos podem ser eficientemente digeridos a uma taxa elevada e fornecerão uma fonte sustentável de energia renovável para o futuro.

## REFERÊNCIA

OWS. **Organic Waste Systems**. Disponível em: <<http://www.ows.be>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

MATTHEEUWS, Bruno; DE BAERE, Luc A. A Tecnologia DRANCO. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Mai – 2017**.

# Biodigestão – Tecnologia Kompogas

## *Biodigestion – Kompogas Technology*

Engenheiro Eletromecânico Carlo Vendrix

### RESUMO

Agregar valor aos resíduos sólidos urbanos e poda verde com a tecnologia Kompogas para a geração de biogás, energia elétrica, energia térmica, GNV, e a produção de composto e fertilizante líquido, reduzindo assim consideravelmente os resíduos destinados para o aterro sanitário.

**Palavras-chave:** Biodigestão. Biogás. Energia elétrica. Composto. GNV.

### ABSTRACT

Add value to the urban solid waste and the green cut by means of the Kompogas technology in order to generate biogas, electric energy, thermal energy, CNG, and to produce compost and liquid fertilizer, reducing substantially the waste destined to the landfill.

**Keywords:** Biodigestion. Biogas. Electric energy. Compost. CNG.

## 1 INTRODUÇÃO

Um enorme desafio que o Brasil necessita abraçar e encarar com dedicação e metodologia para com o meio ambiente e a sociedade é o destino adequado de resíduos sólidos. Em primeira instância, deve ser implementada a educação ambiental e a conscientização da população no âmbito de resíduos; para que a redução de resíduos gerados na fonte, ou ainda a não geração de resíduos, seja realizada. Adicionalmente devem ser enfocados outros tópicos, por exemplo: reutilização e reciclagem de materiais, para que o volume da matéria-prima e a energia introduzida para a fabricação de novos produtos sejam economizados. O tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), a aplicação de tecnologias para a geração de energia elétrica e térmica, e a compostagem, bem como a destinação adequada de rejeitos neutralizados e estabilizados, que não possam ser enquadrados em nenhuma das aplicações acima referenciadas, fazem parte do escopo de manuseio de RSU. Outro aspecto inegável é a integração social dos catadores nas áreas de reciclagem, compostagem, triagem de materiais e tratamento de resíduos, para que eles ganhem uma vida mais digna como trabalhadores incorporados, exercendo suas funções em ambientes salubres, com todos seus direitos legais e sociais compensados.

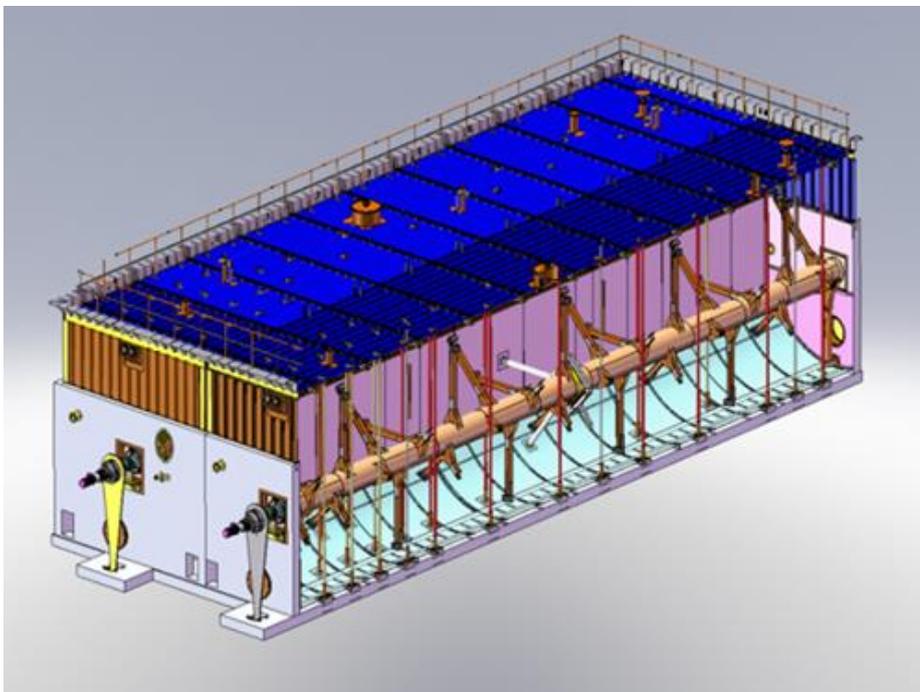
Uma das tecnologias mais viáveis para ser aplicada no processamento de RSU é seu tratamento mecânico-biológico (TMB), cuja tecnologia é um projeto mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), reduzindo os gases de efeito estufa (GEE), sem incidência de chorume e reduzindo, substancialmente, o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários.

## 2 DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA KOMPOGAS

O processo da Kompogas é a biodigestão termofílica, anaeróbia a seco.

### 2.1 Processo

Figura 1 – Módulo duplo de biodigestores



Fonte: Documentação de Engenharia da Kompogas.

O processo da Kompogas é a biodigestão termofílica, anaeróbia, a seco. Os resíduos sólidos orgânicos passam pelo fermentador horizontal, cilíndrico, do tipo “*plug type*”. O teor de substância seca de no mínimo 30% dentro do biodigestor evita a mistura do material em sentido longitudinal. Com isso, o tempo de permanência dos resíduos sólidos orgânicos é de 15 a 21 dias. A temperatura termofílica de aproximadamente 55 °C possibilita a higienização do material processado.

### 2.2 Área de recebimento e triagem do RSU

O RSU coletado nos municípios é descarregado pelos caminhões compactadores no piso do prédio de recebimento dos resíduos sólidos da planta de biodigestão. Uma pá-carregadeira ou guindaste com pólipo movimenta o RSU no galpão, direcionando-o para a linha de tratamento mecânico.

Figura 2 – Área de recebimento do RSU



Fonte: Aterro BR-040 em Belo Horizonte – MG.

Uma correia transportadora encaminha o RSU para o primeiro posto de triagem manual onde os voluminosos inorgânicos, que se encontram fora dos sacos de lixo, estão sendo separados. Em seguida, os resíduos passam por um abridor de sacos para sua extração dos sacos de lixo e no segundo posto de triagem manual ocorre uma triagem de inorgânicos contidos nos sacos. Para a separação mecânica dos resíduos com granulometria maior e menor que 60 mm será aplicada a separação numa peneira rotativa, tipo *trommel*. O material < 60 mm, ou seja: a fração orgânica sólida, é encaminhada para a área de tratamento fino de resíduos orgânicos, onde estão previstos um separador magnético para a remoção de metais ferrosos, uma correia transportadora e um posto de triagem manual fina para a retirada de materiais inorgânicos ainda presentes na matéria-prima (cacos de vidro, pilhas, porcelana, plásticos etc.). O material > 60 mm (inorgânicos) é depositado em caçambas para sua classificação a ser efetuada fora da planta. Esta fração pode ser reaproveitada como recicláveis e combustível derivado do resíduo, de alto poder calorífico, o CDR.

Figura 3 – Carregamento de RSU para triagem



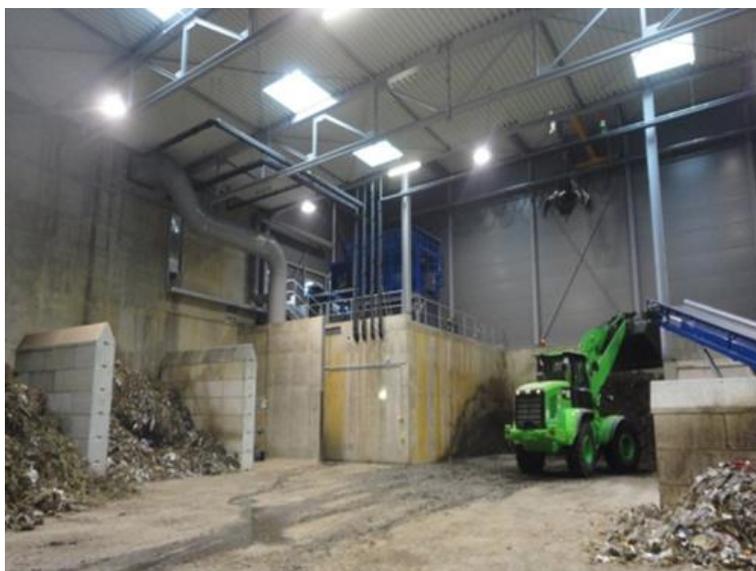
Fonte: Planta de Rostock – Alemanha.

Os resíduos oriundos de poda verde, varrição e jardinagem são depositados na área de recebimento, também, e tratados em uma linha de tratamento independente. Estes resíduos são carregados em uma moega e encaminhados através de uma correia transportadora até um triturador. Em seguida, os resíduos preparados são encaminhados para sua mistura com os resíduos orgânicos preparados na primeira linha.

### 2.3 Estoque Intermediário

Depois de ter obtida a fração orgânica na granulometria menor que 60 mm, será encaminhada para o estoque intermediário, que assegura o fornecimento contínuo de orgânicos para os biodigestores, mesmo durante fins de semana, feriados e horários fora do expediente normal de trabalho dos turnos. Uma ponte rolante com pólio efetuará o carregamento do dosador.

Figura 4 – Carregamento de resíduos sólidos orgânicos por ponte rolante



Fonte: Planta de Fulda – Alemanha.

Uma correia transportadora leva o material orgânico do dosador para a correia reversível de alimentação dos fermentadores.

### 2.4 Transporte e Distribuição para a Alimentação dos Fermentadores

A correia transportadora reversível alimenta os resíduos orgânicos aos misturadores, que condicionam a matéria-prima, antes da sua biodigestão, com substrato fermentado (inoculação) e água prensada. Em seguida, bombas hidráulicas levam este material condicionado para o bocal de alimentação dos biodigestores. Este sistema de alimentação opera automático e continuamente, 24 horas/dia, garantindo a geração de biogás.

Figura 5 – Misturador para o condicionamento prévio dos orgânicos



Fonte: Planta de Passau – Alemanha.

## 2.5 Sistema de Biodigestão

Na região da entrada, o biodigestor é previsto de um aquecimento adicional através de lanças por onde flui água quente, para que o ajuste da temperatura para o processamento biológico possa ser alcançado rapidamente. Nas regiões central e de saída do biodigestor são previstas lanças de aquecimento, também, para a manutenção da temperatura termofílica.

Uma parte dos resíduos de fermentação (substrato) é recirculada para os misturadores (inoculação) objetivando a injeção de micro-organismos, servindo como catalisador inicial do processo de fermentação da matéria-prima nova, uma vez que este substrato se encontra em atividade biológica acelerada. Com o objetivo de evitar sobrecargas para o processo biológico, o fornecimento da quantidade diária é distribuído, uniformemente, ao longo do período de 24 h/dia.

No reator de biometanização completamente fechado, que funciona de forma anaeróbia (sem presença de oxigênio), estão sendo neutralizados sementes de plantas, germes e micro-organismos. O reator tubular horizontal (*plug flow*), continuamente abastecido, possibilita uma alta produção de biogás e pelo alto teor de substância seca não há mistura de material em sentido longitudinal, com que as bactérias encontram os ambientes ideais para cada etapa de degradação sucessiva dos orgânicos (hidrólise, formação de ácidos, geração de biogás). A outra vantagem é que de cada etapa do processo pode ser efetuada uma tomada de provas para análise laboratorial.

Figura 6 – Fermentador modular para o processamento de 45 t/dia de resíduos orgânicos



Fonte: Planta de Inwil – Alemanha.

Figura 7 – Substrato dentro do biodigestor



Fonte: Planta de Rostock – Alemanha.

O mecanismo misturador com baixo giro não ocasiona um efeito de deslocamento axial do substrato, mas provoca uma desgaseificação otimizada pelo movimento do misturador. Pela disposição especial das pás do mecanismo de mistura é evitada uma sedimentação dos sólidos no substrato de biodigestão (areia, pedrinhas), que permanecem suspensos. Com isso, um esvaziamento periódico do biodigestor se torna desnecessário.

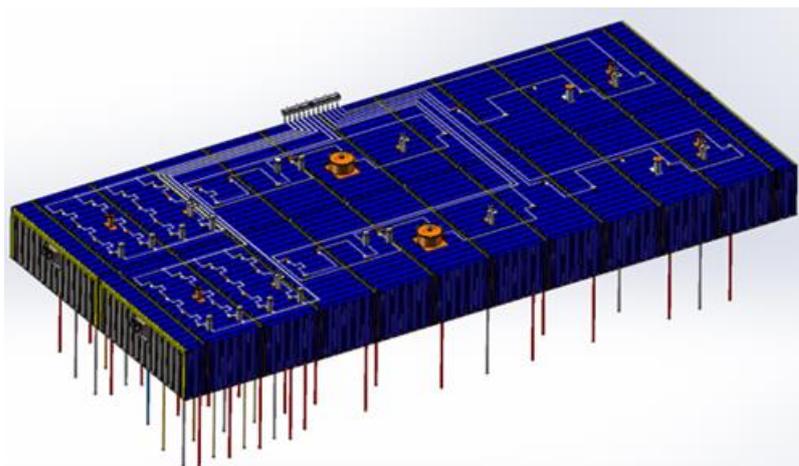
A temperatura no biodigestor, o nível de enchimento, bem como a quantidade de gás produzida são controlados, constantemente. O biodigestor é previsto de diversos dispositivos de segurança, por exemplo: proteção contra sobrepessão, excesso de enchimento (nível alto), discos de ruptura e queimador.

O biogás gerado nos biodigestores será levado a unidades motogeradoras para a geração de energia elétrica, ou para a limpeza e o tratamento do biogás objetivando a subsequente produção de GNV.

## 2.6 Distribuição de Calor

O sistema de distribuição de calor se encontra ao lado dos biodigestores. Todos os circuitos de aquecimento são alimentados a partir de um coletor de distribuição de água quente. Cada biodigestor é alimentado por três circuitos de aquecimento (entrada, central, saída) compostos de lanças instaladas no interior dos biodigestores.

Figura 8 – Distribuição de energia térmica através de circuitos de água quente e lanças



Fonte: Documentação de Engenharia da Kompogas.

Quando não for previsto um motogerador, a energia térmica necessária para este aquecimento será fornecida através de uma caldeira alimentada pelo biogás produzido pelos próprios biodigestores e um circuito fechado de água de aquecimento para circulação da água no sistema de distribuição. Para a fase de partida da planta, até que o próprio biogás for gerado e encontrar-se disponível nas condições operacionais requeridas, será utilizado óleo diesel numa caldeira separada.

## 2.7 Sistema de Descarregamento, Desidratação e Compostagem

Após o processo de biodigestão, o substrato é bombeado para o sistema de prensagem, tipo parafuso extrusor, onde é feita a separação das frações sólida e líquida.

A fração sólida é encaminhada para as baias de aerobização previstas de ventilação forçada, onde o substrato prensado permanece por um período de maturação de duas a quatro semanas. O material está sendo virado, a cada dois dias, através de uma pá-carregadeira.

Em seguida é feita a pós-compostagem durante um período de oito semanas em leiras, dentro de um prédio coberto, porém aberto lateralmente, para a continuação da secagem aeróbia do composto.

Figura 9 – Sistema de bombeamento do material para o prédio de prensagem



Fonte: Planta de Rostock – Alemanha.

A fração sólida biológica orgânica obtida na prensagem passará por um processo de compostagem, resultando em um composto orgânico para destinação final em agricultura, jardinagem, remediação de solos (aterros fechados) ou outros fins similares. Caso não haja demanda para o composto na região onde o fermentador for instalado, o material orgânico já degradado, estabilizado e inerte poderá ser utilizado como condicionador de solo ou retornado para o aterro sanitário, onde este material poderá ser utilizado para o condicionamento, remediação e infraestrutura, bem como cobertura para diminuir a emissão de gás metano para a atmosfera.

Figura 10 – Prensa para desidratação do substrato



Fonte: Planta de Utzenstorf – Alemanha.

Figura 11 – Fração sólida na área de aerobização



Fonte: Planta de Montpellier – França.

Figura 12 – Pós-compostagem



Fonte: Planta de Botarell – Espanha.

A fração líquida é estocada em um tanque de concreto e poderá ser aproveitada como condicionador de solos. A fração líquida biológica orgânica obtida no processo de prensagem não tem as características nocivas de chorume, uma vez que a fermentação é um processo biológico, e pode ser utilizada como fertilizante líquido de alta qualidade para o condicionamento de solos e irrigação de plantações de árvores, parques, cana-de-açúcar, entre outros. Caso não haja demanda para este fertilizante, a solução adequada seria seu tratamento numa estação de tratamento de efluentes prevista dentro da própria planta ou mesmo seu encaminhamento para uma estação de tratamento de esgoto (ETE) mais próxima.

## 2.8 Sistema de Aproveitamento do Biogás

Uma vez que o fermentador de arranjo horizontal é preenchido com aproximadamente 70% de material, a câmara situada na parte superior serve como acumulador de biogás (gasômetro). A destinação mais frequente para o biogás gerado no biodigestor é sua combustão em grupos de motogeradores para a geração de energia elétrica. A outra opção seria o tratamento do biogás para retirada do dióxido de carbono e a geração de gás natural (biometano) para sua injeção em rede de concessionário ou mesmo para a produção de gás natural veicular (GNV).

Figura 13 – Motogerador para a combustão do biogás e a geração de energia elétrica



Fonte: Planta de Rostock – Alemanha.

Figura 14 – Dispensador de GNV



Fonte: Posto de Abastecimento de GNV – Suíça.

Figura 15 – Sistema queimador fechado para a queima de biogás excedente



Fonte: Planta de Rostock – Alemanha.

Quando o grupo motogerador se encontrar parado ou caso a produção de biogás ultrapassar o consumo de gás retirado, seu excedente será queimado através do “*flare*”, do tipo tubo isolado e ignição automática, alocado em lugar seguro, com chama invisível e sem interferência por vento e intempéries.

A cobertura hermeticamente fechada do biodigestor funciona como pulmão para o acúmulo do biogás. Todavia, o biogás é constantemente extraído do biodigestor e encaminhado para, por exemplo: a combustão em motogeradores. Por motivos de segurança, caso haja problema operacional da instalação ou necessidade de manutenção destes conjuntos, o biogás excedente será queimado num *flare* isolado e automático à sobrepressão de 45 mbar, situado na parte superior do fermentador. Caso a pressão continuar subindo, um selo de água libera o biogás para a atmosfera à sobrepressão de 60 mbar. Numa última instância e com maior aumento da pressão, um disco de ruptura rompe à sobrepressão de 100 mbar. Todos estes componentes de segurança se encontram na parte superior do fermentador. Através da sua instalação o risco de acidentes por explosão do biogás é eliminado.

## 2.9 Biofiltro

Na área de recebimento e pré-tratamento do lixo existe uma emanção de odores provenientes do processo de degradação inicial da fração orgânica do lixo urbano na fase do seu recebimento no prédio. Para o controle destes odores é previsto o enclausuramento desta área e um sistema de exaustão de gases, que garante uma pressão negativa no ambiente. Os gases captados

pontualmente nas estações fechadas de triagem manual e do interior do prédio são exauridos e encaminhados para seu tratamento.

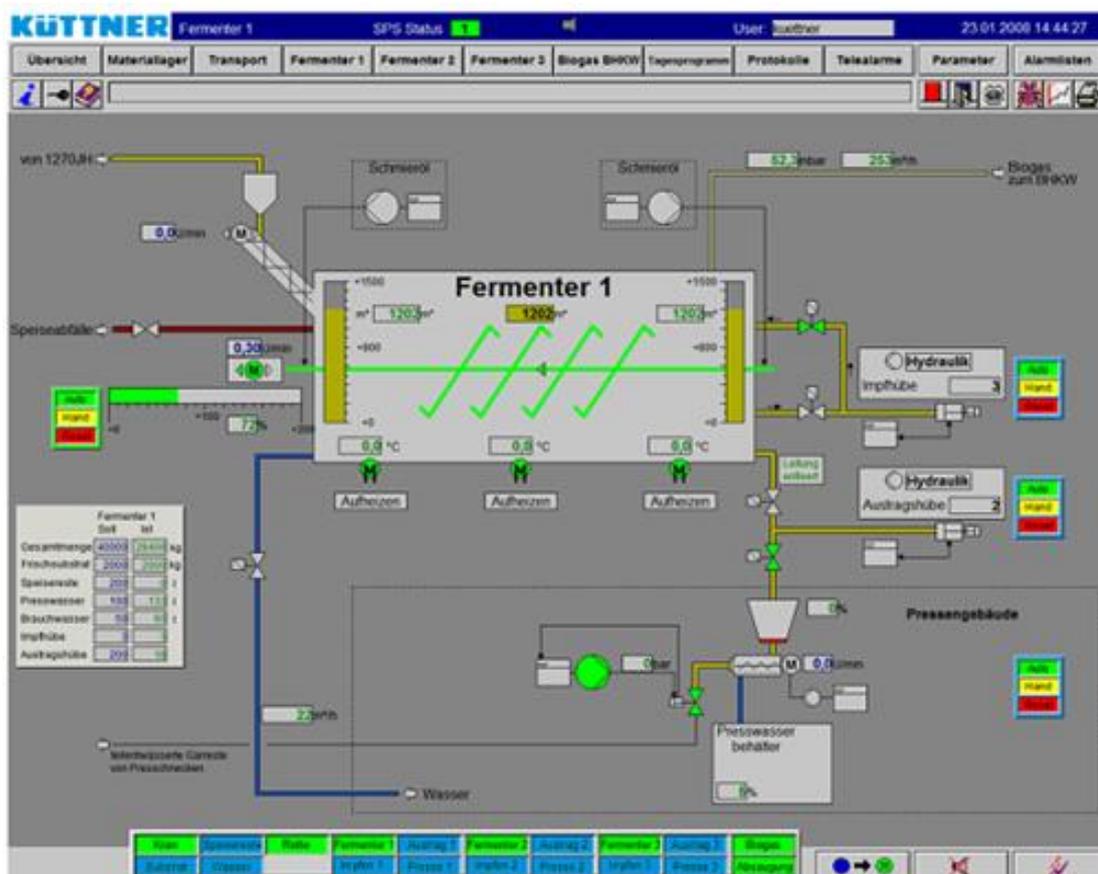
Dentro da casa de prensagem existe uma forte emanção pontual de odores provenientes do líquido fertilizante (gás amoníaco) e no prédio de compostagem existem ainda leves odores provenientes da aerobização do substrato sólido prensado. Estes odores são devidamente controlados através do enclausuramento do ambiente e pressão negativa em seu interior, bem como pela troca de ar (exaustão) e encaminhamento para seu tratamento.

O ar exaurido contendo odores é levado para um sistema de tratamento de lavagem do ar e o biofiltro, onde os odores são eliminados quando passar pela camada filtrante.

## 2.10 Instalações Elétricas, Controle e Visualização

Na sala de comando e de controle elétrico será instalada uma estação de operação para visualização das diversas funcionalidades, como os dados de processo e para comando remoto dos acionamentos previstos na unidade. Nesta sala serão previstos ainda controlador lógico programável (CLP) e módulos de entradas e saídas, discretas e analógicas, montados num painel que, em conjunto com a estação de operação, viabiliza o controle e a automação da planta.

Figura 16 – Máscara do processo do biodigestor



Fonte: Planta de Rostock – Alemanha.

Entre o CLP e a estação de operação (supervisório) a troca de dados se dará por rede de comunicação Ethernet TCP/IP.

Um centro de controle de motores (CCM) será instalado na sala elétrica para acionamento dos motores elétricos previstos na unidade. Este CCM receberá do CLP (através de sinais discretos) os comandos para os acionamentos.

Próximo de cada motor elétrico da planta é prevista a instalação de um posto de comando a ser utilizado apenas para as condições de manutenção. Estes postos permitirão o acionamento local dos equipamentos através de botões liga/desliga, sem que haja neste instante nenhum intertravamento lógico.

### 3 VANTAGENS DO PROCESSO

A tecnologia de tratamento de resíduos orgânicos através do processo de biodigestão apresenta as seguintes vantagens:

- a) gerar biogás a partir da fração orgânica do lixo domiciliar sólido;
- b) reduzir significativamente o volume de resíduos urbanos depositados no aterro sanitário;
- c) reduzir o tempo necessário para compostagem, aumentando assim a produtividade, bem como aumentar a qualidade do composto orgânico devido à higienização total que ocorre dentro do fermentador;
- d) produzir fertilizante líquido orgânico que poderá ser comercializado para os agricultores locais;
- e) dar o direito a créditos de carbono em função da redução de emissão de gás efeito estufa (GEE);
- f) melhorar o conceito social e ambiental pela unidade de beneficiamento de resíduos;
- g) gerar emprego de melhor qualidade para os trabalhadores;
- h) eliminar o chorume proveniente da disposição convencional em aterros sanitários, sendo que é gerado pelos resíduos orgânicos;
- i) não há emissão de poluentes atmosféricos, tais como: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dioxinas e furanos;
- j) a instalação requer uma área de tamanho reduzido para sua implementação e pode ser construída sobre um solo sem maiores exigências;
- k) facilidade para futura expansão pelas características do conceito de modulação dos biodigestores.

## 4 DADOS OPERACIONAIS – MÓDULO DUPLO

Tabela 1 – Dados operacionais de módulo duplo de biodigestores

Produto gerado	Energia elétrica	GNV
Habitantes do município	180.000	
Geração de resíduos sólidos (kg/dia/habitante)	1	
Resíduos sólidos urbanos (RSU) (t/dia)	180	
Fração de resíduos orgânicos (%)	50	
Quantidade total de resíduos sólidos orgânicos (t/dia)	90	
Quantidade de biodigestores	2	
Geração de biogás (Nm <sup>3</sup> /h)	500	
Dados esperados do biogás (saturado)	58% CH <sub>4</sub> , 42% CO <sub>2</sub> , < 1.200 ppm H <sub>2</sub> S @ 40 mbar e 52 °C	
Geração energia elétrica (kWh/h)	1.025	----
Geração energia térmica (kWh/h)	1.075	----
Consumo próprio de energia elétrica (kWh/h)	200	
Consumo próprio de energia térmica (kWh/h)	235	
Excedente de energia elétrica (kWh/h)	825	----
Quantidade de casas alimentadas @ 100 kWh/mês	5.900	----
Excedente de energia térmica (kWh/h)	840	----
Quantidade motogeradores	1	----
Potência instalada (kW)	1.200	----
Geração de biometano (Nm <sup>3</sup> /h) (> 95% pureza) – 250 bar de pressão de estocagem	----	290
Abastecimento de tanques de 15 m <sup>3</sup> (quantidade/dia)	----	450
Área requerida (m <sup>2</sup> ) (sem infraestrutura e com pós-compostagem)	22.500	
Sólidos do substrato – composto / condicionador e remediação de solos (t/dia)	25	
Líquidos do substrato – fertilizante / irrigação (t/dia)	40	

Fonte: Documentação de Engenharia da Kompogas.

## 5 REFERÊNCIAS DE INSTALAÇÕES

No Brasil não existem ainda referências de plantas operando para o tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos orgânicos.

Todavia, o processo da Kompogas já foi implementado a nível mundial, no período de 1988 a 2013, na totalidade de 54 plantas com 110 fermentadores instalados em nove países, ou seja: Suíça, Alemanha, Áustria, França, Espanha, Holanda, Qatar, Japão e Itália.

Figura 17 – Planta de Fulda (Alemanha) – dois biodigestores para 90 t/dia de orgânicos



Fonte: Planta de Fulda – Alemanha.

Figura 18 – Planta demonstrativa de Otelfingen (Suíça) – um biodigestor para 30 t/dia de orgânicos



Fonte: Planta de Otelfingen – Suíça.

A capacidade de resíduos sólidos orgânicos pode alcançar até 300.000 t/ano, sendo processado em quinze módulos de biodigestão. O biogás gerado pelo processo, na maioria das suas aplicações, é usado para a produção de energia elétrica.

A experiência adquirida pelo período superior a vinte anos garante um procedimento permanente de melhoramento e inovação nos âmbitos de tecnologia, processo e segurança operacional.

## 6 CONCLUSÕES

Não obstante a não existência de unidades TMB instaladas e operando no Brasil, vários projetos e planos municipais (consorciais) para o tratamento e a destinação de resíduos sólidos em elaboração no âmbito de diversos municípios e consórcios de cidades estão sendo analisados técnicos e financeiramente para sua implementação local.

Todavia, três contratos de parceria público-privada (PPP) foram concluídos para as cidades de Embu, Cotia e Piracicaba com a empresa ENOB. Para a planta de Piracicaba foi obtida a licença ambiental prévia, sendo que a licença de instalação deverá ser liberada em breve. Isto significa que a aplicação desta tecnologia está sendo reconhecida como sendo viável para o tratamento de RSU, bem como de geração de biogás, energia elétrica e a produção de composto. O reconhecimento da viabilidade tecnológica, e a determinação e a negociação das tarifas para os produtos gerados proporcionarão sua aplicabilidade mais adequada ainda no Brasil, reduzindo drasticamente o destino de RSU para os aterros e seu aproveitamento para a geração de produtos comerciáveis, não simplesmente enterrando e desperdiçando “fortunas”, mas valorizando-os em benefício da sociedade.

### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

VENDRIX, Carlo. Biodigestão – Tecnologia Kompogas. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Maió – 2017**.

# Tratamento Biológico Aerado em Leiras Envelopadas com o Sistema GORE® Cover

*Aerated Biological Treatment with Closure Windrows under GORE® Cover System*

*CEO Thomas Schlien*

*CEO Franz Vogel*

## RESUMO

A correção orgânica dos solos com dejetos de animais e resíduos vegetais é praticada desde que os solos começaram a ser mobilizados para a produção vegetal, e foi, tradicionalmente, o principal meio de restaurar o balanço de nutrientes no solo (AVNIMELECH, 1986). A compostagem é definida como sendo a decomposição biológica do conteúdo orgânico dos resíduos, sob condições controladas (CARDENAS & WANG, 1980; OBENG, 1982). Dentro da concepção moderna, a compostagem vem sendo definida como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma colônia mista de micro-organismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira, quando ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas predominantemente termofílicas; a segunda, ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação (PEREIRA NETO, 1996). Atualmente as técnicas de decomposição aeróbia ampliaram suas fronteiras destinando-se não apenas para a geração de composto, mas também sendo aplicadas para fins de secagem biológica e estabilização de rejeitos para garantir uma disposição final com menores impactos ambientais. Este artigo retratará a técnica GORE® Cover, que detém diversas referências em âmbito global, com a implantação de 187 plantas, remontando a uma capacidade operacional instalada de três milhões de toneladas anuais, contribuindo sobremaneira para a proteção do meio ambiente.

**Palavras-chave:** Tratamento mecânico-biológico. Processo de compostagem. Secagem. Resíduos para energia. Estabilização.

## ABSTRACT

The correction of organic soils with manure of animals and vegetable waste is practiced since the soil began to be deployed to the agricultural production, and has been, traditionally, the main means of restoring the balance of nutrients in the soil (AVNIMELECH, 1986). The composting is defined as the biological decomposition of organic content of waste under controlled conditions (CARDENAS & WANG, 1980; OBENG, 1982). Within the modern conception, composting has been defined as a controlled aerobic process, developed by a mixed colony of microorganisms, performed in two distinct phases: the first, when takes place the oxidation biochemical reactions more intense predominantly termofílicas; the second, or stage of maturation, when occurs the process of humus (PEREIRA NETO, 1987). Currently the techniques of aerobic decomposition

have expanded their borders and are used not only for the generation of compost, but also being applied for biological drying purposes and stabilization of residues to ensure a final disposal with lower environmental impacts. This article will portray the technical GORE® Cover, which holds several references on a global scale, with the deployment of 187 plants, dating back to an operational capability installed over 3 million tons per year, contributing greatly to the environment protection.

**Keywords:** Mechanical Biological Treatment. Composting Process. Biodrying. Waste to Energy. Stabilization.

## 1 INTRODUÇÃO

O relatório Aplicação do Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos no Brasil (2007) define as diferenças entre os processos aeróbios da seguinte forma:

A principal diferença entre os processos de tratamento aeróbio de resíduos consiste nos diferentes sistemas de pré-decomposição e decomposição termófila intensiva. As áreas posteriormente conectadas de pós-decomposição termófila, produção e armazenamento normalmente não são partes específicas do processo. Na fase termófila de pré-decomposição, os materiais orgânicos de fácil degradação são decompostos por micro-organismos com intensidade de degradação relativamente elevada. A duração da fase termófila de pré-decomposição abrange um período de aproximadamente seis semanas. As exigências na administração desta fase, como por exemplo o fornecimento de oxigênio, a regulação da temperatura e os limites de emissões, são bastante elevadas. Os processos de degradação e de transformação na fase termófila de pós-decomposição são nitidamente mais lentos que na fase termófila intensiva de decomposição. Nesta fase, a velocidade de decomposição pode ser em pequena escala influenciada por medidas técnicas.

As características relevantes de distinção entre os processos aeróbios atuais, são:

- a formação da área de decomposição e a geometria das leiras;
- o tipo de aeração;
- o tipo do sistema de entrada, saída e de revolvimento.

Dentre as técnicas disponíveis no mercado, o sistema GORE® Cover se enquadra em um processo de complexidade mediana e de alta flexibilidade devido a sua pré-disposição modular. Estas vantagens justificam a sua alta aplicabilidade em mercado global, com mais de 187 plantas de tratamento de resíduos, onde são tratadas três milhões de toneladas de resíduos por ano.

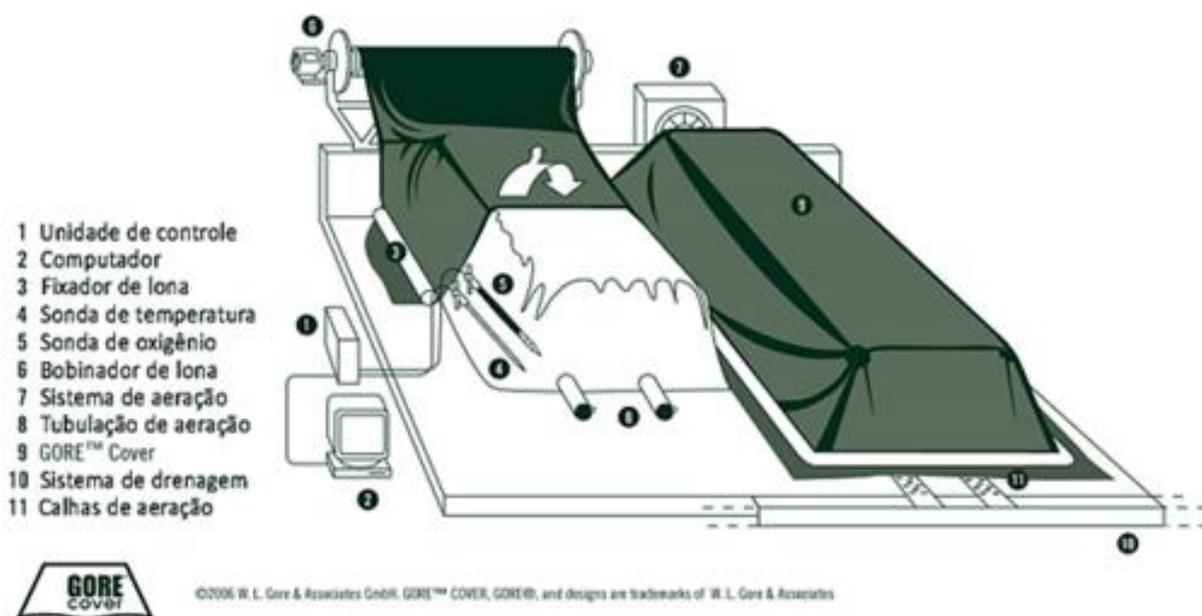
Além da aeração, controle, comissionamento e treinamento customizado podemos elencar as seguintes propriedades que diferenciam este sistema:

- Durabilidade superior a quatro anos garantida em contrato;
- Funcionalidade no que se refere a permeabilidade do ar e do vapor d'água garantida durante a operação;
- Baixa ocorrência de odores em decorrência da degradação biológica;
- Resistência a ácidos e a produtos químicos;
- Mantém sua elasticidade também em temperaturas baixas.

## 2 COMPOSTAGEM EM LEIRAS ENVELOPADAS

O processo de compostagem em leiras, cobertas por lonas especiais e aeradas por aeração forçada, com suprimento controlado de oxigênio, corresponde ao estado da tecnologia mais atual, do ponto de vista tecnológico bem como, ambiental. Este processo se destaca pelo manuseio simples e flexível, rapidez de operação e alta segurança de funcionamento.

Figura 1 – Sistema GORE® Cover



Fonte: Arquivo W.L. Gore & Associates GmbH.

## 3 COMPONENTES PRINCIPAIS

O sistema é composto por três componentes principais:

- A aeração forçada fornece oxigênio aos micro-organismos;
- A aeração é controlada através dos parâmetros oxigênio e temperatura, para a ótima condução do processo de compostagem;

- O material é coberto com a membrana GORE® Cover e PTFE embutida, para permitir a condução do processo de forma fechada e segura.

### 3.1 Base

A área destinada à compostagem deve ser impermeabilizada e construída em concreto armado ou em asfalto. Um declive de 2% é suficiente para conduzir as águas de chuva e percolados do processo para sistemas de drenagens concebidos para estas finalidades.

Figura 2 – Reservatório em concreto GORE® Cover



Fonte: Arquivo UTV AG.

### 3.2 Pré-Tratamento

Os resíduos sólidos trazidos pelos caminhões da coleta são encaminhados para a área de descarregamento. Corpos estranhos de maior volume podem ser removidos manualmente. Em seguida, os resíduos, quando necessário, são misturados com material estruturante, por exemplo resíduos verdes, por meio de uma pá carregadeira ou um sistema de reviramento móvel.

Figura 3 – Resíduos orgânicos selecionados



Fonte: Arquivo UTV AG.

A homogeneização do material resultante é necessária para assegurar a sua aerabilidade. Além disso, a etapa de homogeneização oferece a possibilidade de ajustar o teor de umidade do material. Depois de homogeneizado teremos uma condição ótima em relação ao teor de umidade e ao volume de poros, devendo o material ser depositado no formato de leiras por meio de uma pá carregadora.

### 3.3 Sistema de Aeração

A aeração é um pré-requisito essencial para a decomposição rápida e sem emissão de odores, do material orgânico. Para esta finalidade, aeradores de média pressão são utilizados, os quais sugam o ar do ambiente e lançam para o interior das leiras, através da tubulação de aeração integrada no piso (*"in-floor"*).

Figura 4 – Valeta de aeração Gore Cover



Fonte: Arquivo UTV AG.

As calhas de aeração consistem em uma drenagem para a condução do ar e uma chapa resistente a corrosão e acessível por veículos, a qual é provida com um perfil de furos dimensionado de acordo com as necessidades de cada tratamento. Portanto, o ar é conduzido pelos furos para o interior da leira.

#### 4 FLUXO OPERACIONAL

De acordo com Pereira (2014, p. 67):

A compostagem em leiras é tipicamente empregada para quantidades maiores, requerendo largas áreas. Adicionalmente, podem ser identificados problemas de odor e de percolação excessiva durante a decomposição nas leiras. Para remediar estes problemas, em áreas onde as condições pluviométricas são intensas ou mesmo onde a população afetada encontra-se localizada na proximidade da planta de compostagem, devem ser desenvolvidos sistemas simples de cobertura como pátios cobertos ou membranas semipermeáveis, conforme “Aplicação do Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos no Brasil”, de Fricke *et al.* (2007). (PEREIRA, 2014, p. 67)

Segundo Fricke *et al.* (2007, p. 42):

Outro método empregado para uma redução sensível dos odores desagradáveis consiste na cobertura das leiras por material tipo membrana

semipermeável (FRICKE *et al.*, 1999). Trata-se de um material têxtil, formado por uma camada ativa de microporos e laminada com uma lona plástica altamente resistente visando garantir estabilidade física. A aplicação de membranas permeáveis conduz a uma redução significativa das emissões de odores desagradáveis nas leiras descobertas. (FRICKE *et al.*, 2007, p. 42)

As experiências acumuladas durante a implantação das diversas plantas com tecnologia GORE COVER® atestam a sua funcionalidade no que concerne a redução de odor, eficácia de estabilização e flexibilidade de montagem, podendo ser implementada em etapas segundo demanda do local.

## 4.1 Compostagem intensiva – Fase I

Durante esta primeira fase de estabilização aeróbia temos uma etapa termofílica intensa onde a leira permanece imóvel por quatro semanas.

### 4.1.1 Montagem da leira

O material homogeneizado é disposto em leiras por meio de uma pá carregadeira. O material é basculado, começando na parede de contenção, nas calhas de aeração, com os aeradores ligados em operação contínua. Com isso, o entupimento dos furos é evitado e assegurada uma aeração imediata do material.

Figura 5 – Etapa de revolvimento



Fonte: Arquivo UTV AG.

A altura máxima das leiras é de 3 m. As larguras entre 6 m e 8 m e comprimento de, no máximo, 50 m. Estas dimensões deverão ser adequadas durante a fase de planejamento do projeto.

#### *4.1.2 Cobertura das leiras*

Figura 6 – Bobina GORE® Cover



Fonte: Arquivo UTV AG.

Depois da montagem das leiras, elas são cobertas com a lona GORE® Cover. Com isso, o sistema fechado atende as normas legais provendo um tratamento controlado da decomposição biológica.

Para tanto, a lona GORE® Cover, enrolada em bobina em um eixo central, instalado na parede de contenção ao lado oposto da área de compostagem, ou em um equipamento de bobinagem móvel, é desenrolada do eixo central e estendida para a leira. O desenrolamento da lona GORE® Cover ocorre por meio de um guincho com cabo, no caso do equipamento instalado no muro; ou no caso do equipamento de bobinagem móvel este é movimentado ao longo da leira, dessa forma a leira é coberta com a lona GORE® Cover, não havendo comprometimento da operação devido ao seu peso. Depois, a cobertura é fixada no chão, com ajuda de mangueiras cheias de ar ou material similar, como saco de areia, as quais são afixadas por meio de laços inseridos nas laterais da cobertura. Depois, a leira é aerada regularmente, sem provocar emissões relevantes de odores ou de patógenos.

Neste sistema, as leiras não precisam ser reviradas durante as primeiras quatro semanas de estabilização biológica, mitigando assim as emissões de odores durante a fase de decomposição intensiva.

### 4.1.3 Aplicação das sondas

Figura 7 – Sensor de oxigênio GORE® Cover



Fonte: Arquivo UTV AG.

Após a montagem e cobertura das leiras com a lona GORE® Cover, as sondas necessárias para o controle do processo são inseridas. Para tanto, um funcionário sobe na leira e insere a sonda de medição de temperatura verticalmente na abertura demarcada na lona. A sonda é inserida até que os cabos encontrem a superfície da lona.

Figura 8 – Sensor de temperatura GORE® Cover



Fonte: Arquivo UTV AG.

#### ***4.1.4 Operação regular***

A operação regular é de quatro semanas, onde nesta etapa, o material é aerado segundo os valores limites de oxigênio e temperatura, antes programados em sistema de controle informatizado. O umedecimento e/ou o reviramento das leiras durante este prazo não são necessários.

Do ponto de vista da segurança de trabalho, este sistema fornece condições ideais, pois o material em decomposição intensiva encontra-se isolado e desta forma os funcionários não entram em contato com a massa em decomposição.

#### ***4.1.5 Desmontagem das leiras***

Após, aproximadamente, quatro semanas, as leiras são desmontadas. Primeiramente, os pesos são removidos das bordas da lona de cobertura, os sensores de medição retirados e guardados com segurança. Logo em seguida, a lona de cobertura é rebobinada no eixo da bobina, por meio de equipamento próprio. O material da leira é desmontado por meio de uma pá carregadeira e transportado para o pós-tratamento.

### **4.2 Compostagem intensiva – Fase II**

A leira é remontada em um novo espaço permanecendo ainda em estabilização por duas semanas e seguindo todas as orientações de montagem de desmontagem previstas no item 4.1.

### **4.3 Pós-tratamento – Fase III**

Depois de duas semanas, a cobertura da leira é removida e os sensores retirados e guardados com segurança. A massa estabilizada é realocada em nova área com piso aerado para uma fase de pós-maturação, caso necessário. Nesta fase, devido ao grau de estabilidade do material, não há emissão significativa de odores e portanto fica dispensada a cobertura da leira. O controle do processo ocorre apenas com a sonda de temperatura.

### **4.4 Desmontagem, Peneiramento, maturação e beneficiamento**

De acordo com cada objetivo de tratamento ou estratégia de comercialização, respectivamente, o material então estabilizado é conduzido para o pós-tratamento ou é peneirado e distribuído como fertilizante.

## **5 CONCLUSÕES**

A busca por alternativas para minimizar os impactos gerados pela gestão tradicional dos resíduos pode ser percebida em âmbito global. Diversos países desde os mais industrializados até

os subdesenvolvidos têm já alguma ação implementada, seja em pequena escala e envolvendo poucos recursos seja em larga escala em plantas automatizadas.

Avaliando este cenário podemos concluir que há demanda por tecnologias simples, por exemplo os revolvedores de leiras com maior demanda de área, emissão de odor mas de baixo investimento e baixa complexidade operacional, estes classificados como sistemas extensivos, para tecnologias medianas como a apresentada neste artigo com sistema intensivo de aeração e leiras envelopadas que mitigam o odor e permitem que a estabilização ocorra em um período mais curto a partir de uma decomposição integralmente controlada e remontam a baixa complexidade operacional, até tecnologias de alta complexidade técnica e operacional, como por exemplo os túneis e galpões aerados que apesar de menor demanda de área e maior controle de emissões, resultam em custos elevados de construção civil e equipamentos.

O tomador de decisão deverá avaliar a operacionalidade do sistema, montante de investimento e operação bem como critérios ambientais como odor, vetores, emissões líquidas, entre outros.

Nossa proposta é oferecer uma tecnologia de aeração maleável que se adapte a qualquer substrato e subproduto, podendo ser implantada rapidamente, indo de encontro às premissas legais e ao senso comum de que o aterro não é tratamento e as frações dispostas *in natura* se decompõem de forma descontrolada resultando na contaminação dos solos e das águas, emissões de gases de efeito estufa, recalques e fundamentalmente desperdiçando recursos.

Assim, podemos contribuir para melhorar nosso planeta através da utilização de tecnologias biológicas que garantem uma gestão adequada das frações mistas e orgânicas, podendo transformar a biomassa em energia, como a fermentação, ou ainda produzir composto, CDR e rejeitos estabilizados através da decomposição aeróbia.

## REFERÊNCIAS

- AVNIMELECH, Y. Organic residues in modern agriculture. In: CHEN, Y.; AVNIMELECH, Y. (Eds.). **The role of organic matter in modern agriculture**. p. 1-9. Netherlands: Martinus Nijhoff, 1986.
- CARDENAS, Raul R.; WANG, Lawrence K. Composting process. In: WANG, Lawrence K.; WANG, Mu-Hao S. **Handbook of Environmental Engineering**. vol. 2, p. 269-327. Nova York: The Human Press, 1980.
- ESAPL – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. **Manual de Compostagem**. Disponível em: <[http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual\\_Compostagem.htm](http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2015.

FRICKE, Klaus; DICHTL, Norbert; SANTEN, Heike; MÜNNICH, Kai; BAHR, Tobias; HILLEBRECHT, Kai; SCHULZ, Olaf. **Aplicação do tratamento mecânico-biológico de resíduos no Brasil**. Guia para uma gestão integrada de resíduos sólidos com a aplicação da técnica de TMB compreendendo disposição em aterros, tratamento de chorume e recuperação de aterros desativados. Finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Göttingen, Germany: Hubertus & Co, 2007.

PEREIRA NETO, João Tinôco. **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PEREIRA, Christiane Dias. **Rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

#### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

SCHLIEN, Thomas; VOGEL, Franz. Tratamento Biológico Aerado em Leiras Envelopadas com o Sistema GORE® Cover. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos**: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Maió – 2017**.

# Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento de Recicláveis em uma Planta de Tratamento Mecânico-Biológico

*Municipal Solid Waste with Recycling Recovery at one Mechanical and Biological Plant*

Químico Michael Ludden

## RESUMO

A motivação principal para a aplicação do tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) é a proteção do meio ambiente, do clima, dos recursos naturais e da saúde. A forma despreocupada de lidar com os resíduos, parte dos quais são perigosos, resulta em danos imensos e até persistentes à natureza e ao homem. As intervenções na natureza têm efeito a longo prazo e em alguns casos, podem aparecer depois de décadas, para serem corrigidas de forma bastante onerosa, dentro de mais algumas décadas. Os danos, entretanto, são enormes e hoje em dia, ninguém mais duvida a sua existência. Portanto, o tratamento adequado dos RSU é uma tarefa importante para todos os segmentos da sociedade.

**Palavras-chave:** Resíduos. Tratamento mecânico-biológico. Tecnologia. Reciclagem. Meio Ambiente.

## ABSTRACT

The main motivation for the municipal solid waste (MSW) treatment is the protection of the environment, climate, natural resources and health. The haphazard way of dealing with the waste, some of which are hazardous, result in immense damage to the nature and to humans. The interventions in nature has a long-term effect and in some cases, can appear after decades, to be corrected under fairly costs within a few more decades. The damage, however, are enormous and today, no one doubts their existence. Therefore, the adequate treatment of MSW is an important task for all segments of society.

**Keywords:** Residues. Mechanical-Biological Treatment. Technology. Recycling. Environment.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo estimativas, a população mundial está produzindo aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de lixo, a cada dia. Se as pessoas não mudam de comportamento, as quantidades de resíduos domésticos produzidas dobrariam até o ano 2025.

Na lista dos dez maiores produtores de resíduos, portanto, também constam as quatro economias emergentes, o Brasil, a China, a Índia e o México – as grandes metrópoles sendo responsáveis pelos maiores problemas.

Com o aumento do poder aquisitivo da população, a quantidade e a composição dos resíduos também mudam. Os resíduos domésticos são compostos de material orgânico (resíduos de hortas e cozinhas), papéis e papelão, plásticos, minerais, têxteis, vidro, madeira, borracha e outros.

Neste contexto, a palavra-chave é “reciclagem” que preserva os recursos primários, estes finitos, através do beneficiamento e sua reutilização.

Desta forma, os resíduos mistos podem ser tratados em uma planta de tratamento mecânico-biológico (TMB). Os recicláveis (metais, diversos plásticos, papel, papelão, lonas de plástico etc.) são separados por meio de diferentes etapas de tratamento, e os materiais com menor valor agregado (pequenos pedaços de plásticos, farrapos, madeira etc.) podem ser disponibilizados em forma de combustíveis alternativos, para o aproveitamento energético de alta qualidade. O material orgânico ainda contido nos resíduos pode ser degradado, de forma controlada, em meio aeróbio, com consumo de oxigênio, ou em ambiente anaeróbio, em meio anóxico, sem a presença de oxigênio, a fim de reduzir ao mínimo as emissões de gases de efeito estufa quando de seu aterramento. A valorização da biomassa também pode ser empregada para a geração de combustíveis alternativos. Os rejeitos, então, são biologicamente estabilizados, tornando-se apropriados para a disposição segura em aterros.

## 2 ETAPAS DE TRATAMENTO MECÂNICO-BIOLÓGICO

As etapas de uma planta de tratamento mecânico-biológico (TMB) estão descritas neste item.

### 2.1 Alimentação

Para a alimentação da planta TMB, diversos equipamentos estão disponíveis. Muitas vezes essa tarefa é feita por meio de uma pá-carregadora, considerada como método adequado. A instalação de modernos sistemas de pisos móveis ou contêineres de descarregamento por rosca, equipados com sistemas rasga saco, pode resultar em um aumento da produtividade de, ao mínimo, 10%. A alimentação contínua permite ao gerente da planta aumentar gradualmente seu desempenho, ao mesmo tempo controlando o padrão necessário de qualidade. É possível testar determinados equipamentos em relação a sua aplicabilidade e, por meio de adaptações estratégicas, aumentar a produtividade geral da planta. Deste modo é possível absorver as variações sazonais bem como, as oscilações na composição dos resíduos.

Figura 1 – Exemplo: Varsóvia/Polônia; Capacidade: 150.000 Mg/a total



Fonte: Sutco RecyclingTechnik.

## 2.2 Separação por Granulometria

A separação por granulometria dos resíduos possibilita a classificação e o transporte dos diversos fluxos gerados, pela planta. Conforme o desempenho da planta e o material, peneiras rotativas, peneiras rasas ou de discos são aplicadas. O peneiramento possibilita a separação da fração orgânica, que se encontra nos RSU nas granulometrias de 0 mm a 60 mm, devido aos restos de cozinha contidos, e em menores proporções, na fração de até 100 mm. Em todos os tipos de peneiras acontecem obstruções, exigindo atenção nos demais passos de tratamento. A qualidade de peneiramento influencia consideravelmente na produção de particulados nesta etapa, e nos demais pontos de transferência durante o tratamento. Os recicláveis contidos nas frações grossas oriundas da peneira são separados manualmente, ou o material é triturado e encaminhado para o início do processo de tratamento, para depois se adequar na linha de tratamento segundo granulometria pequena e média.

## 2.3 Tratamento Mecânico

Os conceitos desenvolvidos para o tratamento de RSU mistos preveem depois do peneiramento uma etapa de segregação das frações recicláveis, que serão definidos segundo o conceito operacional. Para tanto, a fração de granulometria média é conduzida por sistemas de separação, equipados com sensores ópticos, que separam os materiais desejados. Estes sistemas podem ser configurados a qualquer hora e possibilitam a adaptação da planta às exigências e necessidades pré-definidas. Na aplicação de sistemas de separação por corrente de ar ou separação balística os demais fluxos de materiais podem ser separados baseados nas suas

propriedades físicas. Conforme planejado, um controle de qualidade pode ser conduzido, manual ou automaticamente.

## 2.4 Tratamento Biológico

O material de granulometria fina que passou pela malha da peneira contém areia, vidro e principalmente, material orgânico. A disposição deste material orgânico em aterros sofre decomposição biológica e produz dióxido de carbono e água, na medida em que o oxigênio está disponível. Em condições sem presença do ar, amoníaco e metano ( $\text{CH}_4$ ) são formados, sendo o último um potente gás de efeito estufa.

### 2.4.1 Compostagem

A degradação dos materiais orgânicos no processo de compostagem é conduzida em condições controladas e com adição de oxigênio. O material estabilizado, resultante deste processo, também denominado de composto técnico, pode ser aplicado no melhoramento de solos ou como material de cobertura. Após secagem, este material também pode ser utilizado como combustível para a geração de energia. Existem diversos processos disponíveis, os quais se diferenciam na frequência do reviramento, que, quanto maior, melhor a qualidade do composto produzido, e pelos sistemas de captação e tratamento do ar exaurido. A escolha dos sistemas é definida pelas respectivas exigências legais e pela tolerância quanto à ocorrência de odores.

### 2.4.2 Biodigestão

Figura 2 – Ex.: Tzew/Polônia, com capacidade de 127.000 Mg/a total; Compostagem: 37.000 Mg/a



Fonte: Sutco RecyclingTechnik.

A degradação do material orgânico também pode ser conduzida sem a presença de oxigênio, com a produção do metano, que pode ser convertido em energia elétrica e calor, por meio de um motor a gás. Essa vantagem pode ser comprometida pelas exigências de tratamento da massa digerida produzida. As vantagens e desvantagens devem ser ponderadas com cautela.

Figura 3 – Exemplo: Planta de tratamento anaeróbico na cidade de Rostock/Alemanha. Capacidade: 40.000 Mg/a de RSU



Fonte: Küttner.

## 2.5 Pós-Tratamento da Fração Orgânica

O composto técnico produzido saindo da compostagem intensiva passa por mais um peneiramento e limpeza, sendo depois conduzido a uma etapa de pós-maturação para fim de melhoramento de sua qualidade.

## 2.6 Produção de Combustíveis Alternativos

Em todas as etapas de tratamento acontecem erros durante a segregação ou a presença de impurezas. Especialmente relacionado com a fração da granulometria média, durante a triagem dos materiais recicláveis é produzida uma fração de plásticos mistos que após novo tratamento, pode ser empregada como combustível alternativo. Este material pode ser utilizado em centrais termoeletricas específicas ou na indústria de cimento, como substituto do carvão mineral.

Figura 4 – Exemplo: Birmingham – Inglaterra; Capacidade de 62.000 Mg/a total



Fonte: Sutco RecyclingTechnik.

### 3 SUTCO

Figura 5 – Exemplo: Cracóvia/Polônia; Capacidade de 100.000 Mg/a



Fonte: Sutco RecyclingTechnik.

A empresa Sutco Tecnologia de Reciclagem Ltda (Sutco RecyclingTechnik GmbH) com sede em Bergisch Gladbach, na Alemanha, é um dos maiores fornecedores de sistemas de tratamento para os diversos fluxos de resíduos. Oferece a tecnologia de tratamento e de compostagem completa, necessária para uma planta de TMB. A construção modular e a adaptabilidade a diversas cargas e materiais, com vários níveis de automatização, faz com que essa tecnologia se mostre apropriada para plantas descentralizadas de tratamento, onde a gestão de resíduos ainda se encontra em fase de implementação, buscando soluções flexíveis.

## 4 CONCLUSÕES

A valorização de resíduos pauta debates que abrangem desde as tecnologias na forma de tratamento mecânico, fermentação, compostagem, reciclagem e recuperação energética até o fornecimento de informações, a assessoria na introdução de uma gestão sustentável de resíduos e, ainda, a engenharia e conteúdo científico, bem como os aspectos relevantes para implementação dos projetos, tais como o financiamento, o licenciamento ambiental, o monitoramento, entre outros aspectos do mercado.

Para mitigar todos estes desafios devemos priorizar a busca por fornecedores comprometidos com a qualidade e com referências suficientes que demonstrem sua expertise tanto em relação às escalas das plantas quanto sua experiência com substratos a partir de RSU.

E ainda, segundo Christiane Dias Pereira (2014, p. 100):

O mapeamento de fornecedores é tão essencial quando pensamos nas atividades de manutenção preventiva e corretiva quanto a garantia de um estoque reforçado para a disponibilidade das peças mais complexas e de fácil avaria. Assim impedindo que a planta seja paralisada indevidamente em decorrência das atividades de manutenção. (PEREIRA, 2014, p. 100)

A autora (PEREIRA, 2014, p. 99) ainda relata que:

Promover a aplicabilidade tecnológica está diretamente relacionado com estudos de viabilidade operacional, econômica e ambiental. As tecnologias devem ser adaptadas para serem aplicadas ao nosso mercado. Os governos em todas as suas esferas, devem promover linhas de fomento, na forma de financiamentos e subsídios tanto para pesquisa quanto para aplicação em larga escala. (PEREIRA, 2014, p. 99)

As tendências na busca de mudanças em relação ao ambiente, sociedade e economia, principalmente na Europa, incluem, entre outros, a busca para uma melhor gestão de recursos e a promoção de avanços tecnológicos, no tratamento dos resíduos.

## REFERÊNCIA

PEREIRA, Christiane Dias. **Rota tecnológica para a gestão sustentável de resíduos sólidos domiciliares**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Curso de Pós-Graduação em Direito Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

LUDDEN, Michael. Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento de Recicláveis em uma Planta de Tratamento Mecânico-Biológico. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos**: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246I>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Maió – 2017**.

# Secagem do Lodo do Esgoto Comum e Industrial em Plantas de Tratamento de Águas Residuais: uma forma sustentável de administração do lodo

*Drying of Sewage Sludge form Communal and Industrial Waste Water Treatment Plants: A sustainable way of sludge management*

*PhD. Doutor Markus Bux*

## RESUMO

A conversão do lodo de esgoto em biossólidos de valor para a reutilização de forma benéfica, requer um processo de pré-tratamento adequado. Entretanto, as tecnologias tradicionais exigem altos custos em investimentos, custos de operação, demanda de energia; ou simplesmente não preenchem todos os requisitos exigidos pelas demandas do mercado. Com as recentes experiências das maiores plantas de secagem solar e de plantas de secagem solar-assistida, localizadas em Palma de Mallorca, Espanha e em Oldenburg, Alemanha, foi demonstrado que a secagem solar é uma alternativa efetiva para grandes instalações. Os custos de secagem e o consumo de energia são menores que a metade, a manutenção é pequena, a operação é simples e segura nessas plantas, quando comparadas com as tradicionais plantas de secagem térmica. Além disso, as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são reduzidas a um fator sete vezes menor, quando comparadas aos secadores convencionais. Com o uso do aquecimento dos resíduos por outros processos, a área requisitada pode ser reduzida a um fator de três a cinco vezes menor. O produto final é adequado para ser usado como combustível por plantas denominadas Resíduos-para-Energia (RPE), plantas de energia à carvão ou fábricas de cimento. O produto final também pode ser utilizado como fertilizante Classe-A de aplicação na agricultura.

**Palavras-chave:** Secagem. Biossólidos. Esgoto. Solar. Lixo. Energia. CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

The conversion of raw sewage sludge into valuable biosolids for beneficial reuse requires a suitable pre-treatment process. However, traditional technologies are causing high investment costs, operation costs, and energy demand; or are not fully meeting the demands of the market. As recent experiences from the world's largest solar drying and solar-assisted drying plants in Palma de Mallorca, Spain and Oldenburg, Germany show, solar drying is an effective alternative for large facilities. Drying costs and energy consumption are less than half, maintenance is low, and operation is simple and safe at these facilities when compared to traditional thermal dryers. Also, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions are reduced by a factor of seven when compared to conventional dryers. By using waste heat from other processes, the area requirement can be reduced by a factor of three to five. The final product is suitable as fuel for Waste-to-Energy (WTE) plants, coal power

plants, or cement kilns. It can also be used as a Class-A fertilizer for agricultural use, or land application.

**Keywords:** Drying, Biosolids, Sludge, Solar, Waste, Energy, CO<sub>2</sub>.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o foco do tratamento de águas residuais tem se voltado para a implantação de novos métodos para a coleta e tratamento das águas de uma forma mais eficiente, antes que sejam descartadas no meio ambiente. Estes processos, invariavelmente, produzem esgoto, cujos quais, todos os poluentes, patógenos e outras substâncias que não são degradadas durante o processo, ficam acumuladas. Pouca atenção tem sido dada quanto à disposição de resíduos de materiais. Entretanto, esse quadro vem mudando, pois o uso benéfico desse subproduto é visto como parte importante de todo o processo de tratamento de águas residuais, tanto economicamente como ecologicamente. O lodo de esgoto é úmido, não é muito bem compactável e pode conter uma quantidade considerável de patógenos, poluentes orgânicos e metais pesados, além de ter o potencial de produzir odores altamente indesejáveis. A prática comum de simplesmente despejar-se o esgoto não tratado vem, conseqüentemente, tornando-se cada vez mais inaceitável.

Portanto, etapas de tratamento adicionais são necessárias para converter o lodo de esgoto em um bio-sólido valioso, e que possa ser reutilizado benéficamente (SPINOSA; AARNE VESILIND, 2001). Os teores de umidade, patógenos e odores devem ser reduzidos. E o valor calorífico e a estabilidade biológica devem ser maiores. Mais importante ainda é o fato de que o material deve ser seguro, e que possa ser tratado de forma conveniente para minimizar os custos de transporte que estão sempre em ascensão devido tanto ao aumento dos custos de combustível, como da falta de disponibilidade de locais próximos para o despejo.

Dependendo de sua composição, lodos de esgoto adequadamente tratados podem ser utilizados como combustível para a geração de energia, também como fertilizante para uso agrícola, ou como corretivo de solos para a restauração da terra. Entretanto, elevados custos de investimentos, consumo de energia, emissões e/ou pegada de CO<sub>2</sub> têm dificultado o uso mais amplo dos processos de tratamento tradicionais de lodo de esgoto, como por exemplo, o de secagem térmica, compostagem, entre outros (MELSA *et al.*, 1999).

Neste contexto, as plantas de secagem solar e de baixa temperatura auxiliadas pela secagem solar têm se mostrado serem novas alternativas promissoras, mesmo em locais de clima moderado a frio, como na Alemanha (BUX; BAUMANN, 2003a; BUX *et al.*, 2002). Como prova dessa afirmação, mais de 300 plantas de secagem solar e de baixa temperatura auxiliada pela secagem solar, vêm sendo instaladas em todo o mundo, mediante a uma grande variedade de diferentes climas. Entretanto, a maior parte desses secadores solares são pequenos (BUX; BAUMANN, 2003a) e muitos especialistas ainda acreditam que secadores solares não são adequados para grandes instalações. Conseqüentemente, este artigo descreve as recentes experiências com a maior planta de secagem solar do mundo, localizada em Palma de Mallorca

(Espanha), e a maior planta do mundo de baixa temperatura auxiliada pela secagem solar, localizada em Oldenburg (Alemanha).

## 2 SECAGEM SOLAR DO ESGOTO

Plantas de secagem solar utilizam a radiação solar e o potencial de secagem do ar do ambiente como fontes de energia térmica para secagem (BUX; BAUMANN, 2003a). Consequentemente, as necessidades requeridas por uma planta podem ser relativamente grandes e dependem das condições climáticas. Entretanto, não há consumo direto de combustíveis fósseis. Além disso, o consumo de energia elétrica é de 20 a 40 kWh por tonelada de água evaporada, o que significa de duas a três vezes menos em comparação com os secadores térmicos descritos na literatura (BUX; BAUMANN, 2003a; MELSA *et al.*, 1999). Em condições de clima moderado, a pegada de carbono está sendo reduzida, como já encontrada na Alemanha, onde a pegada de carbono é de 24 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada métrica de água evaporada (BUX; BAUMANN, 2003b). Esse é um valor menor que 15% do que é tipicamente emitido em 170 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de água evaporada de secadores térmicos a gás (HILL; BUX, 2010).

Atualmente, a maior fábrica de secagem deste tipo na Europa está localizada em Palma de Mallorca, Espanha. A planta está projetada para uma capacidade de 600.000 Equivalente de População (EP), ou aproximadamente 40 milhões de US por dia (MGD), abrangendo uma área total de 20.000 m<sup>2</sup> (215.000 ft<sup>2</sup>), sendo esses valores, o necessário para a secagem de quase 50% de todo o esgoto produzido em toda a ilha de Mallorca. A Figura 1 ilustra uma vista aérea da planta de secagem.

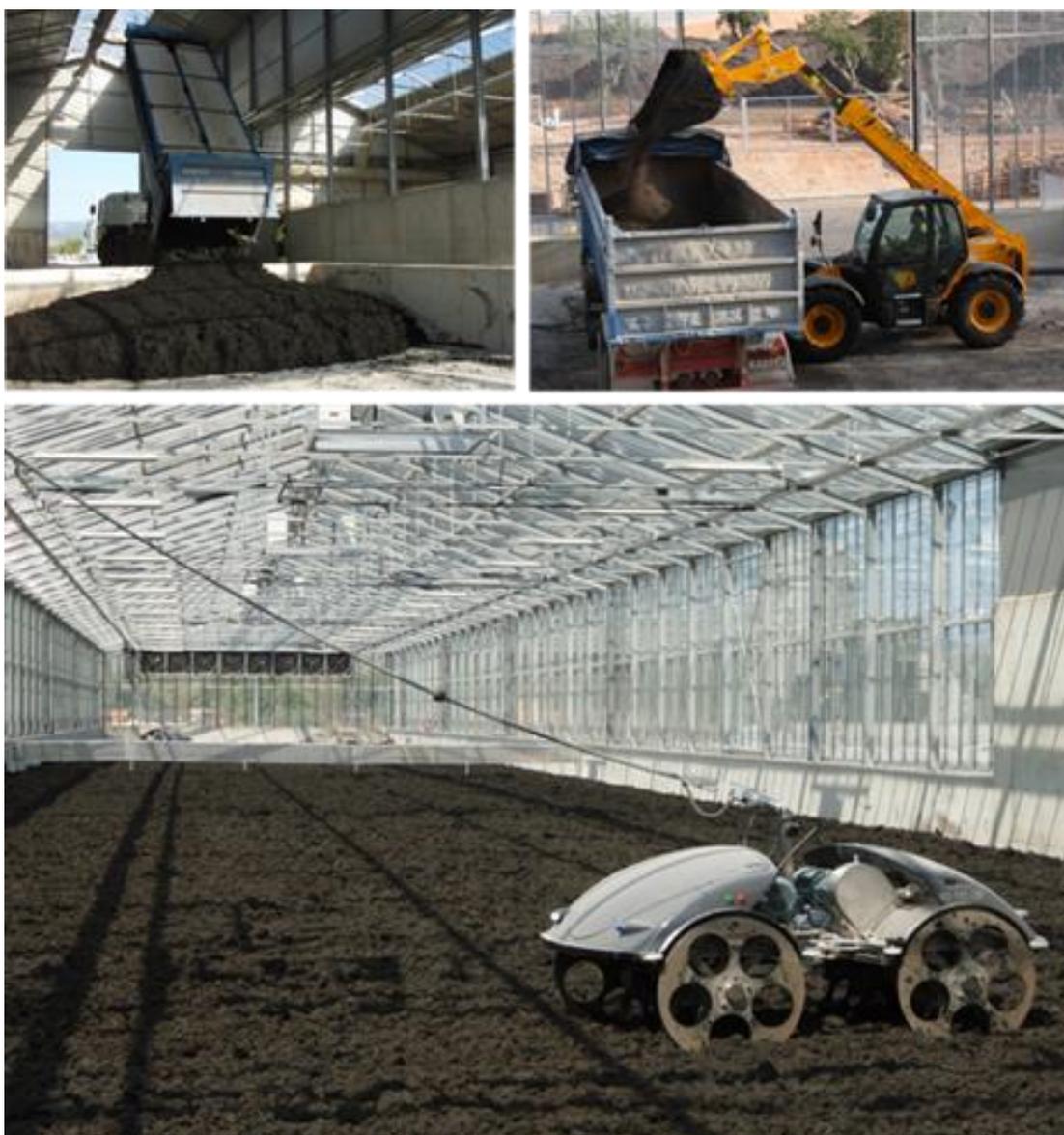
Figura 1 – Vista aérea da maior fábrica de secagem solar de lodo de esgoto da Europa, em Palma de Mallorca (600.000 EP, 40 US MGD)



Fonte: Thermo-System (2010).

Essa planta de secagem foi comprada pela empresa espanhola TIRME S.A., a qual também opera a planta do Governo das Ilhas Baleares. Ela foi projetada, medida e construída em 2007-2008 pela Thermo-System GmbH da Filderstadt, Alemanha. Atualmente, a Thermo-System – com cerca de 200 plantas de secagem e com quinze anos de experiência operacional – é a líder do mercado no campo de baixa temperatura de secagem. As pressões política e legal, para cessar a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas e o aumento dos custos de disposição, levaram à construção dessa planta pelo cliente. Hoje em dia, o esgoto mais poluído da ilha, é secado na planta solar e depois usado como combustível em uma Planta-de-Energia-do-Lixo. O valor calorífico da secagem do esgoto é equivalente à cerca de 2 milhões de litros (530.000 galões) de combustível fóssil por ano.

Figura 2 – Recebimento de lodo úmido, secagem e carregamento de lodo seco na planta de secagem solar de Palma de Mallorca



Fonte: Thermo-System (2010).

Apesar das exigências locais, a decisão de utilizar a tecnologia de secagem solar foi impulsionada pelos baixos custos de secagem do processo. Hoje em dia, os custos da secagem por tonelada de água evaporada, incluindo o capital, energia e custos operacionais, são menores que a metade dos custos esperados em uma planta de secagem térmica. Isto se deve às baixas temperaturas de secagem, de 10 a 40 °C (50 a 104 °F), o que requer assim, equipamentos mais simples e menores exigências do operador.

Dessa forma, as exigências de manutenção tornam-se menores, já que as únicas máquinas que entram em contato com o lodo são uma pá carregadeira e 24 “Electric Moles®” – pequenas máquinas autônomas para mistura, aeração, e distribuição do lodo, como ilustrado na Figura 2.

Outros componentes das máquinas, tais como ventiladores, abas, sensores e os controles-PLC, são projetados para terem um prazo de uso de vida longa e de simplicidade na operação e manutenção. As câmaras de secagem são construídas com concreto e com vidro especial, conseqüentemente, quase nenhuma manutenção é necessária para esta parte da planta.

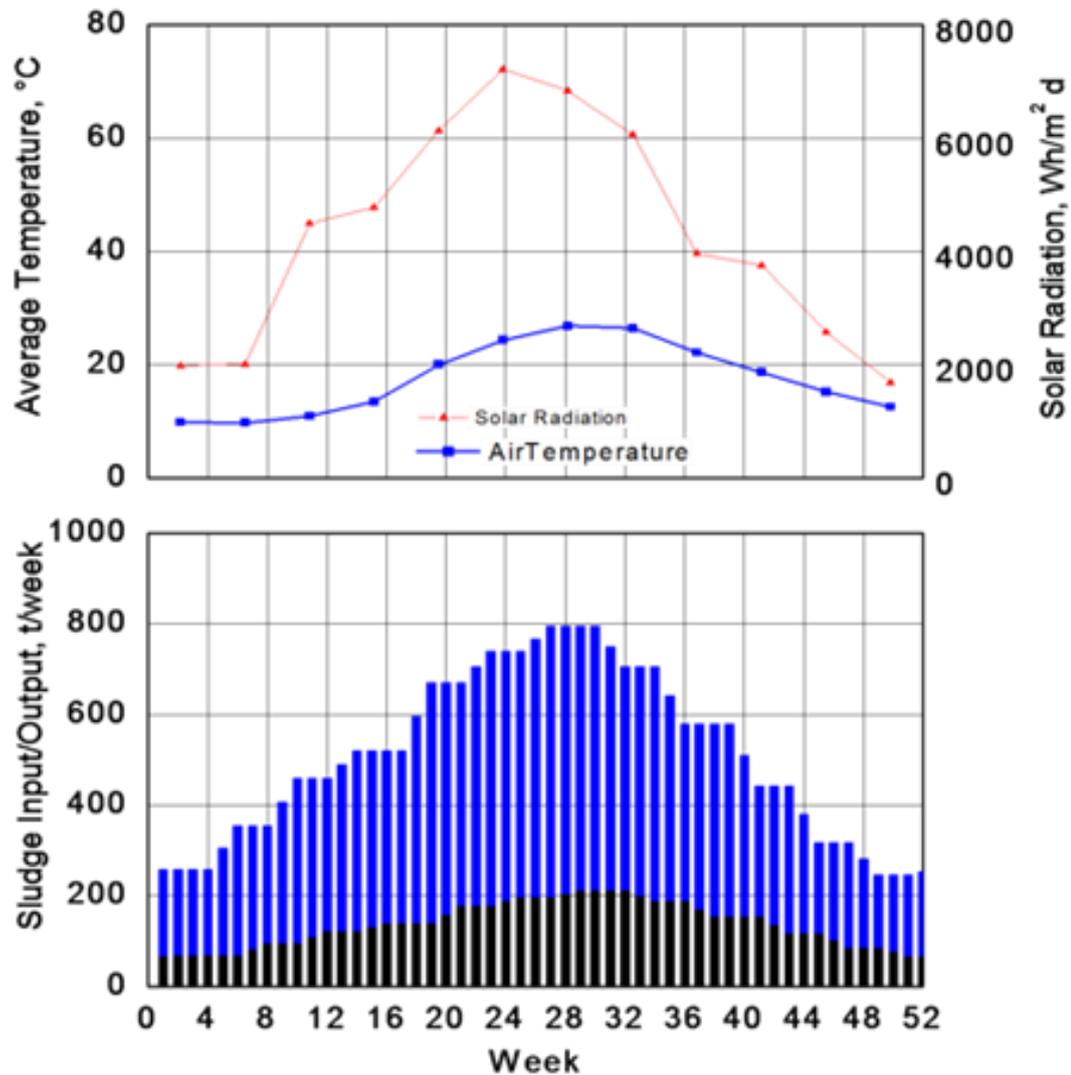
Devido ao fato de que a planta em Palma é uma facilidade regional, o esgoto é transportado em um caminhão, das diversas estações de tratamento de águas residuais (ETAR) para a fábrica de secagem. Por dia de trabalho, um carregador da parte frontal descarrega uma das doze câmaras de secagem de lodo seco. Então, ocorre um carregamento imediato com 80 a 150 toneladas de lodo úmido. A carga e descarga são rápidas, levando menos de três horas no total. Além disso, os tempos requisitados para a supervisão e manutenção são baixos, levando geralmente não mais do que 1-2 horas por dia para a averiguação de toda a instalação.

A Figura 3 ilustra os resultados das medições em Palma de Mallorca, em 2009. Um total de aproximadamente 30.000 toneladas de lama foram secas a partir de 19 a 72% de Sólidos Secos (SS). E isto, apesar de uma entrada de teor de SS menor que 6% do que o esperado pelo projeto original. O que corresponde a uma evaporação de quase 20.000 de toneladas de água.

A instalação não precisa ser permanentemente vigiada. Apenas para a operação de carga e descarga é exigida a presença de trabalhadores. Qualquer equipamento que esteja com defeito, não ocasionará riscos de segurança, como também não influenciará de forma significativa no processo de secagem. A água continuará a evaporar-se a partir do lodo e, portanto, de modo geral, não é necessária uma ação imediata. Caso ocorra uma falha, mesmo sendo durante um final de semana prolongado, o reparo poderá ser feito no próximo dia, com a presença da equipe de colaboradores. Esta é uma importante vantagem do processo descontínuo em relação ao processo de secagem contínuo, onde qualquer falha reduzirá o desempenho a zero e, portanto, deverá ser reparado imediatamente.

A logística é extremamente simplificada devido a capacidade tampão das câmaras de secagem. O transporte para a instalação de secagem a partir de diversos ETAR e da planta de secagem para a planta-RPE são menos complicadas quando comparadas ao convencional processo de secagem térmica.

Figura 3 – Dados meteorológicos, de esgoto e da produção na fábrica de secagem solar de Palma de Mallorca, em 2009



Fonte: Tirme SA/Thermo-System (2010).

No caso em que o lodo não suficientemente estabilizado seja levado à planta de secagem, as câmaras individuais de secagem podem, durante a primeira fase, serem ligadas a um sistema de tratamento de ar. Deve ser observado que, desde que devidamente estabilizado, o ar exaustado do lodo não necessita de tratamento. Isto se deve ao sistema de controle automático de temperatura que mantém o lodo refrigerado e sob condições aeróbias durante a primeira fase crítica de secagem. Até o momento, não ocorreram nenhuma violação dos limites legais de odores e outras emissões.

### 3 BAIXAS TEMPERATURAS AUXILIAM NA SECAGEM SOLAR DE LODO DO ESGOTO

Apesar das diversas vantagens do processo de secagem solar, como baixos custos de secagem, baixa exigência de energia, operação simples, e baixas pegadas de CO<sub>2</sub>; existem duas principais desvantagens nesse tipo de planta:

1. A exigência da área da planta depende das condições climáticas do local.
2. Devido às mudanças no clima, o desempenho de secagem varia durante o ano. Consequentemente, a área total da planta deve ser grande o suficiente para fornecer uma capacidade tampão adequada.

Isto é especialmente válido para os climas mais frios, ou quando a área disponível for limitada. Entretanto, se o calor proveniente de outras fontes estiver disponível, estas desvantagens poderão ser superadas. O excesso de calor, que não pode ser utilizado em outro processo, poderá ser aplicado, com um baixo custo, no secador solar. Esse calor poderá ser utilizado para a água de refrigeração de motores, turbinas ou processos industriais ou em outras fontes de calor. Se a temperatura do fluido for maior que 40 °C (104 °F), é possível uma utilização eficiente do calor.

Atualmente, a maior planta de baixa temperatura auxiliada pela secagem solar em operação está localizada em Oldenburg, perto de Bremen, no norte da Alemanha. A Figura 4 ilustra a vista geral da planta de secagem em Oldenburg.

Figura 4 – Vista panorâmica da maior planta do mundo de baixa temperatura auxiliada pela secagem solar, em Oldenburg, FRG (600.000 PE, 40 US MGD)



Fonte: Thermo-System (2012).

Os lodos de esgoto provenientes de diferentes menores ETAR são levados até a planta de Oldenburg, onde é realizada a secagem a partir de um teor inicial de Sólidos Secos de 15-30% para um teor de Sólidos Secos final de 60-70% DS. Apenas 6.000 m<sup>2</sup> (64.500 ft<sup>2</sup>) são necessários para a secagem de até 40.000 toneladas de lodo úmido por ano. O que é, pelo menos, cinco vezes

mais, por metro quadrado, quando comparado com o rendimento de uma instalação de secagem solar, a qual não é submetida às mesmas condições climáticas. O material seco é utilizado como substituto do combustível em uma central elétrica de carvão, onde cerca de 6.600 MWh de eletricidade pode ser gerada, enquanto que 9.000 toneladas de carvão marrom e cerca da mesma quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> são reduzidas.

A energia térmica necessária para o “*backup*” do aquecimento do secador é um desperdício de calor do processo de esterilização industrial. Devido à natureza deste tipo de indústria, a disponibilidade de energia varia entre 0 e 6 MW durante uma semana. Assim como, o nível da temperatura do fluido de aquecimento (água) também não é constante nos ciclos entre 65 e 85 °C (150 – 185 °F). Entretanto, uma vez que o processo escolhido para a planta de Oldenburg é um processo descontínuo, as seis câmaras de secagem não apresentaram nenhum problema em relação à oscilação do fornecimento de calor. O tempo de secagem total se eleva apenas quando a disponibilidade de energia é baixa. Devido às baixas temperaturas de secagem, de 25 a 45 °C (77 – 113 °F) no interior das câmaras, os riscos técnicos são pequenos, assim como os riscos nas plantas de secagem solar não assistidas, e os erros de tempo crítico são excluídos. Devido à baixa exigência de pessoal para operação, é necessário apenas um operador em tempo parcial para cuidar da supervisão e manutenção da planta.

Devido ao fato de que a planta de secagem está localizada próxima a um local residencial, além do fato de que a secagem é realizada do lodo de esgoto instável, um sistema de tratamento do ar exaustado (água e biofiltro) é usado para limpar o ar exaustado antes da sua emissão ao ambiente.

## 4 O BIOSSÓLIDO NA AGRICULTURA

Além da capacidade de conversão do lodo de esgoto em combustível, a secagem solar também propicia a possibilidade de produção de bio sólido Classe A para uso na agricultura, de acordo com a norma 503 US EPA (BUX *et al.*, 2001). Nos últimos anos, diversas plantas, atendendo a esse requisito, foram construídas nos Estados Unidos. Atualmente, a maior planta Classe A com licença para operar é a planta 10 MGD, em Merced (CA).

## 5 CONCLUSÕES

Devido aos baixos custos de secagem, consumo de energia, e pegadas de CO<sub>2</sub>, assim como, a simplicidade e os baixos riscos de operação, as plantas de secagem solar e de baixa temperatura auxiliada pela secagem solar, mostraram-se como uma tecnologia eficaz para a conversão do lodo em bio sólidos valiosos. Em comparação com as plantas de secagem convencionais de mesmo tamanho, a mão de obra, o consumo de energia e os custos para secagem são tremendamente reduzidos. Além disso, a maior parte dos custos totais está relacionada aos investimentos iniciais (custo de capital, depreciação) e, portanto, não está sujeita à alterações durante o período de vida de uma planta. Os custos variáveis, como energia, operação e manutenção, influenciam o custo total para uma extensão muito menor. Isso estabiliza os custos esperados para secagem, tornando-os independentes das condições do mercado.

Figura 5 – Material peletizado ensacado usado como fertilizante e carregamento de um caminhão com lodo de secagem solar usado como combustível em uma fábrica de cimento



Fonte: Thermo-System (2010).

O material solar seco é atualmente usado como um fertilizante US-EPA Classe-A, adaptado para a agricultura ou como combustível em plantas RPE, plantas de carvão e em fornos de cimento. A Figura 5 ilustra alguns exemplos localizados na Europa.

Devido ao conceito modular da tecnologia, ele é aplicado para pequenas instalações descentralizadas, grandes plantas centrais, ou ainda em instalações regionais. Contudo, o número de grandes instalações de secagem solar, como as novas grandes instalações localizadas em Nantes, França; Bettembourg, Luxemburgo e em Fayetteville (AR), USA, entre outras, ainda são limitadas. A maior fábrica de secagem solar do mundo está em construção em Dubai. Na fase final, essa fábrica terá a capacidade de tratar 140.000 t por ano de lodo mecanicamente desidratado, o que corresponde a cerca de 2,5 Mio PE.

## REFERÊNCIAS

- BUX, Markus; BAUMANN, Rainer. **Performance, energy consumption and energetic efficiency analysis of 25 solar sludge dryers**. Proceedings of the WEFTEC (Water Environment Federation) Congress, Alexandria (Virginia), 2003a.
- BUX, Markus; BAUMANN, Rainer. Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Bilanz der solaren Trocknung von mechanisch entwässertem Klärschlamm. **KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall**, v. 50, n. 9, p. 1169-1177, 2003b.
- BUX, Markus; BAUMANN, Rainer; PHILIPP, W.; CONRAD, Tilo; MÜHLBAUER, Wolfgang. **Class -A by solar drying. Recent experiences in Europe**. Proceedings of the WEFTEC (Water Environment Federation) Congress, Atlanta (Georgia), 2001. Disponível em: <<http://www.proyectosnavarra.es/documentacion/articulo-WEFTEC-lodos-claseA-2001.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- BUX, Markus; BAUMANN, Rainer; QUADT, S.; PINNEKAMP, J.; MÜHLBAUER, Wolfgang. Volume reduction and biological stabilization of sludge in small sewage plants by solar drying. **Drying Technology: An International Journal**, v. 20, n. 4-5, p. 829-837, DOI: [10.1081/DRT-120003765](https://doi.org/10.1081/DRT-120003765), 2002.
- HILL, Michael; BUX, Markus. **Comparing the Carbon Footprint of Conventional Gas-Fired Thermal Sludge Drying to Solar Sludge Drying**. Proceedings of the WEFTEC (Water Environment Federation) Congress, New Orleans (Louisiana) [DOI: <http://dx.doi.org/10.2175/193864710798130571>]. 2010 (in print).
- MELSA, Armin; BÄCKLER, Gerhard; HANßEN, Harald; HUSMANN, Mark; WESSEL, Michael; WITTE, Hartmut. Trocknung kommunaler Klärschlämme. **Deutschland Korrespondenz Abwasser**, v. 46, n. 9, 1999.
- SPINOSA, Ludovico; AARNE VESILIND, P. **Sludge into Biosolids: Processing, disposal and utilization**. London: IWA Publishing, 2001.
- THERMO-SYSTEM. **Optimale Lösungen für solare & thermische Schlammtrocknung**. [2010]. Disponível em: <[http://www.thermo-system.com/fileadmin/user\\_upload/PDF/Datei/deutsch/Produktubersicht\\_de\\_kl.pdf](http://www.thermo-system.com/fileadmin/user_upload/PDF/Datei/deutsch/Produktubersicht_de_kl.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2015.

THERMO-SYSTEM. **Solare Klärschlamm-trocknung**. [2012]. Disponível em: <<http://www.thermo-system.com/produkte/solare-klaerschlammtrocknung/>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

#### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

BUX, Markus. Secagem do Lodo do Esgoto Comum e Industrial em Plantas de Tratamento de Águas Residuais: uma forma sustentável de administração do lodo. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Maió – 2017**.

# Análise de Risco: combustão em plantas de tratamento mecânico-biológico e em áreas de armazenagem e disposição final de resíduos

*Risk Analysis: combustion in mechanical-biological plants and storage and final disposal areas of waste*

*Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke*

*Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira*

## RESUMO

Devido às características analíticas dos resíduos sólidos urbanos, as plantas de tratamento de resíduos e áreas de armazenagem e disposição final são espaços suscetíveis às incidências de combustão. Este artigo retrata as motivações e medidas de precaução para mitigar os riscos decorrentes de processos de combustão durante a gestão de resíduos, estes tanto econômicos quanto ambientais e sociais, podendo inclusive ocasionar perdas de vidas no âmbito da operação da planta ou mesmo afetando a comunidade vizinha.

**Palavras-chave:** Resíduos. Tratamento. Combustão. Gestão. Segurança. Técnica.

## ABSTRACT

Due to the analytical characteristics of municipal solid waste, the treatment plants and areas of waste storage and final disposal are spaces susceptible to the incidences of combustion. This article portrays the motivations and precautionary measures to mitigate the risks arising from combustion processes during the waste management, these economic, environmental and social, can even lead to a loss of lives in the context of the plant operation or even affecting the neighboring community.

**Keywords:** Residues. Treatment. Combustion. Management. Security. Technique.

## 1 INTRODUÇÃO

Avaliando o histórico da gestão de resíduos identificamos frequentemente ocorrências de combustão espontânea em plantas de tratamento e em áreas de armazenagem e disposição final de resíduos.

Podemos citar como exemplos incêndios em aterros, em áreas de armazenagem de resíduos nas plantas de incineração, em plantas de tratamento mecânico-biológico (TMB) e em áreas de armazenagem de combustíveis derivados de resíduos (CDR).

Em particular, algumas plantas de TMB na Alemanha sofreram combustão espontânea nos últimos anos tais como as plantas em Ennigerloh, Aßlar, Vorketzin e Osnabrück.

## 2 LOCALIZAÇÃO DA COMBUSTÃO

Os focos de combustão registrados ocorreram predominantemente nas áreas de depósitos em especial nas áreas de descarga e de armazenagem temporária, tendo sido provocados pelos seguintes fatores:

- Resíduos não tratados, soltos, espalhados na área de descarga;
- Resíduos soltos ou enfardados, estabilizados e secos em áreas de armazenagem temporária;
- Frações de resíduos de alto poder calorífico (CDR), soltas ou enfardadas.

Além disso, ocorreram incidências de combustão também durante a etapa de tratamento mecânico dos resíduos.

## 3 TIPOS DE COMBUSTÃO

Os tipos de combustão podem ser distinguidos basicamente em:

- Combustão superficial (combustão viva); e,
- Combustão lenta (imperceptível).

As causas para a ignição nos resíduos são diferentes nestes dois tipos de manifestações, porém, a presença de um dos dois tipos pode causar e desenvolver o outro tipo de combustão. O foco deste artigo estará na combustão tipo lenta ou latente, esta de percepção mais difícil e de ocorrência mais frequente.

### 3.1 Combustão Superficial

A combustão superficial geralmente é causada por:

- Ateamento de fogo, ou fumar, na área da planta de TMB;
- Faíscas provenientes do escapamento de veículos ou da trituração de componentes metálicos, contidos nos resíduos;
- Armazenamento de resíduos ardentes, por exemplo: cinzas;
- Destruição de recipientes contendo substâncias inflamáveis;
- Contato de resíduos com escapamentos quentes de veículos ou de partes de máquinas quentes, por exemplo: rolamentos ou rotores;
- Reações químicas durante a disposição de resíduos com comportamento de decomposição exotérmico.

- Também baterias de lítio, que podem causar incêndios quando trituradas.

Nesses processos, temperaturas na faixa de 180 °C a 250 °C podem ser alcançadas ou até excedidas. A partir deste nível, as temperaturas tendem a aumentar mais rapidamente, e temperaturas acima do ponto de ignição de muitas substâncias são atingidas. O ponto de ignição da celulose, contida em quantidades consideráveis, em quase todos os resíduos, em forma de papel e papelão, é aproximadamente 370 °C. A concentração de oxigênio necessária para a ignição está entre 21% e 6%. Concentrações abaixo deste valor resultam apenas em uma queima lenta com baixo nível de temperatura e muitas vezes na carbonização do material (SCHMIDT *et al.*, 2002). O mesmo pode ser dito para diversos componentes voláteis, como agentes propulsores de aerossóis ou solventes. Uma outra causa de combustões superficiais é a queima latente que irrompe em chamas para a superfície dos resíduos e os incendeia. Nestes casos, fala-se da combustão espontânea. O reconhecimento de combustões superficiais é fácil, pois estas sempre são acompanhadas de fumaça intensa e chamas na superfície dos resíduos.

### 3.2 Combustão Lenta

Ao contrário da combustão superficial, provocada principalmente por vários tipos de fontes de ignição na superfície dos resíduos, as causas de combustão de queima lenta estão na acumulação de calor no interior dos resíduos empilhados, provocada pela dissipação inibida do calor liberado por processos de oxidação.

Na disposição de resíduos biologicamente degradáveis, ocorre primeiro a degradação aeróbia da matéria orgânica, acompanhada por um aumento da temperatura dos gases dentro do material empilhado, para até 85 °C. Frequentemente, essa fase é de curta duração, pois as quantidades de oxigênio disponíveis nos resíduos empilhados não são suficientes, e, portanto, um ambiente anaeróbio se instala, com a respectiva composição dos gases. A degradação aeróbia da matéria orgânica ocorre na presença de oxigênio em quantidades a partir de 4% (PLEß, 1991).

A degradação aeróbia resulta na formação de um material similar ao húmus, que apresenta grande superfície interna. Substâncias gasosas e em forma de vapor podem ser absorvidas nessas superfícies interiores, acompanhado pela liberação de energia. Essa energia liberada em forma térmica pode causar o aumento da temperatura dentro dos resíduos, por exemplo dentro de um aterro, para temperaturas de até 200 °C (PLEß, 1991). Ao chegar a essa faixa de temperatura, reações de pirólise e de oxidação rápida – na presença de quantidades suficientes de oxigênio – podem ocorrer. Sobretudo, as últimas podem resultar em temperaturas na faixa dos pontos de ignição dos resíduos.

Este tipo de desenvolvimento de combustão lenta necessita de quantidades de oxigênio suficientes, contidas nos resíduos. Em incêndios de combustão lenta não descobertos, o espalhamento da combustão pelos resíduos empilhados é promovido pela pequena demanda de oxigênio e as propriedades de isolamento térmico dos resíduos, especialmente na sua forma

compactada, enquanto há resíduos combustíveis. O fogo sempre cresce na direção da entrada de oxigênio.

Incêndios do tipo combustão lenta podem também ser causados por substâncias que apresentam tendências de combustão espontânea. São essas todas as substâncias químicas que, quando em contato com oxigênio, água ou outros reagentes apropriados, apresentam reações exotérmicas tão fortes que provocam a combustão espontânea. Estas substâncias devem possuir uma superfície necessariamente grande para resultar em uma descarga de energia térmica suficiente para promover a combustão.

A presença de um incêndio de combustão lenta é mais difícil de descobrir do que um incêndio do tipo combustão superficial. Enquanto o incêndio de combustão lenta não irrompeu para a superfície dos resíduos empilhados respectivamente, do aterro, apenas a visível emissão de gases e vapor e odores de queima podem indicar a presença de um incêndio deste tipo.

Existe a possibilidade de alerta deste tipo de incêndio, por meio de sondas de medição adequadas, em depósitos temporários, ou pela medição da temperatura superficial, por exemplo por meio de câmeras térmicas.

#### 4 GRUPOS DE SUBSTÂNCIAS DE RELEVANTE POTENCIAL DE COMBUSTÃO

O agrupamento dos tipos de resíduos segundo sua reação ao fogo ocorre de acordo com a classificação de grupos de substâncias sugerida por Pleß (1993), para aterros. Essa classificação prevê os seguintes grupos de resíduos, que podem ser diferenciados um do outro com base no seu comportamento físico-químico:

- **Substâncias não fundentes, de superfícies grandes:** Os resíduos deste grupo apresentam um pré-requisito decisivo para os processos de combustão espontânea no aterro, destacando-se por uma grande superfície específica e uma má condução térmica. A superfície promove a capacidade de absorção de oxigênio, resultando na liberação de calor devido aos processos exotérmicos. Entretanto, a má condução térmica inibe parcial ou completamente a liberação deste calor. Como consequência, o aquecimento dos resíduos aumenta, com aumento da velocidade das reações químicas e físicas. Deste grupo, as seguintes substâncias são de maior importância para o desenvolvimento de um incêndio:
  - ✧ Algodão, algodão de poliéster, estopa de algodão;
  - ✧ Tecido de papel, guardanapos de papel, papel toalha;
  - ✧ Papel de jornal, papelão fino;
  - ✧ Maravalha; e,
  - ✧ Têxteis.

- **Substâncias fundentes e fundentes sob decomposição:** A este grupo pertencem também os plásticos, cujo ponto de ignição se encontra aproximadamente entre 100 °C a 200 °C acima do ponto de ignição da celulose. Estas substâncias não são relevantes para o desenvolvimento de incêndios de combustão lenta, porém podem ter efeitos negativos para a composição dos produtos da combustão.
- **Substâncias sujeitas à combustão espontânea:** Estas substâncias compreendem todos os compostos químicos que, em contato com oxigênio e, ou água, emitem substâncias inflamáveis ou que podem tornar-se espontaneamente inflamáveis. Este grupo compreende as seguintes substâncias:
  - ✧ Óleos de cozinha;
  - ✧ Tintas a óleo;
  - ✧ Misturas de óleos;
  - ✧ Carvão e produtos similares.

Atenção especial deve ser dada aos óleos, pois estes têm a propriedade de reagir diretamente com o oxigênio do ar, sob emissão de calor. Para atingir as temperaturas necessárias para a combustão espontânea, uma grande superfície específica é necessária, como constituído pelo grupo de substâncias não fundentes, com suas grandes superfícies. Frequentemente, os óleos são jogados fora junto com os resíduos sólidos domésticos e comerciais.

- **Substâncias que podem contribuir para a combustão de outros materiais:** Resíduos que pertencem a este grupo, podem, por reação química, liberar oxigênio. Este oxigênio então é disponível como meio de oxidação resultando na aceleração das reações exotérmicas. São estas substâncias os peróxidos de detergentes e compostos contendo cloro ou nitrato, encontrados em produtos pirotécnicos e herbicidas.
- **Gás:** nos resíduos que permanecem em depósitos temporários por um tempo prolongado, podem ocorrer processos anaeróbios, resultando em liberação de concentrações elevadas de metano. Porém, o ponto de ignição do metano é de, aproximadamente, 600 °C. (O ponto de ignição corresponde àquela temperatura necessária de aquecimento de um material ou uma superfície de contato, para que ocorra, na presença de oxigênio, a combustão do metano sem faísca de ignição, apenas promovido pelo calor).

Portanto, a ignição do metano geralmente ocorre apenas quando há geração de faíscas (por exemplo: no tratamento mecânico, em instalações elétricas sem proteção contra explosões), ou em superfícies muito quentes, como em partes de máquinas. A presença do metano pode promover a rápida propagação de um incêndio já desenvolvido.

## 5 RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAÇÃO DO POTENCIAL DE COMBUSTÃO

O risco de incêndios pode ser reduzido por uma variedade de medidas relacionadas com a construção, tecnologia das instalações e operação. Estas medidas são geralmente descritas em projetos de proteção contra incêndios, elaborados no decorrer dos processos de licenciamento das plantas, por peritos. Além disso, frequentemente as exigências mais abrangentes das seguradoras devem ser obedecidas. Na construção de depósitos de resíduos, as exigências técnicas relevantes da proteção contra incêndios, determinadas pelos regulamentos devem ser cumpridas.

### 5.1 Proteção contra Combustão a Partir de Medidas Técnicas de Construção

- Divisão do espaço físico por paredes corta-fogo e muros, com exigências adicionais referentes aos materiais de construção, realização e penetração, por exemplo, classe de resistência 90 A, bem como, instalação de barreiras corta-fogos para dutos de cabos, tubulações e outros;
- Proteção contra raios e surtos de tensão para todas as áreas da planta;
- Exigências mais abrangentes para todos os elementos de construção, referentes aos materiais e tipo de construção, por exemplo, construção de paredes e tetos baseados em vigas, bem como aberturas na fachada e nos tetos, tais como, venezianas industriais e lanternins;
- Instalação de sistemas de captação e remoção de fumaça e calor;
- Consideração de situações de combate ao incêndio no planejamento da planta, como acessos para os caminhões dos bombeiros, espaços livres para a colocação dos equipamentos, acessos, tubos de subida, hidrantes montados nas paredes, chuveiros automáticos (*sprinklers*), abastecimento com água ou agentes de extintores; retenção da água de extinção contaminada;
- Rotas de emergência e resgate, devidamente demarcadas e iluminadas.

### 5.2 Proteção contra Combustão a Partir de Medidas Técnicas Diversas

- Sistema de alarme de incêndio, com os respectivos canais de transmissão em coordenação com o corpo de bombeiros, regulamentos relevantes de proteção contra incêndios com planos de fuga e de resgate;
- Instalação de um sistema de detecção de incêndio de alta confiabilidade e adequação comprovada para o ambiente de uma planta de TMB (não sensível contra poeira, umidade, vapores etc., em casos específicos execução com sensores duplos);

- Exigências às tecnologias de máquinas e de transporte, como o controle e proteção de acionamentos e rolamentos contra sobrecarga ou torção e a proteção contra surtos de potencial;
- Exigências à colocação da instalação e operação dos equipamentos elétricos, cargas de incêndio nos dutos de cabos, desligamento no término do expediente;
- Minimização de superfícies de deposição e acúmulo de poeira (combustível), por colocação vertical dos dutos de cabos, manter a boa acessibilidade de todas as áreas para a limpeza, prevenção de levantamentos de poeira, utilização de tecnologia de limpeza adequada (sistemas de aspersão de pó etc.);
- Apartação ou encapsulamento de painéis de controle e centrais elétricas (transformadores, instalações de tensão média e baixa etc.);
- Instalação de extintores específicos (extintores de faíscas, de incêndios, de gás inerte) para sistemas de aspersão de pó, esteiras ou painéis de controle.

### 5.3 Proteção Contra Combustão a Partir de Medidas Organizacionais

- Construção e colocação em prática de regulamentos de proteção contra incêndios, planos de alarme e combate ao incêndio;
- Detectores de fumaça e fogo nos elementos e instalações com maior risco de incêndio;
- Fechamento das barreiras corta-fogo, fora dos horários de expediente;
- Manutenção da limpeza da planta, com vistas a poeira e outras substâncias combustíveis;
- Controles contínuos das instalações por um perito de proteção contra incêndios;
- Controles contínuos das medidas e sistemas de segurança, pelo próprio pessoal;
- Cumprimento das exigências referentes a depósitos temporários de resíduos, como o volume, altura, acessos livres em caso de incêndio;
- Esvaziar os depósitos no fim do expediente, ou medidas de controle operacional específicos;
- Sensibilização e treinamento contínuo dos funcionários, para o reconhecimento de incêndios em desenvolvimento, treinamentos práticos de proteção contra incêndios;
- Instrução e sensibilização de terceiros, colocação em prática de medidas de controle e de segurança nos trabalhos que envolvem fogo e calor (por exemplo, na soldagem);
- Proibição de fumar em toda a área da planta;
- Regulamentos de acesso claros para toda a área da planta, com o respectivo controle.

## 6 CONCLUSÕES

As plantas de TMB apresentam um alto risco de incêndios. As mais atingidas são as áreas de descarga e as de armazenagem, mas também a área de tratamento mecânico. Os incêndios podem ter seu início em resíduos soltos, empilhados, mas também em resíduos enfardados. As frações de alto poder calorífico apresentam um risco especialmente alto de combustão.

O risco de combustão pode ser reduzido por uma gama de medidas baseadas na construção, na tecnologia de instalação e na operação e organização da planta. Geralmente, estas medidas são determinadas por meio de projetos de proteção contra incêndios elaborados por peritos, no decorrer do processo de licenciamento das plantas. Além disso, as exigências mais abrangentes das seguradoras devem ser obedecidas.

## REFERÊNCIAS

PLEß, Georg. Glimmbrand in einer geschlossenen Hausmülldeponie. **Brandschutz/Deutsche Feuerwehr Zeitung**, h. 10, p. 507-512, 1991.

PLEß, Georg. **Bewertung von Glimmbränden auf der Mülldeponie Wolfsburg-Fallersleben**. Zwischenbericht, Institutsbericht Nr. 305, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge 1993.

SCHMIDT, M.; MALOW, M.; LOHRER, C.; KRAUSE, U. Selbstentzündung von Stäuben und Schüttgütern bei vermindertem Sauerstoffgehalt. **Chemie IngenieurTechnik**, v. 74, n. 12, Wiley-VCH, Weinheim, p. 1735-1737. 2002. doi: 10.1002/cite.200290016. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.200290016/abstract>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

### Como citar [ABNT NBR 6023:2002]:

FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane. Análise de Risco: combustão em plantas de tratamento mecânico-biológico e em áreas de armazenagem e disposição final de resíduos. In: FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane; LEITE, Aguinaldo; BAGNATI, Marius. (Coords.). **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos**: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/BE246l>>. Acesso em: dd mmm. aaaa.

Este e-book será constantemente atualizado,  
verifique sempre se está com a última versão.

<http://gsrsu.blogspot.com.br/p/e-book.html>

1ª Versão: **Junho – 2015**.

Versão Atualizada: **Maió – 2017**.

# **SOBRE OS COLABORADORES**

## ***Especialista em Direito Aguinaldo Leite***

Graduado em Direito. Especialista em Direito Público administrativo e constitucional, *marketing* político, planejamento estratégico, gestão de crise e construção de cenários políticos. Ocupou cargos políticos como assessor na Câmara Municipal de Jundiaí-SP, Chefe de gabinete na Câmara dos Deputados, com participação ativa nas discussões da Política Nacional de Resíduos Sólidos nas Comissões do Congresso Nacional. Secretário de Governo do município de Porto Feliz, responsável pela implantação da modernização do sistema de Limpeza Urbana, processo de encerramento e monitoramento de aterro sanitário. Desde janeiro de 2013 é o secretário de Serviços Públicos de Jundiaí-SP, responsável pela elaboração e implantação do Plano Municipal de Saneamento, setoriais, resíduos sólidos, macro e micro drenagem e água e esgoto. Atual presidente da Comissão do Plano Municipal de Saneamento Básico e secretário Executivo do Consórcio Intermunicipal de Aterro Sanitário (CIAS). Especializado em Gerenciamento de Contratos de Parcerias-Público-Privadas de serviços de água, saneamento básico e tratamento de resíduos sólidos, pela *London School of Economic and Political Science*.

E-mail: [agleite@jundiai.sp.gov.br](mailto:agleite@jundiai.sp.gov.br)

### ***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ A Realidade dos Municípios Brasileiros Frente à Nova Política Nacional de Resíduos Sólidos***

***Veja na Parte II ⇒ Resíduos de Construção Civil – Sistema de Gerenciamento Integrado no Município de Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Capacitação e Pesquisa Fundamental para Desenvolver e Implementar uma Instalação de Tratamento Mecânico-biológico, com Estágio de Fermentação Integrada em Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Projeto i-NoPa – Capacitação e pesquisa fundamental, a fim de gerar metodologia de análise para o desenvolvimento de projeto para uma instalação de Tratamento Mecânico Biológico (TMB) com fermentação integrada na cidade de Jundiaí-SP***

### ***Doutor Engenheiro de Minas Alexander Gosten***

Em 1990 passou a atuar na gestão de resíduos em diversos projetos e assumindo posições de chefia na empresa RWE Umwelt GmbH. A partir de 1996 tornou-se o diretor de negócios da empresa Berliner Stadtreinigung A. ö. R. assumindo os negócios relativos a gestão de tratamento de resíduos, planejamento e construção de novas plantas, tendo operado mais que vinte plantas, ainda realizou remediação de aterros e gestão de fluxo de materiais. Atualmente ocupa a posição de vice-presidente do departamento de gestão de resíduos.

E-mail: [alexander.gosten@bsr.de](mailto:alexander.gosten@bsr.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Exploração e Beneficiamento do Biogás Obtido na  
Planta de Fermentação da Cidade de Berlim***

---

## *Tecnóloga Aline Cardoso Domingos*

Tecnóloga em Gestão Ambiental e cursando Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Universitário Padre Anchieta.

E-mail: [aline.cardoso\\_d@yahoo.com.br](mailto:aline.cardoso_d@yahoo.com.br)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

### *Tecnólogo em Meio Ambiente Anderson Luiz de Araújo*

Tecnólogo em Meio Ambiente formado pelo Centro Universitário Padre Anchieta, cursando Engenharia Ambiental no Centro Universitário Padre Anchieta, atua como Técnico em Construção Civil na Secretaria Municipal de Serviços Públicos da Prefeitura do Município de Jundiaí-SP.

E-mail: [aaaraujo@jundiai.sp.gov.br](mailto:aaaraujo@jundiai.sp.gov.br)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

### *Doutor Geógrafo André Luiz da Conceição*

Mestre e Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos, pela UNICAMP. Graduado e Especialista em Geografia, pela UNESP. Docente do Centro Paula Souza e do Centro Universitário Padre Anchieta – UniAnchieta, em Jundiaí-SP.

E-mail: [conceicao.andreluiz@yahoo.com.br](mailto:conceicao.andreluiz@yahoo.com.br)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Iniciativas de Ensino e Pesquisa em  
Gestão de Resíduos em Jundiaí-SP, Brasil*

---

### ***Doutor Andreas Jaron***

Desde 1994 atua como Chefe de Divisão do Departamento de “Princípio e assuntos internacionais da economia Circular; Movimento Transfronteiriço de Resíduos” do Ministério Federal do Meio Ambiente, da Conservação da Natureza, da Construção e da Segurança Nuclear em Bonn, na Alemanha. Dr. Jaron estudou Economia e Filosofia/Política/Sociologia da Universidade de Muenster e Ciência da Computação da Universidade de Ciências Aplicadas, em Dortmund. A partir de 1986, trabalhou em várias funções no Ministério do Meio Ambiente da Baixa Saxônia (Niedersachsen). Em 1990, mudou-se para a Comissão Europeia ocupando a Direção-Geral do Ambiente, e em 1992 para o gabinete do Ministro Federal Klaus Toepfer, em Bonn. Membro da Mesa (Conselho de Direção) da OCDE, “Grupo de Trabalho da Produtividade de Recursos e Resíduos” e foi membro da Mesa da Convenção de Basileia durante dez anos. É autor de vários artigos e publicações sobre questões nacionais e internacionais de gestão de resíduos e a produtividade dos recursos. É muito ativo no mercado europeu e em projetos internacionais para apoiar o desenvolvimento de uma economia circular de resíduos.

E-mail: [andreas.jaron@bmu.bund.de](mailto:andreas.jaron@bmu.bund.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Gestão Internacional de Resíduos:  
desafios, medidas e possibilidades***

---

## *Anne-Sophie Fölster*

Estudante de engenharia ambiental na TU Braunschweig, Alemanha desde 2011 com atuação em diversos projetos na Alemanha e no Brasil voltados para a gestão de resíduos sólidos e proteção ao meio ambiente.

E-mail: [a.foelster@tu-braunschweig.de](mailto:a.foelster@tu-braunschweig.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

### *Administrador e Engenheiro Ambiental Anton Zeiner*

Administrador e Engenheiro Ambiental. Desde 2013 tem atuado como assistente de pesquisa na Universidade Técnica de Braunschweig, nos seguintes ramos de pesquisa: tratamento mecânico e biológico (aeróbio e anaeróbio) de resíduos sólidos urbanos, mineração de aterros e desenvolvimento de planos de gerenciamento de RSU para municípios.

E-mail: [a.zeiner@tu-bs.de](mailto:a.zeiner@tu-bs.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ Mineração dos Resíduos Sólidos Urbanos de Aterros Sanitários: redução das massas a serem depositadas, através do tratamento de frações finas*

---

### ***Engenheiro Civil Antonio Marius Zuccarelli Bagnati***

Engenheiro Civil, formado pela UFRGS em 1975, possui uma carreira consolidada na iniciativa privada, atuando na execução de obras de infraestrutura urbana e na área de tecnologia, como dirigente da empresa Tecno Acción do Brasil. Atualmente ocupa a Diretoria de Operações da Companhia Melhoramentos da Capital, Florianópolis, Santa Catarina (Comcap), tendo exercido a Presidência por dez anos em diferentes períodos, a partir de 1986. É pós-graduando em Direito Ambiental pela Faculdade de Ciências Sociais de Florianópolis (CESUSC) e em Consultoria Ambiental pela Universidad Europea Miguel de Cervantes.

E-mail: [marius@comcap.org.br](mailto:marius@comcap.org.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos:  
desafios e oportunidades***

***Veja na Parte II ⇒ Programa Beija-Flor de Tratamento Descentralizado  
de Resíduos em Florianópolis-SC, Brasil***

---

### ***Engenheiro Mecânico Axel Hüttner***

Estudou engenharia na Universidade Técnica de Clausthal-Zellerfeld. Mestrado em engenharia de processos. Atua no campo da reciclagem, tratamento e recuperação de energia de materiais, resíduos e rejeitos, tendo como especialidade o tratamento anaeróbio. Após atuar como pesquisador no Instituto de Tecnologia do Centro de Pesquisa Agrícola Federal, ingressou na empresa Bühler GmbH, tendo em seguida trabalhado como consultor para diversas empresas em projetos de engenharia e planejamento. Atualmente é engenheiro sênior da IGLux Witzenhausen GmbH.

E-mail: [a.huettner@iglux-witzenhausen.de](mailto:a.huettner@iglux-witzenhausen.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ A Biodigestão de Resíduos Sólidos na Alemanha***

***Veja na Parte I ⇒ Tecnologias de Purificação de Biogás***

---

### ***Doutora Geóloga Beate Vielhaber***

Formada em Geografia e doutora em Geologia. Desde 1998, é diretora de planejamento na Associação de Resíduos da Região de Hannover e coordenadora técnica da AHA (planta municipal de tratamento mecânico e biológico) e ainda assessora os comitês de DGGT e DWA, com ampla experiência em planejamento de aterros e técnicas ambientais de valorização e gestão de planta de tratamento mecânico e biológico com fermentação integrada.

E-mail: [beate.vielhaber@aha-region.de](mailto:beate.vielhaber@aha-region.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Valorização de Resíduos Sólidos Urbanos:  
conceito, experiências operacionais e otimização***

---

***Doutor Bertram Kehres***

Diretor executivo da BGK (Associação alemã que regulamenta a qualidade do composto).

E-mail: [b.kehres@kompost.de](mailto:b.kehres@kompost.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Gestão de Qualidade: certificação de produtos  
para o emprego sustentável do composto orgânico***

---

## ***Engenheiro Bruno Mattheeuws***

Gerente de relações públicas da OWS, graduado em 2003 como engenheiro ambiental. Atuou durante 3,5 anos como controlador da ONG Belga para simulação de biogás. Trabalhou também em Honduras e Colombia em plantas de biogás a partir de palmeiras. Desde 2008 trabalha para a OWS no departamento de *Marketing*.

E-mail: [bruno.mattheeuws@ows.be](mailto:bruno.mattheeuws@ows.be)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ A Tecnologia DRANCO***

---

### ***Dipl.-Engenheiro Nuclear Burkart Schulte***

Engenheiro nuclear e vice-presidente do CREED. Trabalhou no departamento para tratamento de resíduos radioativos no Centro de Pesquisa de Karlsruhe. Em 1980, mudou para a unidade de reprocessamento de combustível nuclear queimado (WAK). Foi nomeado à Usina europeia de reprocessamento EUROCHEMIC em Mol, na Bélgica. Participou, em 1985, do planejamento da planta piloto de condicionamento PKA em Gorleben. Foi responsável pelo planejamento e iniciação da planta de reprocessamento em Wackersdorf antes de mudar para a empresa COLENCO, na Suíça. A partir de 1993 gerenciou a planta de valorização de resíduos local (AML). Atualmente é membro de vários grêmios nacionais e internacionais na área de gestão de resíduos.

E-mail: [schulte@CReED-ev.de](mailto:schulte@CReED-ev.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ CReED – Centro para Pesquisa, Educação e  
Demonstração em Gerenciamento de Resíduos***

---

## *Camila Barbi Campos*

Cursando Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Universitário Padre Anchieta.

E-mail: [camila.bcampos@hotmail.com](mailto:camila.bcampos@hotmail.com)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

### ***Engenheiro Eletromecânico Carlo Vendrix***

Formado em engenharia eletromecânica no Technisch Instituut H.Hart na cidade de Hasselt – Bélgica. Trabalhou na Mannesmann Demag – Vespasiano – MG nas áreas de compressores alternativos industriais e de controladoria para o *follow-up* de custos de contratos. Atualmente exerce a função de gerente de contratos no setor de tecnologias de meio ambiente da Kuttner do Brasil, responsável pela tecnologia de tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos orgânicos.

E-mail: [c.vendrix@kuttner.com.br](mailto:c.vendrix@kuttner.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ Biodigestão – Tecnologia Kompogas***

---

### ***Advogado Carlos RV Silva Filho***

Advogado, Diretor Presidente da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) e Vice-Presidente da *International Solid Waste Association* (ISWA).

E-mail: [carlos@abrelpe.org.br](mailto:carlos@abrelpe.org.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil:  
panorama, desafios e perspectivas***

---

### ***Doutor Engenheiro Civil e Químico Ambiental Carsten Cuhls***

Doutor em engenharia, engenheiro civil e químico ambiental, consultor e professor universitário em Braunschweig (desde 2009) e Magdeburg (desde 2014). Até 2000 atuou como pesquisador em Tecnologias para Tratamento de Resíduos no Instituto da Qualidade da Água e Gestão de Resíduos da Universidade de Hannover. Após este período foi cientista sênior e engenheiro-chefe do Instituto de Engenharia Ambiental, ministrou palestras sobre produtos perigosos, áreas contaminadas, avaliação do ciclo de vida, gestão dos gases residuais e o controle das emissões. De 2000 a 2014 foi gerente da GEWITRA Ltd. empresa em Hannover, atuando como engenheiro consultor para tecnologias tratamento de resíduos e o controle das emissões.

E-mail: [Carsten.Cuhls@gewitra.de](mailto:Carsten.Cuhls@gewitra.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Tratamento de Emissões Gasosas Provenientes de Plantas de Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos***

---

## ***Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira***

Engenheira civil e advogada. Especialista em Direito Ambiental e Gestão Empresarial. Doutoranda pela Technische Universitaet Braunschweig. Atua como coordenadora da Universidade Técnica de Braunschweig e do Instituto CReED no Brasil. Com trajetória profissional formada pela pluralidade de eixos temáticos, foi como diretora de empresas que abarcou responsabilidades voltadas para o nível tecnológico e jurídico, participando de projetos nacionais e internacionais. Atuação especializada em tratamento de resíduos sólidos urbanos com atividades desenvolvidas juntamente a órgãos públicos e entidades privadas, desde o desenvolvimento de conceitos tecnológicos, implementação de plantas de tratamento de RSU até avaliação técnica e desenvolvimento de análise de risco.

E-mail: [christiane@terramelhor.com.br](mailto:christiane@terramelhor.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ Apresentação***

***VOLTAR ⇒ Tecnologias Ambientais: ferramentas  
para a valorização de resíduos sólidos urbanos***

***VOLTAR ⇒ Análise de Risco: combustão em plantas de tratamento mecânico-biológico  
e em áreas de armazenagem e disposição final de resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ A Alemanha como Protagonista do Desenvolvimento Socioambiental  
em Gestão de Resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ Eficiência Energética da Reciclagem de Materiais e da  
Recuperação Energética de Frações Seleccionadas dos Resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ CReED – Centro para Pesquisa, Educação e  
Demonstração em Gerenciamento de Resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ A Biodigestão de Resíduos Sólidos na Alemanha***

***Veja na Parte II ⇒ Capacitação e Pesquisa Fundamental para Desenvolver  
e Implementar uma Instalação de Tratamento Mecânico-biológico,  
com Estágio de Fermentação Integrada em Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

*Veja na Parte II ⇒ Os Desafios da Educação Ambiental Formal em  
Matéria de Tratamento de Resíduos Sólidos no Brasil*

*Veja na Parte II ⇒ Proteção Climática através de uma  
Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos*

*Veja na Parte II ⇒ Projeto i-NoPa – Capacitação e pesquisa fundamental,  
a fim de gerar metodologia de análise para o desenvolvimento de projeto  
para uma instalação de Tratamento Mecânico Biológico (TMB)  
com fermentação integrada na cidade de Jundiaí-SP*

---

### ***Pedagoga Christine Pereira-Glodek***

Pedagoga, técnica em administração e em meio ambiente, atuou na Alemanha em projetos educacionais e terapia curativa baseados na antroposofia. Tem atuação no Brasil na gerência de projetos de tratamento de resíduos sólidos urbanos com atividades desenvolvidas juntamente a órgãos públicos e entidades privadas, auxiliando no intercâmbio de informações técnicas entre a Universidade Técnica de Braunschweig, Instituto CReED e prefeituras brasileiras.

E-mail: [christine@terramelhor.com.br](mailto:christine@terramelhor.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Os Desafios da Educação Ambiental Formal em  
Matéria de Tratamento de Resíduos Sólidos no Brasil***

---

### *Engenheiro Civil Christof Heußner*

Engenheiro civil. Atua desde 2011 como assistente de Pesquisa no departamento de gestão de resíduos e recursos do Instituto Leichtweiß da Universidade Técnica de Braunschweig.

E-mail: [c.heussner@tu-bs.de](mailto:c.heussner@tu-bs.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ A Biodigestão de Resíduos Sólidos na Alemanha*

---

## *Tecnóloga Diana Piffer Gigliotti*

Tecnóloga em Gestão Ambiental e cursando Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Universitário Padre Anchieta.

E-mail: [diana\\_pg88@hotmail.com](mailto:diana_pg88@hotmail.com)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

### ***Engenheiro Civil e Ambiental Diego de Carvalho Frade***

Engenheiro Civil e Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB), com pós-graduação em Finanças Corporativas e Banco de Investimento pela Fundação Instituto de Administração (FIA/USP). Analista do Departamento de Energia e Tecnologias Limpas (DENE) da FINEP. Responsável pela gestão da carteira, interface com clientes e a análise de projetos reembolsáveis nos segmentos de Resíduos, Água e Esgoto.

E-mail: [dfrade@finep.gov.br](mailto:dfrade@finep.gov.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ FINEP e seu Papel na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil***

---

## ***Professor Doutor Eduardo Tomasevicius Filho***

Bacharel em Direito, Mestre em História Social e Doutor em Direito Civil pela Universidade de São Paulo – USP. Professor do Departamento de Direito Civil da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo – USP e Professor do Curso de Direito das Faculdades Integradas “Campos Salles”. Advogado em São Paulo.

E-mails: [tomasevicius@usp.br](mailto:tomasevicius@usp.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ A Política Nacional dos Resíduos Sólidos no  
Funcionamento do Sistema Econômico***

***Veja na Parte II ⇒ Os Desafios da Educação Ambiental Formal em  
Matéria de Tratamento de Resíduos Sólidos no Brasil***

---

### ***Engenheiro de Petróleo Erick Meira de Oliveira***

Engenheiro de petróleo formado com dignidade acadêmica (*Cum Laude*) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2012, tendo participado também em um programa de extensão na forma de intercâmbio acadêmico com a *École Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines d'Alès* (França). Atualmente cursando o Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), com previsão de conclusão em março de 2015. Além disso, desde 2014, é analista de projetos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), lotado no Departamento de Energia e Tecnologias Limpas (DENE).

E-mail: [emeira@finep.gov.br](mailto:emeira@finep.gov.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ FINEP e seu Papel na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil***

---

***CEO Franz Vogel***

Owner manager.

E-mail: [info@kompostanlagen.de](mailto:info@kompostanlagen.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*VOLTAR ⇒ Tratamento Biológico Aerado em Leiras  
Envelopadas com o Sistema GORE® Cover*

---

***Gabriel de Carvalho Gimenez***

Cursando Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Universitário Padre Anchieta.

E-mail: [g.carvalhogimenez@gmail.com](mailto:g.carvalhogimenez@gmail.com)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

---

## ***Geógrafa e Mestre em Ciências Gabriela Gomes Prol Otero***

Geógrafa e Mestre em Ciências, Coordenadora Técnica da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE).

E-mail: [gabriela@abrelpe.org.br](mailto:gabriela@abrelpe.org.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil:  
panorama, desafios e perspectivas***

---

### ***Engenheiro Civil Helge Dorstewitz***

Engenheiro civil. Diretor Técnico da IGLux s.à r. l. Desde 1994 coleciona uma vasta experiência na Alemanha, Luxemburgo, França, Reino Unido e em outros países Europeus durante a concepção, construção, comissionamento e operação de plantas de tratamento de resíduos industriais em larga escala. No âmbito destes projetos, foi responsável por todos os aspectos técnicos, comerciais, ambientais e questões contratuais. Ganhou experiência em estudos de viabilidade bem como em licitações públicas para a gestão da coleta de resíduos.

E-mail: [h.dorstewitz@iglux.lu](mailto:h.dorstewitz@iglux.lu)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Tecnologias de Purificação de Biogás***

---

## *Doutor Helge Wendenburg*

Desde 2005 atua em Bonn como Diretor-geral e chefe do departamento de “Gestão da Água e Conservação dos Recursos” do Ministério Federal do Meio Ambiente, da Conservação da Natureza, da Construção e da Segurança Nuclear. Desde 2010 o departamento é responsável também pelo programa eficiência ecológica dos recursos. Estudou Direito na Universidade de Göttingen, onde também fez seu Doutorado em leis e apoiou entre 1979 e 1982 o Instituto de Ciência Política. Desde 1983, trabalhou em diversas funções no Governo do Distrito de Brunswick (Braunschweig) e mudou, em 1990, para o ministério do meio ambiente da Baixa Saxônia (Niedersachsen), onde chefiou diferentes divisões e ainda a Direção-Geral para a gestão de resíduos e controle de poluição do ar. É membro do Conselho de Administração da Associação Água Alemã (DWA) e da Academia de Ciências Geológicas. Autor de diversos artigos relacionados à gestão da água e dos resíduos, além de temas como legislação sobre a água e resíduos que foram publicados em diferentes periódicos, revistas e jornais. É coautor de comentários sobre as leis de gestão dos resíduos e Membro do Conselho de Administração dos editores de revistas científicas da Alemanha como “AbfallR”, “Müll und Abfall”, “W+B” and “Umwelt- und Planungsrecht (UPR)”.

E-mail: [helge.wendenburg@bmub.bund.de](mailto:helge.wendenburg@bmub.bund.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ A Eficiência dos Recursos e Gestão da Reciclagem:  
implementação na Alemanha*

---

---

*Engenheira Ambiental Hélinah Cardoso Moreira*

Engenheira Ambiental.

E-mail: [helinah.cardoso@giz.de](mailto:helinah.cardoso@giz.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto: status quo na Alemanha e no Brasil*

---

## ***Engenheiro Civil e Ambiental Herbert Beywinkler***

Engenheiro civil e ambiental, cofundador, coproprietário e gerente da of Umweltmanagement-Verfahrenstechnik Neubacher & Partner Ges.m.b.H. (UV&P) desde 1991, trabalhando na Áustria e em outros países em projetos de gestão e tratamento de resíduos na forma de geração de CDR. Atuou no desenvolvimento de diversos termos de referência na modalidade PPP para projetos de recuperação energética a partir dos resíduos e também projetos de tratamento mecânico e biológico mesofílica e termofílica, sistemas secos e úmidos de biodigestão, sistemas abertos e fechados de aerobização e compostagem e diversas modalidades de tratamento mecânico com geração de CDR, biomassa e captação de recicláveis. Sua experiência abarca ainda tecnologias diversificadas desde leito fluido estacionário e circulante, grelhas de incineração, purificação seca e úmida de gás combustível e tecnologias de “*denoxification*”.

E-mail: [Herbert.Beywinkler@uvp.at](mailto:Herbert.Beywinkler@uvp.at)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Lições Aprendidas Sobre Como Proceder com a Digestão Anaeróbia e Outras Plantas de Tratamento de Resíduos***

---

### ***Doutor Hubert Baier***

Doutor em mineralogia, geocientista e pesquisador, desenvolveu atividades juntamente à Holcim na busca por alternativas para a matriz energética. Trabalhou na EnTeCo em recursos energéticos alternativos, na empresa Deutag-Remex AG atuou no pré-tratamento de recursos minerais para a produção de clínquer. Responsável por atividades e implementação de plantas cimenteiras, na Dyckerhoff AG, na Alemanha. Em 2006, assumiu o cargo de diretor na empresa ECOWEST que foi a primeira empresa alemã a ser certificada como provedora de combustível secundário para coprocessamento. Atuou entre 2007 e 2010 em diversos países no desenvolvimento de conceitos sustentáveis para a promoção de resíduos em energia. Entre 2010 e 2013, atuou para Thyssen Krupp como gerente de coprocessamento na empresa Vecoplan-FuelTrack GmbH para produção de combustível derivado de resíduos. Assessorou normativas alemãs para a regulação do emprego de combustível secundário. Atualmente trabalha como consultor independente e editor de publicação técnica ZKG do segmento cimentício.

E-mail: [hubert.baier@wltp.eu](mailto:hubert.baier@wltp.eu)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Experiências Comprovadas com Combustíveis Alternativos em Fornos de Cimento***

---

### ***Doutor Jens Giersdorf***

Responsável pelo projeto DKTI Sistemas de acionamento energeticamente eficientes da GIZ Brasil. De 2013 a 2016 atuou como líder de componente no projeto DKTI-Biogás. Em 2012, completou o doutorado na FU Berlin sob o tema: “*Politics and Economics of Ethanol and Biodiesel Production and Consumption in Brazil*”. Entre 2008 e 2013 foi diretor da equipe internacional no Centro Alemão de Pesquisa de Biomassa (DBFZ) em Leipzig.

E-mail: [jens.giersdorf@giz.de](mailto:jens.giersdorf@giz.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Proteção Climática através de uma  
Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos***

---

***Professor Doutor Psicólogo José Luiz Crivelatti de Abreu***

Psicólogo com especialização em Psicologia Clínica na Abordagem Cognitivo-Comportamental. Mestre e Doutor em Psicologia pela Universidade de São Paulo – USP. Professor aposentado da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

E-mail: [joseluiz@crivelatti.psc.br](mailto:joseluiz@crivelatti.psc.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Programa Beija-Flor de Tratamento Descentralizado de Resíduos em Florianópolis-SC, Brasil***

---

## *Doutor Engenheiro Civil Kai Münnich*

Doutor em Engenharia Civil. Assistente de pesquisa desde 1987 na Universidade Técnica de Braunschweig, professor associado da PUC-Rio no curso de mestrado em engenharia urbana e professor na Universidade Técnica de Braunschweig e responsável pelos módulos de gestão de resíduos na graduação e curso de mestrado “Pró Água”. Líder de grupo de trabalho “Tecnologias de Aterro e Geotécnica” do Instituto Leichtweiss e responsável pelo Departamento de Laboratório em Geotécnica, Solos, Resíduos e Águas. Ramos de pesquisa: comportamentos hidráulicos em sistemas lineares, resíduos sólidos e solos, comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos (RSU), recalques em aterros, tratamento mecânico-biológico (TMB) de RSU e adaptação de sistemas TMB às condições locais de países em desenvolvimento.

E-mail: [k.muennich@tu-bs.de](mailto:k.muennich@tu-bs.de)

### *VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ Comportamento dos Aterros quando da Disposição de Resíduos do Tratamento Mecânico-Biológico*

*Veja na Parte I ⇒ Mineração dos Resíduos Sólidos Urbanos de Aterros Sanitários: redução das massas a serem depositadas, através do tratamento de frações finas*

---

## *Engenheiro Civil Karlgünter Eggersmann*

Formado em engenharia civil, assumiu os negócios da Fechtelkord & Eggersmann. Proprietário da empresa Eggersmann Anlagenbau, comprou a Backhus GmbH e a BRT Recycling Technologie GmbH, atualmente é uma das maiores empresas do setor atuando desde o desenvolvimento de projetos de engenharia, produção de maquinários, execução da obra e operação, especializada em equipamentos de tratamento mecânico, biológico, fermentação, compostagem e secagem biológica.

E-mail: [k.eggersmann@f-e.de](mailto:k.eggersmann@f-e.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*VOLTAR ⇒ Otimização de Sistemas de Tratamento de Resíduos  
através de Conceitos Modulares*

---

## ***Engenheira Agrônoma Mestre Kátia Goldschmidt Beltrame***

Engenheira Agrônoma formada pela ESALQ/USP. Mestre em microbiologia agrícola. Especialista em compostagem em escala industrial. Diretora Técnica de Compostagem do Grupo Ambipar. Membro do Conselho Técnico da Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal (ABISOLO).

E-mail: [katia.beltrame@mk2r.com.br](mailto:katia.beltrame@mk2r.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos  
no Brasil: benefícios × problemas***

---

## ***Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke***

Formado em Geologia, doutor em Engenharia, professor catedrático e pesquisador da TUBS (Universidade Técnica de Braunschweig). Diretor de Departamento de Resíduos Sólidos e Recursos naturais, presidente do CReED, editor da revista técnica MUELL und ABFALL, atua há mais de trinta anos em gestão de resíduos na Alemanha e em outros continentes, foi responsável pela implantação, em 1983, da coleta seletiva e compostagem de orgânicos na Alemanha. Autor de diversas publicações técnicas, tem participação como assessor técnico do Governo Alemão pelos Ministérios de Educação e Pesquisa, de Cooperação e de Meio Ambiente. Trabalhou no Brasil como consultor em projetos da ANEEL e Caixa Econômica Federal, para prefeituras. Coordena o curso de mestrado em Engenharia Urbana ministrado pela cooperação PUC e TUBS.

E-mail: [klaus.fricke@tu-bs.de](mailto:klaus.fricke@tu-bs.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ Apresentação***

***VOLTAR ⇒ Tecnologias Ambientais:  
ferramentas para a valorização de resíduos sólidos urbanos***

***VOLTAR ⇒ Análise de Risco: combustão em plantas de tratamento  
mecânico-biológico e em áreas de armazenagem e disposição final de resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ A Alemanha como Protagonista do  
Desenvolvimento Socioambiental em Gestão de Resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ Eficiência Energética da Reciclagem de Materiais e da  
Recuperação Energética de Frações Seleccionadas dos Resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ CReED – Centro para Pesquisa, Educação e  
Demonstração em Gerenciamento de Resíduos***

***Veja na Parte I ⇒ A Biodigestão de Resíduos Sólidos na Alemanha***

***Veja na Parte I ⇒ Comportamento dos Aterros quando da Disposição de  
Resíduos do Tratamento Mecânico-Biológico***

***Veja na Parte I ⇒ Mineração dos Resíduos Sólidos Urbanos de Aterros Sanitários:  
redução das massas a serem depositadas, através do tratamento de frações finas***

***Veja na Parte II ⇒ Capacitação e Pesquisa Fundamental para Desenvolver  
e Implementar uma Instalação de Tratamento Mecânico-biológico,  
com Estágio de Fermentação Integrada em Jundiaí-SP, Brasil***

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

*Veja na Parte II ⇒ Proteção Climática através de uma  
Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos*

*Veja na Parte II ⇒ Projeto i-NoPa – Capacitação e pesquisa fundamental,  
a fim de gerar metodologia de análise para o desenvolvimento de projeto  
para uma instalação de Tratamento Mecânico Biológico (TMB)  
com fermentação integrada na cidade de Jundiaí-SP*

---

## *Administrador e Especialista em Gestão de Negócios*

### *Lauro Raphael Acorci Donadell*

Graduado em Administração de Empresas na Faculdade Politécnica de Jundiaí-SP, e Especialização em Gestão Estratégica de Negócios pela Faculdade Anhanguera, atua para a Universidade Técnica de Braunschweig como supervisor de projetos para a gestão ecoeficiente de resíduos sólidos.

E-mail: [donadell@hotmail.com](mailto:donadell@hotmail.com)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

## ***Engenheiro Luc A. De Baere***

Managing Director OWS nv

Mestre em Química e Gestão de Resíduos pela Universidade de Wisconsin (EUA). Entre o período de 1980 e 1987 foi responsável pela pesquisa e desenvolvimento do processo DRANCO de digestão anaeróbia. Desde 1988 tem atuado como Diretor-geral e Gerente dos Sistemas de Resíduos Orgânicos. Detentor de diversas patentes em digestão anaeróbia de resíduos sólidos também autor e coautor de mais de 50 publicações sobre digestão anaeróbia e medição de degradabilidade.

E-mail: [luc.de.baere@ows.be](mailto:luc.de.baere@ows.be)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ A Tecnologia DRANCO***

---

### ***Gestor Empresarial Lucas Aparecido Rodrigues***

Gestor Empresarial formado pela FATEC de Tatuí, graduando em Engenharia Civil pela CEUNSP e Pós Graduando em Gestão de Resíduos Sólidos pelo SENAC, atua como Diretor de Limpeza Pública na Secretaria Municipal de Serviços Públicos da Prefeitura do Município de Jundiaí-SP.

E-mail: [larodrigues@jundiai.sp.gov.br](mailto:larodrigues@jundiai.sp.gov.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

---

### ***Geólogo Mestre Luiz Gustavo Gallo Vilela***

Formado em Geologia pela Universidade de São Paulo (USP). Nascido em 03 de dezembro de 1970, trabalhou em grandes obras de engenharia, tais como o Metrô de São Paulo, túneis e plantas hidrelétricas. Entre 2003 e 2008, foi sócio-diretor de importante empresa em São Paulo com atuação em meio ambiente, notadamente no estudo e recuperação de áreas degradadas e contaminadas, onde atendia grandes construtoras e incorporadoras do ramo imobiliário, além de indústrias e o setor público. Em 2009, foi nomeado Secretário de Meio Ambiente da Saev Ambiental pelo prefeito Junior Marão. Possui Mestrado em Ciências Geológicas e Ambientais pela USP de São Paulo e é Auditor Ambiental com diplomação internacional em curso desenvolvido pela JPD Environmental Ltd., da Inglaterra.

E-mail: [gustavogallo@saev.com.br](mailto:gustavogallo@saev.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos em Cidades de Menor Porte: caso de Votuporanga-SP, Brasil***

---

### *Dipl.-Germanística Lutz Hoffmann*

BUPnet GmbH; Membro CReED, Formado em Germanística, Política e Pedagogia, fundador da empresa BUP Goettingen/Sehnde – formação, meio ambiente e gerenciamento de projetos. Fundador e diretor da BUP Consultoria Postdam e BUPNET. Fundador e prestador de serviços da empresa OC-Office Connection Goettingen.

E-mail: [lhoffmann@bupnet.de](mailto:lhoffmann@bupnet.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ CReED – Centro para Pesquisa, Educação e  
Demonstração em Gerenciamento de Resíduos*

*Veja na Parte I ⇒ Formação Profissional e Continuada:  
instrumento fundamental para uma gestão sustentável dos resíduos*

---

## *Engenheiro Civil Magnus Martins Caldeira*

Engenheiro Civil e Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Atualmente Analista de Infraestrutura do Governo Federal e Suplente do Ministério das Cidades na Rede CLIMA. Atuou como Coordenador e Professor de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental; e exerceu cargo de Engenheiro Civil em Prefeituras Municipais.

E-mail: [magnus.caldeira@cidadades.gov.br](mailto:magnus.caldeira@cidadades.gov.br)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil – PROBIOGÁS*

---

## ***Engenheiro Civil Marcelo de Paula Neves Lelis***

Engenheiro Civil; Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Analista de Infraestrutura; Gerente de Projetos da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades; Conselheiro do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente e Membro do Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

E-mail: [marcelo.lelis@cidadas.gov.br](mailto:marcelo.lelis@cidadas.gov.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil – PROBIOGÁS***

---

## *Engenheiro Civil e Especialista em Engenharia Ambiental*

### *Marcelo Foelkel Patrão*

Engenheiro Civil formado pela PUC-Campinas e Especializado em Engenharia Ambiental pela UNICAMP, atua como Engenheiro na Secretaria Municipal de Serviços Públicos da Prefeitura do Município de Jundiaí-SP e como Diretor Técnico na Empresa MP. Projetos, com foco em projetos de infraestrutura e saneamento.

E-mail: [mfptrao@jundiai.sp.gov.br](mailto:mfptrao@jundiai.sp.gov.br)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

---

***Engenheira Agrônoma Maria Thelen-Jüngling***

Diretora de garantia de qualidade para o composto da BGK (Associação alemã que regulamenta a qualidade do composto).

E-mail: [m.thelen-juengling@kompost.de](mailto:m.thelen-juengling@kompost.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Gestão de Qualidade: certificação de produtos  
para o emprego sustentável do composto orgânico***

---

### ***PhD. Doutor Markus Bux***

CEO da Thermo-System Industrie- & Trocknungstechnik GmbH (Filderstadt, FRG). Professor associado (Docente Privado) na Universidade de Hohenheim (Stuttgart, FRG). Possui PhD em Tecnologia de Secagem e um grau de Doutorado (Habilitação) da Universidade de Hohenheim. Com mais de 50 publicações científicas sobre Secagem Solar de Lodo, é um dos principais especialistas da área.

E-mail: [Markus.Bux@thermo-system.com](mailto:Markus.Bux@thermo-system.com)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ Secagem do Lodo do Esgoto Comum e Industrial em Plantas de Tratamento de Águas Residuais: uma forma sustentável de administração do lodo***

---

### ***Engenheiro Civil Michael Balhar***

Engenheiro Civil especializado na gestão de resíduos e engenharia sanitária ambiental. Desde janeiro de 2008 é CEO e Diretor da ASA GmbH. Membro de VDI, DWA, CReED, BGS e RETech.

E-mail: [info@asa-ev.de](mailto:info@asa-ev.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Estado da Arte e Potencial de Desenvolvimento do Tratamento Mecânico-Biológico na Alemanha***

---

### ***Químico Michael Ludden***

Formado em química e único acionista do Grupo LM. Presidente da Associação de Tecnologia de Resíduos e Reciclagem na VDMA (Associação Alemã de Engenharia de Plantas e Máquinas). Membro do Conselho de Administração de Resíduos Domésticos na RETech Partnership e.V. alemã. Sócio-diretor da Sutco RecyclingTechnik GmbH.

E-mail: [michael.ludden@sutco.de](mailto:michael.ludden@sutco.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***VOLTAR ⇒ Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento de Recicláveis em uma Planta de Tratamento Mecânico-Biológico***

---

### ***Mestre em Geografia Olga Kasper***

Formada em Geografia, possui Mestrado em Geografia Aplicada com ênfase em Gestão do Meio Ambiente e de Resíduos Sólidos pela Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH Aachen, Alemanha). Participou de projetos internacionais durante a Graduação, como a introdução de conceitos de Educação Ambiental em Tena, Equador. Desenvolveu, em conjunto com órgãos municipais, um plano de Gerenciamento Energético para a cidade de Lich, na Alemanha, resultando em redução de custos e da emissão de gases do efeito estufa no município. Atualmente é Assistente Administrativa Ambiental na Terra Melhor Ltda., atuando em temas relacionados ao Tratamento Mecânico e Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos e participando em projetos nacionais e internacionais.

E-mail: [olga@terramelhor.com.br](mailto:olga@terramelhor.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Proteção Climática através de uma  
Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos***

---

### ***Doutor Engenheiro Professor Mestre Paulo Belli Filho***

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Doutor em Química Industrial e Ambiental pela Université de Rennes, na França. Pós-doutorado na Ecole Polytechnique de Montreal. Supervisor do Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos. Bolsista pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Realiza projetos com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA e a Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. Possui projetos financiados por: CNPq; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES; Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina – FAPESC; Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Companhia de Gás de Santa Catarina – SCGAS; Fundação Nacional de Saúde – FUNASA; Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN; Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS e setor privado. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, com ênfase em Tratamento de despejos, sustentabilidade da suinocultura, biogás e gestão de odores integrada ao saneamento ambiental. Coordena projetos para a disseminação de Tecnologias Sociais para o Saneamento Ambiental.

E-mail: [paulo.belli@ufsc.br](mailto:paulo.belli@ufsc.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Tecnologias Sustentáveis para a Gestão de Resíduos da Agroindústria de Santa Catarina***

---

## *Tecnóloga Roberta da Silva Leone*

Tecnóloga em Gestão Ambiental e cursando Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Universitário Padre Anchieta.

E-mail: [roberta.leone@hotmail.com](mailto:roberta.leone@hotmail.com)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais*

*Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil*

---

## ***Engenheiro Agrícola e Civil Mestre***

### ***Rodrigo Miguel Pereira Batalha***

Engenheiro Agrícola e Civil com Mestrado em Água e Solo. Doutorando na Universidade Técnica de Braunschweig (TUBS). Atua como Diretor de Programa Especial da Prefeitura Municipal de Jundiaí-SP. Professor do Centro Universitário Padre Anchieta, cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária e Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental. Coordenador do Curso de Pós-Graduação (*lato sensu*) em Gestão de Recursos Hídricos.

E-mail: [rbatalha@jundiai.sp.gov.br](mailto:rbatalha@jundiai.sp.gov.br)

#### ***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Resíduos de Construção Civil – Sistema de Gerenciamento Integrado no Município de Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

---

### ***Doutora Engenheira Agrônoma Sabine Robra***

Engenheira agrônoma (Universität Kassel, 1991). Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC, 2007). Atualmente doutoranda do curso do PRODEMA (UESC) e pesquisadora do Grupo Bioenergia e Meio Ambiente, da UESC. Tem experiência na área de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos agrários, urbanos e industriais, Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) incluindo estudos de viabilidade energética, econômica e ambiental, gestão de resíduos sólidos.

E-mail: [sruesc.ios@gmail.com](mailto:sruesc.ios@gmail.com)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Aproveitamento Energético do Biogás***

---

## ***Engenheiro Civil e Ambiental Sebastian Wanka***

Engenheiro Civil e Ambiental. Atua desde 2012 como assistente de pesquisa da Universidade Técnica de Braunschweig, nos seguintes ramos de pesquisa: tratamento mecânico e biológico (aeróbio e anaeróbio) de resíduos sólidos urbanos, otimização energética de plantas de tratamento, processos de otimização e automação, estudos gravimétricos de resíduos de tratamento mecânico e biológico, mineração de aterros e tratamento posterior de resíduos após a atividade e mineração de aterros.

E-mail: [s.wanka@tu-braunschweig.de](mailto:s.wanka@tu-braunschweig.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Mineração dos Resíduos Sólidos Urbanos de Aterros Sanitários:  
redução das massas a serem depositadas, através do tratamento de frações finas***

---

### ***Bióloga Simone Neiva Rodella***

Graduada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário do Triângulo (UNITRI), com especialização em Administração e Controle da Qualidade Ambiental pelo Centro Universitário de Votuporanga – UNIFEV e Educação Ambiental, pela UNESP Botucatu. Ocupa o cargo de Diretora da Divisão de Meio Ambiente da Saev Ambiental (Autarquia Municipal) de Votuporanga-SP, atuando, principalmente, na gestão de resíduos sólidos urbanos. Desde 2013 é Interlocutora do Programa Município Verde Azul, junto à Secretaria Estadual de Meio Ambiente, pelo qual, o município ocupa atualmente, o segundo lugar no *ranking* estadual. Atuou na área de assessoria em planejamento ambiental em Uberlândia-MG tendo trabalhado em projetos de licenciamento, recuperação de áreas degradadas e programas de educação ambiental. Atuou também como docente do ensino médio e coordenadora e docente de curso técnico em meio ambiente.

E-mail: [ambiental@saev.com.br](mailto:ambiental@saev.com.br)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos em Cidades de Menor Porte: caso de Votuporanga-SP, Brasil***

---

## ***Professor Doutor Tacio Mauro Pereira de Campos***

PhD. em Mecânica dos Solos (Imperial College of Science, University of London). Professor e diretor do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio e pesquisador 1A do CNPq. Criou e coordena, desde 1996, o Núcleo de Excelência em Geotecnia Ambiental, reconhecido pelo CNPq/MCT e FAPERJ. Já prestou serviços de consultoria e coordenou Projetos P&D junto a grandes empresas, como Petrobras, Alumar, Alcoa, Eletronuclear, Ligth e Furnas. Coordena o Projeto PRONEX, que tem, como um de seus temas principais, o estudo de movimentos de massas terrosas (ruptura de taludes naturais e desenvolvimento de processos erosivos). Atualmente coordena investigações voltadas à definição de mecanismos de ruptura ocorridos na Região Serrana do Rio de Janeiro frente ao megadesastre de 2011, coordena o Projeto de Pesquisa Tinguá, junto ao CENPES/PETROBRAS, com o objetivo de desenvolver uma metodologia para análise de riscos a corridas de massa em dutos e faz parte do corpo técnico internacional de consultores do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, Rio de Janeiro. Possui vasta experiência em investigações geotécnicas de campo e laboratório, análise do comportamento de solos saturados / não saturados e de resíduos de diferentes origens, análises de estabilidade de taludes naturais, aterros e escavações em solos, processos de contaminação do subsolo e desenvolvimento de técnicas de remediação ou recuperação de áreas degradadas.

E-mail: [tacio@puc-rio.br](mailto:tacio@puc-rio.br)

### ***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Capacitação e Pesquisa Fundamental para Desenvolver e Implementar uma Instalação de Tratamento Mecânico-biológico, com Estágio de Fermentação Integrada em Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

***Veja na Parte II ⇒ Projeto i-NoPa – Capacitação e pesquisa fundamental, a fim de gerar metodologia de análise para o desenvolvimento de projeto para uma instalação de Tratamento Mecânico Biológico (TMB) com fermentação integrada na cidade de Jundiaí-SP***

### ***Engenheiro Civil Theo Schneider***

Engenheiro civil, Diretor-geral da Ressource Abfall GmbH desde 2008, atuando em nível nacional e internacional no mercado de gestão e tratamento de resíduos, desenvolvendo estudos de impacto ambiental e projetos de eficiência energética. Executou diversos projetos para diferentes clientes, empresas privadas e públicas, Ministérios, Agências de cooperação como GIZ e KFW. Tem mais de dez anos de experiência como diretor de planta de tratamento de resíduos e mais de vinte anos de experiência em planejamento e desenvolvimento de conceitos, projetos de licenciamento, construção e operação de plantas de tratamento de resíduos tais como: TMB, digestão anaeróbia e compostagem, desde pequena escala como 14.000 t/a até larga 120.000 t/a em plantas de digestão anaeróbia, esta última integrante de uma planta de TMB para 200.000 t/a, plantas de compostagem de diferentes capacidades até 600.000 t/a incluindo tratamento mecânico, produção de CDR e outras tecnologias em Istambul.

E-mail: [mail@ressource-abfall.de](mailto:mail@ressource-abfall.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Lições Aprendidas Sobre Como Proceder com a Digestão Anaeróbia e Outras Plantas de Tratamento de Resíduos***

---

***CEO Thomas Schlien***

Environmental Consultant.

E-mail: [t.schlien@kompostanlagen.de](mailto:t.schlien@kompostanlagen.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*VOLTAR ⇒ Tratamento Biológico Aerado em Leiras  
Envelopadas com o Sistema GORE® Cover*

---

### ***Engenheiro Mecânico Thomas Turk***

Engenheiro de técnicas de tratamento e especialista em segurança ambiental. Atuando desde 1983 em gestão de resíduos sólidos urbanos. Durante o período de 1986 a 1986 – 2010 foi sócio-diretor da empresa Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen Fricke & Turk GmbH onde planejou e acompanhou mais de cem projetos de tratamento mecânico-biológico. Entre 2008 – 2010 foi diretor técnico da Pöyry Environment GmbH. Desde 2011 ocupa a posição de sócio-diretor da empresa IGLux Witzenhausen GmbH e sócio das empresas Oeko-Bureau s.a r.l., Rumelange (L) e ORA LTD, Organic Ressource Agency, Malvern (UK). Também tem participado na direção de diversas associações tais como ANS-Arbeitskreis für Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V., BBE Bundesverband BioEnergie e.V., deENet Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien e HERO e.V. Hessen Rohstoffe.

E-mail: [t.turk@iglux-witzenhausen.de](mailto:t.turk@iglux-witzenhausen.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ A Biodigestão de Resíduos Sólidos na Alemanha***

---

*Engenheiro Victor Bustani Valente*

Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

E-mail: [victor.valente@giz.de](mailto:victor.valente@giz.de)

*VOLTAR ⇒ Colaboradores*

*Veja na Parte I ⇒ Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto: status quo na Alemanha e no Brasil*

---

***Vinicius Silva de Macedo***

Cursando Engenharia Ambiental e Sanitária na PUC – Campinas-SP.

E-mail: [vncmacedo@gmail.com](mailto:vncmacedo@gmail.com)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte II ⇒ Caracterização Inovadora de Resíduos Sólidos Municipais***

***Veja na Parte II ⇒ Metodologia de Diagnóstico Ambiental em  
Grandes Geradores para uma Gestão Sustentável de  
Resíduos Sólidos do Município de Jundiaí-SP, Brasil***

---

## ***Engenheiro Mecânico Wilhelm Winkelmann***

Engenheiro com especialização em Administração de Empresas iniciou sua carreira em 1996 como engenheiro e líder de projeto, durante o período entre 2002 a 2007 foi chefe de departamento para novos projetos e otimização de processos de gestão de resíduos. Desde 2010 implementou e gerencia a planta de biodigestão. Atualmente ocupa a posição de CFO da empresa de limpeza urbana de Berlim (Biogasanlage der Berliner Stadtreinigung A. ö. R.).

E-mail: [wilhelm.winkelmann@bsr.de](mailto:wilhelm.winkelmann@bsr.de)

***VOLTAR ⇒ Colaboradores***

***Veja na Parte I ⇒ Exploração e Beneficiamento do Biogás Obtido na  
Planta de Fermentação da Cidade de Berlim***

---

# ÍNDICE

<b>COLABORADORES .....</b>	<b>4</b>
<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>7</b>
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke .....	7
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira .....	7
<b>Tecnologias Ambientais: ferramentas para a valorização de resíduos sólidos urbanos .....</b>	<b>20</b>
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke .....	20
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira .....	20
<b>FINEP e seu Papel na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.....</b>	<b>22</b>
<i>FINEP and its Role in Urban Solid Waste Management in Brazil.....</i>	<i>22</i>
Engenheiro de Petróleo Erick Meira de Oliveira .....	22
Engenheiro Civil e Ambiental Diego de Carvalho Frade.....	22
<b>Otimização de Sistemas de Tratamento de Resíduos através de Conceitos Modulares .....</b>	<b>46</b>
<i>Optimization of Waste Treatment Systems Through Modular Concepts.....</i>	<i>46</i>
Engenheiro Civil Karlgünter Eggersmann .....	46
<b>A Tecnologia DRANCO .....</b>	<b>73</b>
<i>The DRANCO Technology.....</i>	<i>73</i>
Engenheiro Bruno Mattheeuws .....	73
Engenheiro Luc A. De Baere .....	73

<b>Biodigestão – Tecnologia Kompogas .....</b>	<b>87</b>
<i>Biodigestion – Kompogas Technology.....</i>	<i>87</i>
Engenheiro Eletromecânico Carlo Vendrix.....	87
<b>Tratamento Biológico Aerado em Leiras</b>	
<b>Envelopadas com o Sistema GORE® Cover .....</b>	<b>104</b>
<i>Aerated Biological Treatment with Closure Windrows</i>	
<i>under GORE® Cover System .....</i>	<i>104</i>
CEO Thomas Schlien.....	104
CEO Franz Vogel .....	104
<b>Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento de</b>	
<b>Recicláveis em uma Planta de Tratamento Mecânico-Biológico.....</b>	<b>116</b>
<i>Municipal Solid Waste with Recycling Recovery at one Mechanical and Biological Plant .....</i>	<i>116</i>
Químico Michael Ludden .....	116
<b>Secagem do Lodo do Esgoto Comum e Industrial em</b>	
<b>Plantas de Tratamento de Águas Residuais:</b>	
<b>uma forma sustentável de administração do lodo .....</b>	<b>124</b>
<i>Drying of Sewage Sludge form Communal and Industrial</i>	
<i>Waste Water Treatment Plants: A sustainable way of sludge management .....</i>	<i>124</i>
PhD. Doutor Markus Bux .....	124
<b>Análise de Risco: combustão em plantas de</b>	
<b>tratamento mecânico-biológico e em</b>	
<b>áreas de armazenagem e disposição final de resíduos .....</b>	<b>135</b>
<i>Risk Analysis: combustion in mechanical-biological plants</i>	
<i>and storage and final disposal areas of waste.....</i>	<i>135</i>
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke.....	135
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira.....	135

<b>SOBRE OS COLABORADORES .....</b>	<b>143</b>
Especialista em Direito Aguinaldo Leite .....	144
Doutor Engenheiro de Minas Alexander Gosten .....	145
Tecnóloga Aline Cardoso Domingos.....	146
Tecnólogo em Meio Ambiente Anderson Luiz de Araújo .....	147
Doutor Geógrafo André Luiz da Conceição .....	148
Doutor Andreas Jaron.....	149
Anne-Sophie Fölster.....	150
Administrador e Engenheiro Ambiental Anton Zeiner .....	151
Engenheiro Civil Antonio Marius Zuccarelli Bagnati .....	152
Engenheiro Mecânico Axel Hüttner .....	153
Doutora Geóloga Beate Vielhaber .....	154
Doutor Bertram Kehres.....	155
Engenheiro Bruno Mattheeuws .....	156
Dipl.-Engenheiro Nuclear Burkart Schulte.....	157
Camila Barbi Campos.....	158
Engenheiro Eletromecânico Carlo Vendrix.....	159
Advogado Carlos RV Silva Filho.....	160
Doutor Engenheiro Civil e Químico Ambiental Carsten Cuhls .....	161
Engenheira Civil e Advogada Christiane Pereira .....	162
Pedagoga Christine Pereira-Glodek .....	164
Engenheiro Civil Christof Heußner.....	165
Tecnóloga Diana Piffer Gigliotti .....	166
Engenheiro Civil e Ambiental Diego de Carvalho Frade .....	167
Professor Doutor Eduardo Tomasevicius Filho.....	168
Engenheiro de Petróleo Erick Meira de Oliveira.....	169
CEO Franz Vogel.....	170
Gabriel de Carvalho Gimenez.....	171
Geógrafa e Mestre em Ciências Gabriela Gomes Prol Otero .....	172
Engenheiro Civil Helge Dorstewitz .....	173

Doutor Helge Wendenburg .....	174
Engenheira Ambiental Hélinah Cardoso Moreira .....	175
Engenheiro Civil e Ambiental Herbert Beywinkler.....	176
Doutor Hubert Baier.....	177
Doutor Jens Giersdorf.....	178
Professor Doutor Psicólogo José Luiz Crivelatti de Abreu .....	179
Doutor Engenheiro Civil Kai Münnich .....	180
Engenheiro Civil Karlgünter Eggersmann.....	181
Engenheira Agrônoma Mestre Kátia Goldschmidt Beltrame.....	182
Professor Doutor Engenheiro Klaus Fricke.....	183
Administrador e Especialista em Gestão de Negócios Lauro Raphael Acorci Donadell .....	185
Engenheiro Luc A. De Baere.....	186
Gestor Empresarial Lucas Aparecido Rodrigues.....	187
Geólogo Mestre Luiz Gustavo Gallo Vilela .....	188
Dipl.-Germanística Lutz Hoffmann .....	189
Engenheiro Civil Magnus Martins Caldeira.....	190
Engenheiro Civil Marcelo de Paula Neves Lelis .....	191
Engenheiro Civil e Especialista em Engenharia Ambiental Marcelo Foelkel Patrão .....	192
Engenheira Agrônoma Maria Thelen-Jüngling .....	193
PhD. Doutor Markus Bux.....	194
Engenheiro Civil Michael Balhar.....	195
Químico Michael Ludden.....	196
Mestre em Geografia Olga Kasper .....	197
Doutor Engenheiro Professor Mestre Paulo Belli Filho .....	198
Tecnóloga Roberta da Silva Leone.....	199
Engenheiro Agrícola e Civil Mestre Rodrigo Miguel Pereira Batalha.....	200
Doutora Engenheira Agrônoma Sabine Robra.....	201
Engenheiro Civil e Ambiental Sebastian Wanka.....	202
Bióloga Simone Neiva Rodella .....	203
Professor Doutor Tacio Mauro Pereira de Campos.....	204

Engenheiro Civil Theo Schneider .....	205
CEO Thomas Schlien .....	206
Engenheiro Mecânico Thomas Turk .....	207
Engenheiro Victor Bustani Valente .....	208
Vinicius Silva de Macedo .....	209
Engenheiro Mecânico Wilhelm Winkelmann .....	210



### **Prof. Dr. Eng. (Dipl. Geol.) Klaus Fricke**

Formado em Geologia, doutor em Engenharia, professor catedrático e pesquisador da TUBS (Universidade Técnica de Braunschweig). Diretor de Departamento de Resíduos Sólidos e Recursos naturais, presidente do CReED, editor da revista técnica MUELL und ABFALL, atua há mais de trinta anos em gestão de resíduos na Alemanha e em outros continentes. Foi responsável pela implantação, em 1983, da coleta seletiva e compostagem de orgânicos na Alemanha. Autor de diversas publicações técnicas, tem participação como assessor técnico do Governo Alemão pelos Ministérios de Educação e Pesquisa, de Cooperação e de Meio Ambiente. Trabalhou no Brasil como consultor em projetos da ANEEL, Caixa Econômica Federal, FINEP, CETESB e para Prefeituras. Coordena o curso de mestrado em Engenharia Urbana ministrado pela cooperação PUC e TUBS.



### **Eng. Civil e Adv. Christiane Pereira**

Engenheira civil e advogada. Especialista em Direito Ambiental e Gestão Empresarial. Doutoranda pela Technische Universitaet Braunschweig. Atua como coordenadora da Universidade Técnica de Braunschweig e do Instituto CReED no Brasil. Com trajetória profissional formada pela pluralidade de eixos temáticos, foi como diretora de empresas que abarcou responsabilidades voltadas para o nível tecnológico e jurídico, participando de projetos nacionais e internacionais. Atuação especializada em tratamento de resíduos sólidos urbanos com atividades desenvolvidas juntamente a órgãos públicos e entidades privadas, desde o desenvolvimento de conceitos tecnológicos, implementação de plantas de tratamento de RSU até avaliação técnica e desenvolvimento de análise de risco.



### **Esp. em Direito Aguinaldo Leite**

Graduado em Direito. Especialista em Direito Público Administrativo e Constitucional, *marketing* político, planejamento estratégico, gestão de crise e construção de cenários políticos. Ocupou cargos políticos como assessor na Câmara Municipal de Jundiaí, Chefe de gabinete na Câmara dos Deputados, com participação ativa nas discussões da Política Nacional de Resíduos Sólidos nas Comissões do Congresso Nacional tendo atuado ainda como Secretário de Governo do município de Porto Feliz. Desde janeiro de 2013 é o secretário de Serviços Públicos de Jundiaí, responsável pela elaboração e implantação do Plano Municipal de Saneamento e de Resíduos Sólidos e ainda é secretário Executivo do Consórcio Intermunicipal de Aterro Sanitário (CIAS). Especializado em Gerenciamento de Contratos de Parcerias-Público-Privadas de serviços de saneamento, pela London School of Economic and Political Science.



### **Eng. Civil Antonio Marius Zuccarelli Bagnati**

Engenheiro Civil, formado pela UFRGS em 1975, possui uma carreira consolidada na iniciativa privada, atuando na execução de obras de infraestrutura urbana e na área de tecnologia, como dirigente da empresa Tecno Acción do Brasil. Atualmente ocupa a Diretoria de Operações da Companhia Melhoramentos da Capital, Florianópolis, Santa Catarina (Comcap), tendo exercido a Presidência por dez anos em diferentes períodos, a partir de 1986. É pós-graduado em Direito Ambiental pela Faculdade de Ciências Sociais de Florianópolis (CESUSC) e em Consultoria Ambiental pela Universidad Europea Miguel de Cervantes.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

ISBN: 978-3-924618-46-9