

Ensaio nas Ciências Agrárias e Ambientais 5

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2019

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)

Ensaio nas Ciências Agrárias e
Ambientais 5

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E59 Ensaios nas ciências agrárias e ambientais 5 [recurso eletrônico] /
Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. –
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Ensaios nas
Ciências Agrárias e Ambientais; v. 5)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
Modo de acesso: World Wide Web.
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-041-4
DOI 10.22533/at.ed.414191601

1. Agricultura. 2. Ciências ambientais. 3. Pesquisa agrária -
Brasil. 4. Sustentabilidade. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan
Mario.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ensaio nas Ciências Agrárias e Ambientais*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu Volume V, apresenta, em seus 24 capítulos, conhecimentos aplicados nas Ciências Agrárias.

O uso adequado dos recursos naturais disponíveis na natureza é importante para termos uma agricultura sustentável. Deste modo, a necessidade atual por produzir alimentos aliada à necessidade de preservação e reaproveitamento de recursos naturais, constitui um campo de conhecimento dos mais importantes no âmbito das pesquisas científicas atuais, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas, assim como, de atividades de extensionismo que levem estas descobertas até o conhecimento e aplicação dos produtores.

As descobertas agrícolas têm promovido o incremento da produção e a produtividade nos diversos cultivos de lavoura. Nesse sentido, as tecnologias e manejos estão sendo atualizadas e, em constantes mudanças para permitir os avanços na Ciências Agrárias. A evolução tecnológica, pode garantir a demanda crescente por alimentos em conjunto com a sustentabilidade socioambiental.

Este volume traz artigos alinhados com a produção agrícola sustentável, ao tratar de temas como manejo de recursos hídricos e recursos vegetais, manejo do solo, produção de biogás entre outros temas. Temas contemporâneos de interrelações e responsabilidade socioambientais tem especial apelo, conforme a discussão da sustentabilidade da produção agropecuária e da preservação dos recursos hídricos.

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

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar aos profissionais das Ciências Agrárias e áreas afins, trazer os conhecimentos gerados nas universidades por professores e estudantes, e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e manejos que contribuíssem ao aumento produtivo de nossas lavouras, assim, garantir incremento quantitativos e qualitativos na produção de alimentos para as futuras gerações de forma sustentável.

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AJUSTE MENSAL DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI PARA O MUNICÍPIO DE IGUATU/CE	
Gilbenes Bezerra Rosal	
Eugenio Paceli de Miranda	
Rayane de Moraes Furtado	
Tatiana Belo de Sousa Custódio	
Cristian de França Santos	
DOI 10.22533/at.ed.4141916011	
CAPÍTULO 2	10
ANÁLISE ESPACIAL DE EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA-PB	
Thiago César Cavalcante de Vasconcelos	
Estéfanny Dhesirée Paredes Pereira	
Francicléa Avelino Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.4141916012	
CAPÍTULO 3	18
ANÁLISE MACROSCÓPICA DAS IMPLICAÇÕES DO USO E COBERTURA DO SOLO SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NA CIDADE DE JI-PARANÁ (RO), SUDOESTE DA AMAZÔNIA	
Victor Nathan Lima da Rocha	
Nara Luísa Reis de Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.4141916013	
CAPÍTULO 4	31
APLICAÇÃO DO MODELO LANDGEM PARA ESTIMAÇÃO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA/PB	
Dayse Pereira do Nascimento	
Monica Carvalho	
Susane Eterna Leite Medeiros	
DOI 10.22533/at.ed.4141916014	
CAPÍTULO 5	42
COMPORTAMENTO DA FREQUÊNCIA DE BATIDAS DE UM CARNEIRO HIDRÁULICO ARTESANAL E SEU EFEITO NO RENDIMENTO	
Letícia Passos da Costa	
Dian Lourençoni	
Mariela Regina da Silva Pena	
Vinícius Pereira Mello Ribeiro	
César Barbieri	
Otávio Augusto Carvalho Nassur	
DOI 10.22533/at.ed.4141916015	
CAPÍTULO 6	47
CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO GERADOR DE OZÔNIO DE BAIXO CUSTO	
Luiz Antônio Pimentel Cavalcanti	
Laércio Ferro Camboim	
DOI 10.22533/at.ed.4141916016	

CAPÍTULO 7 60

DESEMPENHO DE TENSÍÔMETRO DIGITAL NO MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO EM UM CAMBISSOLO

Luiz Eduardo Vieira de Arruda
Sérgio Luiz Aguilar Levien
Vladimir Batista Figueirêdo
José Francismar de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.4141916017

CAPÍTULO 8 67

DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE AGREGADO DE MANEJO DE AGROTÓXICOS PARA A REGIÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO – BA

Rogério César Pereira de Araújo
Victor Emmanuel de Vasconcelos Gomes
Rosângela Santiago Gomes

DOI 10.22533/at.ed.4141916018

CAPÍTULO 9 83

EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO SOBRE A POROSIDADE, MICRO E MACROPOROSIDADE EM SOLOS DE TEXTURAS DISTINTAS

Debora Oliveira Gomes
Cleidiane Alves Rodrigues
Aline Noronha Costa
Layse Barreto de Almeida
Fernanda Paula Sousa Fernandes
Vicente Bezerra Pontes Junior
Michel Keisuke Sato
Daynara Costa Vieira
Augusto José Silva Pedroso

DOI 10.22533/at.ed.4141916019

CAPÍTULO 10 89

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL POR TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Jhon Lennon Bezerra da Silva
Geber Barbosa de Albuquerque Moura
Fabrício Marcos Oliveira Lopes
Ênio Farias de França e Silva
Pedro Francisco Sanguino Ortiz
Frederico Abraão Costa Lins

DOI 10.22533/at.ed.41419160110

CAPÍTULO 11 99

MANEJO, PERCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CISTERNAS DO MUNICÍPIO DE ARARUNA-PB

Lucas Moura Delfino
Anderson Oliveira de Sousa
Luiz Ricardo da Silva Linhares
Felipe Augusto da Silva Santos

DOI 10.22533/at.ed.41419160111

CAPÍTULO 12	107
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BARRAGEM DE MORRINHOS, EM POÇÕES – BAHIA	
Vivaldo Ribeiro dos Santos Filho Zorai de Santana dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.41419160112	
CAPÍTULO 13	111
O REDD+ NA PERSPECTIVA DOS DIREITOS DE PROPRIEDADE	
Fernanda Coletti Pires Sônia Regina Paulino	
DOI 10.22533/at.ed.41419160113	
CAPÍTULO 14	128
PRECARIZAÇÃO DO TRABALHO E INJUSTIÇA AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO EM UMA COOPERATIVA DE CATADORES E CATADORAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS NO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA (SC)	
Viviane Kraieski de Assunção Vitória de Oliveira de Souza Mario Ricardo Guadagnin Leandro Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.41419160114	
CAPÍTULO 15	144
PROJEÇÃO FUTURA DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA MESORREGIÃO SUL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Gabriela Rodrigues da Costa Henderson Silva Wanderley	
DOI 10.22533/at.ed.41419160115	
CAPÍTULO 16	150
PROPOSTA DE ÍNDICE DE SALINIDADE DOS RESERVATÓRIOS DO ALTO JAGUARIBE ALÉM DA VARIABILIDADE TEMPORAL	
Geovane Barbosa Reinaldo Costa Helba Araújo de Queiroz Palácio José Ribeiro de Araújo Neto Daniel Lima dos Santos Diego Pereira de Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.41419160116	
CAPÍTULO 17	161
“REFLEXÕES E RELATOS DE EXPERIÊNCIAS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM PROJETO DE EXTENSÃO: (RE) PENSAR A QUALIDADE SANITÁRIA NO COMÉRCIO DE CARNES DOS MERCADOS PÚBLICOS DE CAVALEIRO E DAS MANGUEIRAS, JABOATÃO DOS GUARARAPES/ PE, 2015-2017”	
Aline Clemente de Andrade Yuri Carlos Tiétre de Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.41419160117	

CAPÍTULO 18 170

RELAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E CAPACIDADE DE SUPORTE EM ÁREA IRRIGÁVEL NUMA FAZENDA EM QUIXERAMOBIM-CE

Francisca Luiza Simão de Souza
Francisco Ezivaldo da Silva Nunes
Edmilson Rodrigues Lima Junior
Roberta Thércia Nunes da Silva
Rildson Melo Fontenele
Antonio Geovane de Morais Andrade

DOI 10.22533/at.ed.41419160118

CAPÍTULO 19 176

RESSUSCITAÇÃO CARDIO-RESPIRATÓRIA DE NEONATOS CANINOS NASCIDOS POR CESARIANA – RELATO DE CASO

Sharlenne Leite da Silva Monteiro
Jacqueline Alves Itame
Ana Clara Batisti Pasquali
Camila Lima Rosa
Luciana do Amaral Oliveira
Carla Fredrichsen Moya Araújo

DOI 10.22533/at.ed.41419160119

CAPÍTULO 20 182

SERVIÇO SOCIAL: UMA INTERLOCUÇÃO COM A QUESTÃO AMBIENTAL

Adeilza Clímaco Ferreira
Amanda Pereira Soares Lima
Carla Montefusco de Oliveira
Joselma Ramos Carvalho Santos
Maria Angélica Barbosa Marinho de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.41419160120

CAPÍTULO 21 192

CARACTERIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO/SE

Neuma Rúbia Figueiredo Santana
Antenor de Oliveira Aguiar Netto
Inajá Francisco de Souza
Carlos Alexandre Borges Garcia

DOI 10.22533/at.ed.41419160121

CAPÍTULO 22 200

PRODUÇÃO DE FITOMASSA POR *Cratylia argentea* (FABACEAE) EM SISTEMA DE ALEIAS NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS

Walter José Rodrigues Matrangelo
Virgínio Augusto Diniz Gonçalves,
Savanna Xanti Gomes
Iago Henrique Da Silva
Leila de Castro Louback Ferraz
Mônica Matoso Campanha

DOI 10.22533/at.ed.41419160122

CAPÍTULO 23 214

PROJETO LEITENERGIA: UM MODELO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA DE ORIGEM DE RESÍDUOS DE ANIMAIS E SUBPRODUTOS DA AGROINDÚSTRIA: NO SUDOESTE DO PARANÁ

Carila Tiele Valendolfe Costa
Almir Antônio Gnoatto
Ana Claudia Schllemer dos Santos
Cleverson Busso
Izamara de Oliveira
Diane Pilonetto

DOI 10.22533/at.ed.41419160123

CAPÍTULO 24 218

SISTEMAS TELEMÉTRICOS PARA MEDIÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Sérgio Francisco Pichorim
Adriano Ricardo de Abreu Gamba
Karol de Freitas Champaoski
Leonardo Henrique dos Santos Castilho

DOI 10.22533/at.ed.41419160124

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 233

APLICAÇÃO DO MODELO LANDGEM PARA ESTIMAÇÃO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA/PB

Dayse Pereira do Nascimento

Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Monica Carvalho

Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Susane Eterna Leite Medeiros

Programa de Pós-Graduação em Física, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.

RESUMO: Na sociedade moderna, uma das grandes preocupações é a conservação do meio ambiente, para isso se faz necessário adotar políticas de gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) para evitar a contaminação ambiental. Atualmente a forma mais adequada para disposição final dos RSU são os Aterros Sanitários, sendo esta uma fonte de energia elétrica que utiliza o biogás gerado nas células do aterro com baixos níveis de emissão de gases do efeito estufa. A cidade de João Pessoa/PB destina seus RSU no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa que possui potencial para geração de energia elétrica. Tendo este trabalho o objetivo de aplicar o modelo *Landfill Air Emissions*

Estimation Model (LandGem, versão 2.01) para estimar a geração de biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, e discutir sua aplicabilidade e limitações. Considerou-se que o método USEPA não é o mais adequado por considerar que a geração de resíduos é considerada por meio de um valor constante ao longo dos anos. Trabalhos futuros das autoras incluem a aplicação de outros modelos, mais refinados (que levem em consideração a geração de biogás ao longo dos anos, por meio de uma aproximação da cinética de decomposição do resíduo), para estimativa de geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo landgem; Gás de aterro; Biogás; Aterro; João Pessoa.

ABSTRACT: In modern society, one of the main concerns is the conservation of the environment, so it is necessary to adopt policies for the proper management of solid urban waste (MSW) to avoid environmental contamination. Currently, the most suitable way to dispose of MSW is the Sanitary Landfills, which is a source of electricity that uses the biogas generated in the cells of the landfill with low levels of greenhouse gas emissions. The city of *João Pessoa/PB* destines its MSW in the Metropolitan Sanitary Landfill of *João Pessoa* that has a potential for electricity generation. The objective of this paper is to

apply the Landfill Air Emissions Estimation Model (LandGem, version 2.01) to estimate biogas generation at the Metropolitan Sanitary Landfill of *João Pessoa*, and discuss its applicability and limitations. It was considered that the USEPA method is not the most appropriate considering that the generation of waste is considered through a constant value over the years. Future works of the authors include the application of other, more refined models (which take into account the generation of biogas over the years, by means of an approximation of the decomposition kinetics of the residue), for the estimation of biogas generation in the metropolitan sanitary landfill of *João Pessoa/PB*.
KEYWORDS: Landgem model; Landfill gas; Biogas; Landfill; João Pessoa.

1 | INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações mundiais é a conservação dos recursos naturais, que vem incluindo a crescente geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) pelas sociedades modernas. A geração de RSU e seu gerenciamento já foram tema de encontros como a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a Agenda 21 (NAÇÕES UNIDAS, 2016), que propuseram, dentre outros temas, estratégias para o gerenciamento dos RSU compatível com a conservação dos recursos naturais (BRITO FILHO, 2015). No Brasil, foi instituída a Lei N° 12.305/2010 (BRASIL, 2010a) regulamentada pelo Decreto N° 7.404/2010 (BRASIL, 2010b). A Lei N° 12.305/2010 trata do sistema de logística reversa, coleta seletiva e a disposição adequada dos RSU e a forma mais adequada para a disposição dos RSU é por meio da utilização de aterros sanitários.

A disposição final de RSU produz emissões de gases de efeito estufa GEE, e com o aumento da população e do grau de urbanização, torna-se clara a necessidade de um correto gerenciamento da sua disposição final (BRASIL, 2016).

Um aterro sanitário pode ser considerado como um reator biológico, no qual as principais entradas são RSU e água, e as principais saídas são gases e o chorume (BRASIL, 2016). A decomposição da matéria orgânica ocorre por dois processos, o primeiro é o de decomposição aeróbia e o segundo, a decomposição anaeróbia.

A geração de gás de aterro inicia-se após a disposição de RSU e pode-se encontrar presença de metano (CH_4) nos três primeiros meses, continuando ao longo da vida útil do aterro e estendendo-se até 20 ou 30 anos depois do encerramento das disposições de RSU no aterro. O gás de aterro é constituído principalmente de metano e dióxido de carbono (CO_2), e outros gases em quantidades menores (traços).

O aterro sanitário pode ser uma fonte alternativa de geração de energia, aproveitando a energia presente no gás de aterro produzido pela degradação dos RSU para a sua conversão em: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade (BRASIL, 2016).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos

Especiais, um modelo de geração de gás de aterro fornece uma estimativa do metano ou gás de aterro gerado a partir de um volume de resíduos específico, ao longo do tempo. O modelo consegue descrever, de maneira simples, as alterações que ocorrem durante a decomposição dos resíduos em um aterro (ABRELPE, 2013). Em inglês, utiliza-se o termo *landfill gas* (LFG) para se referir especificamente ao gás gerado em aterros. Porém, observa-se que na literatura em português tanto o termo “gás de aterro” quanto “biogás” são utilizados para se referir ao gás produzido pela decomposição dos resíduos sólidos em aterros.

Existem diferentes métodos descritos na literatura para estimar a geração de biogás em aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, sendo estes métodos descritos pelo *modelo landgem* (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA), método do grupo intergovernamental para as mudanças climáticas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC) e o *Environment Agency of England and Wales* (Agência Ambiental do Reino Unido) desenvolveu o modelo GasSim (CABRERA, 2011), que podem ser categorizados em modelos de ordem zero, de primeira ordem, multifásicos e de segunda ordem (OONK, BOOM, 1995).

Os modelos de primeira ordem são os modelos de geração de biogás mais comumente aplicados atualmente. O modelo *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGEM) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*) é um modelo de primeira ordem considerado como padrão, sendo aplicado para estimar as emissões de biogás em aterros regulados pela USEPA, dentro da Lei do Ar Limpo (*Clean Air Act*).

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aplicar o modelo *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGem, versão 2.01) para estimar a geração de biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, e discutir sua aplicabilidade e limitações.

3 | METODOLOGIA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos visa, principalmente, contribuir com a qualidade de vida da sociedade, dependendo basicamente de políticas públicas que tenham em seu escopo aspectos legais, financeiros, sociais e ambientais. João Pessoa possui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PPGIRS), no qual apresenta a situação atual do município de João Pessoa e expõe o prognóstico

com diretrizes, estratégias, metas, programas, projetos e custos (JOÃO PESSOA, 2014).

A cidade de João Pessoa possui coleta diária dos RSU gerados pela população. Todo esse resíduo é destinado ao Aterro Metropolitano de João Pessoa, sendo este uma concessão entre sete municípios (João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, Lucena, Conde e Cruz do Espírito Santo). Existe também pontos de coleta de material reciclável e em alguns bairros da capital existe o serviço de coleta diretamente nas residências de material reciclável. É feita a coleta de RSU e varrição das ruas, praças, feiras livres, mercados públicos e áreas de difícil acesso. A Autarquia de Especial de Limpeza Urbana (EMLUR) é o órgão responsável pela limpeza dispondo de pessoal qualificado, patrimônio e receitas próprias, autonomia financeira, administrativa e técnica (AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA, 2014).

3.2 Modelo LandGem (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*)

O modelo *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGem) é utilizado para estimar a geração de biogás em aterros sanitários, sendo mundialmente empregado, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (USEPA, 2005; FAOUR; REINHART; YOU, 2007; FRIIS, 2012).

A emissão de metano (CH_4) em aterros de RSU pode ser estimada por meio de modelos matemáticos que preveem a degradação de RSU ao longo do tempo. O modelo se baseia em reações de decaimento de primeira ordem, onde o potencial de emissão de metano é calculado com base na quantidade depositada de RSU a cada ano. Aplicou-se o *Landfill Air Emissions Estimation Model* (LandGem, versão 2.01), que possui duas categorias. Uma para aterros que não possuem sistema de controle do biogás (emissões não controladas) e outra metodologia empregada em aterros que possuem um sistema de captura de biogás para queima ou para geração de energia (TARAZONA, 2010). As descrições seguem USEPA (2005), Faour, Reinhart e You (2007), Tarazona (2010) e Friis (2012).

3.2.1 Emissões não controladas

As emissões não controladas em aterros sanitários de RSU são encontradas em aterros que não possuem um sistema de controle dos gases, onde muitas vezes ocorre apenas a sua queima. Não há caldeiras a vapor, turbinas a gás ou motores a combustão interna. Para calcular a quantidade de CH_4 produzido é utilizada a Equação 1.

$$Q_{\text{CH}_4} = L_0 \cdot R \cdot (e^{-Kc} - e^{-Kt}) \quad (1)$$

Sendo que Q_{CH_4} refere-se a quantidade de gás produzido (m^3/ano), L_0 é o

potencial de geração de CH₄ por tonelada de lixo (m³/t_{RSU}⁻¹), R é a média de resíduos depositados no aterro (t_{RSU}/ano), K é a constante de geração de CH₄ (ano⁻¹), t é o tempo decorrido desde o início da disposição do resíduo no aterro (anos) e c é o tempo desde o encerramento do aterro (anos). Para aterros ativos, .

Para casos nos quais não se tem informações detalhadas dos resíduos depositados no aterro de RSU, a média de resíduos depositados no aterro, R, é calculado a partir da quantidade de total de lixo recebido pela idade do aterro.

O coeficiente K varia em função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento do processo anaeróbico, PH e temperatura. Estas variáveis irão determinar o tempo de geração de metano e o tempo de vida dos aterros (CABRERA, 2011). Os valores de referência de K dependem da pluviosidade local (USEPA, 2005): para pluviometria inferior a 635 mm/ano, K = 0,02; para pluviometria superior a 635 mm/ano, K = 0,04.

Para o potencial de geração de metano (L₀), o valor recomendado pela USEPA (2005) é de 100 m³/ton de CH₄ por tonelada de resíduo depositado. Porém Chiemchaisri e Visvanathan (2008) argumentam que, para países em desenvolvimento, com alta parcela de material biodegradável no RSU, deve-se utilizar L₀ = 170 m³/ton e K = 0,05. Aqui optou-se por seguir estritamente as recomendações do modelo USEPA.

A equação 1 foi criada inicialmente para estimar a geração de metano e não para estimar as emissões, pois parte do metano gerado é capturado e degradado nas camadas superficiais do solo. No entanto, dada a dificuldade em avaliar essa degradação que ocorre nas camadas superficiais considera-se que todo metano gerado é emitido para a atmosfera e formará o biogás emitido pelo aterro sanitário (CABRERA, 2011).

Como a composição do biogás varia com o tempo, o modelo USEPA toma como composição típica do biogás: 55% CH₄ e 40% CO₂. Para estimar a quantidade de CO₂ emitido para a atmosfera é utilizada a equação 2.

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \cdot (C_{CO_2\%} / C_{CH_4}) \quad (2)$$

Para conhecer as emissões de outros *i-ésimos* componentes utiliza-se a equação 3, na qual Q_i é a emissão anual do contaminante *i* (kg/ano), PM_i é a emissão anual (m³/ano), M_i é o peso molecular do contaminante (g/gmol) e T é a temperatura do biogás (caso não se tenha dados disponíveis adota-se igual a 25°C a 1 atm).

$$UM_i = Q_i \cdot \left[\frac{PM_i \cdot 1atm}{8,205 \cdot 10^{-5} \cdot 1000 \cdot (273 + T)} \right] \quad (3)$$

3.2.2 Estimativa de emissões de gases controlados

Aplica-se a casos onde exista a instalação de um sistema de captura de biogás para queima em tocha ou para a produção de energia elétrica.

Os sistemas de captação não apresentam eficiência de 100%, já que parte do biogás produzido é emitido diretamente para atmosfera. No caso de desconhecer a eficiência do sistema, o método EPA sugere adotar o valor de 75% de eficiência de captação. Os dispositivos de controle e/ou utilização do gás gerado no aterro sanitário devem ser considerados. O método USEPA fornece um conjunto de dados padrão mostrados na Tabela 1, onde a eficiência do sistema de controle depende do dispositivo de controle empregado em cada aterro sanitário.

Dispositivo de controle	Contaminante	(%)
Tocha	COV	99,2
Motores de combustão interna	COV	97,2
Caldeiras	COV	98,0
Turbina a gás	COV	94,4

Tabela 1 – Eficiência do sistema de controle

COV – Composto orgânico volátil.

Fonte: adaptado de Cabrera (2011).

Para estimar os valores de emissão de CH_4 e CO_2 , utilizam-se as equações 4 e 5, respectivamente:

$$EC_{CH_4} = \left(NC_{CH_4} \cdot \left(1 - \frac{n_{col}}{100} \right) \right) + \left(NC_{CH_4} \cdot \frac{n_{col}}{100} \cdot \left(1 - \frac{n_{cont}}{100} \right) \right) \quad (4)$$

$$EC_{CO_2} = UM_{CO_2} + \left(UM_{CH_4} \cdot \frac{n_{col}}{100} \cdot 2,75 \right) \quad (5)$$

Onde EC_{CH_4} são as emissões controladas de metano (kg/ano), NC_{CH_4} são as emissões não controladas de metano (kg/ano), n_{col} é a eficiência do sistema de captação (75% *default*), e n_{cont} é a eficiência do dispositivo de controle (Tabela 1). Na Equação 5, EC_{CO_2} se refere às emissões controladas de CO_2 (kg/ano), UM_{CH_4} são as emissões não controladas de CO_2 (kg/ano) e 2,75 se refere à proporção entre os pesos moleculares de CO_2 e CH_4 .

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a EMLUR, o ASMJP recebeu, desde o início de suas atividades até 30/06/2016, 3.655.841,55 toneladas de RSU (PIMENTEL, 2017). A Tabela 2 mostra o quantitativo anual de RSU recebidos pelo Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/PB, entre 2003 e 2015.

RESÍDUOS SÓLIDOS (toneladas)								
Ano	Alhandra	Santa Rita	Conde	Cabedelo	Bayeux	João Pessoa	Outros	Total anual
2003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	414.543,88
2004	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	421.795,81
2005	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	466.503,31
2006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	525.731,20
2007	n.d.	31.937,00	10.232,00	26.383,00	23.486,00	397.393,00	9.194,00	498.625,00
2008	n.d.	51.925,66	10.973,21	38.895,26	27.026,65	330.479,94	12.592,53	471.893,25
2009	n.d.	36.342,56	10.549,45	35.361,04	24.132,27	329.370,03	9.740,16	445.495,51
2010	n.d.	28.853,81	9.752,04	32.503,51	23.025,71	392.818,98	10.824,51	497.778,56
2011	n.d.	37.017,99	11.621,15	32.778,68	28.699,79	411.910,20	11.315,13	533.342,94
2012	n.d.	43.586,93	12.195,70	31.403,80	30.067,13	431.108,46	21.867,43	570.229,45
2013	2.354,39	66.080,60	7.820,34	37.495,36	36.778,13	460.925,91	31.640,83	643.095,56
2014	5.297,24	64.546,87	11.813,45	34.296,97	27.555,75	506.784,40	69.541,43	719.836,11
2015	4.940,67	67.125,34	8.619,53	49.335,25	32.650,23	478.415,40	17.837,04	658.923,46
Total	12.592,30	427.416,76	93.576,87	318.452,87	253.421,66	3.739.206,32	194.553,06	6.867.794,04

Tabela 2 – Resíduos sólidos urbanos recebidos pelo aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB, por município, entre 2003 e 2006, fornecidos pela EMLUR e entre 2007 e 2015, por Pimentel

n.d. – informação detalhada por município não disponível.

Fonte: EMLUR, 2016; PIMENTEL, 2017.

A Tabela 3 mostra a estimativa da geração anual de CH₄ e CO₂, aplicando o modelo USEPA para aterros controlados, para o caso do município de João Pessoa/PB.

Ano	Aterro Controlado					
	UM _{CH₄} kg/ano	CM _{CH₄} kg/ano	Q _{CH₄} [*] m ³ /ano	UM _{CO₂} kg/ano	CM _{CO₂} kg/ano	Q _{CO₂} [*] m ³ /ano
2003	1.355.508,04	347.010,06	2.071.461,97	2.711.016,08	3.080.700,09	1.506.517,80
2004	2.657.865,85	680.413,66	4.061.700,75	5.315.731,70	10.797.580,01	2.953.964,18
2005	3.909.157,48	1.000.744,31	5.973.901,16	7.818.314,95	15.880.952,25	4.344.655,39
2006	5.111.385,26	1.308.514,63	7.811.123,11	10.222.770,52	20.765.002,61	5.680.816,81
2007	6.266.473,02	1.604.217,09	9.576.306,57	12.532.946,03	25.457.546,62	6.964.586,59
2008	7.376.269,13	1.888.324,90	11.272.276,18	14.752.538,27	29.966.093,35	8.198.019,04
2009	8.442.549,52	2.161.292,68	12.901.745,88	16.885.099,05	34.297.857,44	9.383.087,91
2010	9.467.020,46	2.423.557,24	14.467.323,16	18.934.040,92	38.459.770,62	10.521.689,57
2011	10.451.321,32	2.675.538,26	15.971.513,28	20.902.642,63	42.458.492,85	11.615.646,02
2012	11.397.027,19	2.917.638,96	17.416.723,25	22.794.054,37	46.300.422,94	12.666.707,82
2013	12.305.651,40	3.150.246,76	18.805.265,73	24.611.302,80	49.991.708,80	13.676.556,90
2014	13.178.647,94	3.373.733,87	20.139.362,69	26.357.295,89	53.538.257,27	14.646.809,23
2015	14.017.413,81	3.588.457,93	21.421.148,95	28.034.827,61	56.945.743,59	15.579.017,42

Tabela 3 - Geração anual de CH₄ e CO₂, segundo o modelo USEPA para aterros controlados, para o caso de João Pessoa/PB

* CH₄: 0,668 kg/m³; * CO₂: 1,842 kg/m³.

Fonte: USEPA, 2003.

A Tabela 4 mostra os valores das emissões de CH₄ e CO₂ obtidas desde o início das atividades no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/PB em 2003, considerando-o como aterro não controlado, bem como a taxa de geração utilizando o método USEPA.

Ano	Aterro não controlado		Aterro controlado	
	EC _{CH₄} (m ³ /ano)	EC _{CO₂} (m ³ /ano)	EC _{CH₄} (m ³ /ano)	EC _{CO₂} (m ³ /ano)
2003	3.100.990,97	580.140,81	2.071.461,97	519.476,13
2004	6.080.390,35	1.137.533,97	4.061.700,75	1.018.583,32
2005	8.942.965,81	1.673.071,43	5.973.901,16	1.498.120,23
2006	11.693.298,07	2.187.610,17	7.811.123,11	1.958.854,23
2007	14.335.788,27	2.681.973,56	9.576.306,57	2.401.522,59
2008	16.874.664,95	3.156.952,68	11.272.276,18	2.826.833,68
2009	19.313.990,84	3.613.307,60	12.901.745,88	3.235.468,08
2010	21.657.669,40	4.051.768,59	14.467.323,16	3.628.079,70
2011	23.909.451,01	4.473.037,28	15.971.513,28	4.005.296,79
2012	26.072.939,00	4.877.787,79	17.416.723,25	4.367.722,99
2013	28.151.595,41	5.266.667,80	18.805.265,73	4.715.938,26
2014	30.148.746,54	5.640.299,61	20.139.362,69	5.050.499,81
2015	32.067.588,25	5.999.281,11	21.421.148,95	5.371.943,02

Tabela 4 - Geração anual de CH₄ e CO₂, segundo o modelo USEPA para aterros não-controlados, para o caso de João Pessoa/PB.

Fonte: USEPA, 2003.

A Figura 1 mostra a curva de geração de biogás, CH₄, dependendo do modelo USEPA aplicado, considerando o aterro não controlado ou controlado.

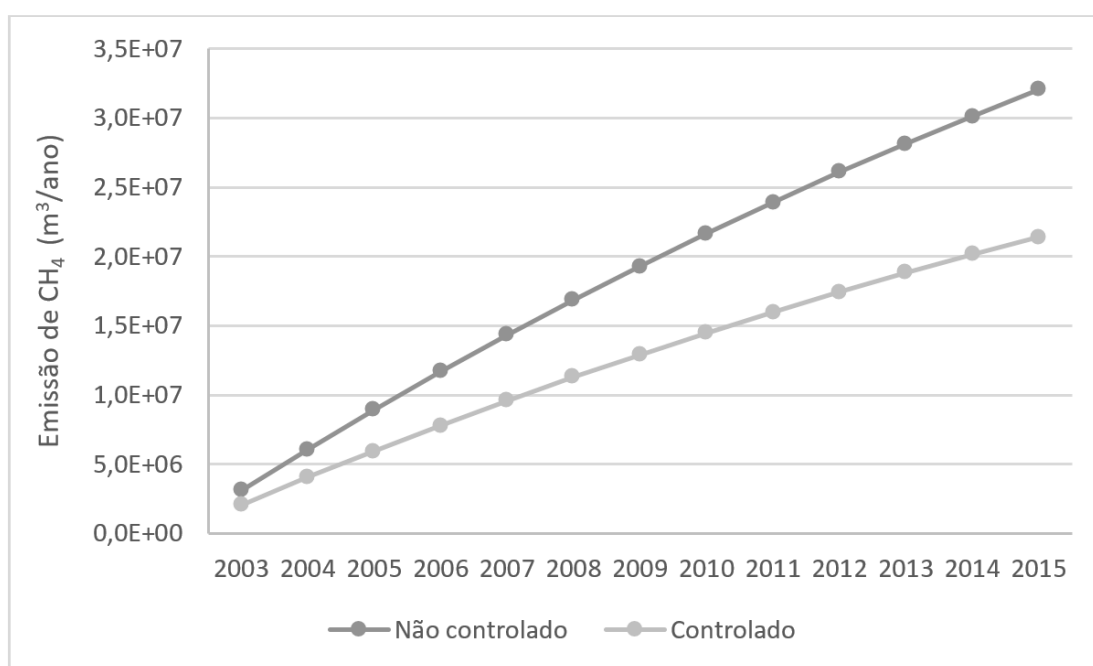


Figura 1 - Geração anual de biogás, de acordo com os modelos USEPA, para o aterro sanitário metropolitano de João Pessoa

Observa-se na Figura 1 que apesar da diferença entre as curvas, se comportam de modo similar. O método USEPA foi desenvolvido para ser um método rápido e fácil de ser aplicado, para estimar de maneira geral a taxa de geração de biogás em um aterro, baseado no modelo mais simples possível disponível que fosse consistente com os princípios fundamentais (VIGIL, 1998).

Segundo Abrelpe (2013), justamente por causa das incertezas embutidas na estimativa de L_0 e K , os cálculos das taxas de geração de biogás ficam ao redor de $\pm 50\%$, exceto se o modelo puder ser calibrado com os dados reais a partir de um sistema de coleta de gás razoavelmente abrangente.

Finalmente, considerou-se que o método USEPA não é, portanto, o mais adequado por conceber que a geração de resíduos é considerada por meio de um valor constante ao longo dos anos (MENDES; MAGALHÃES SOBRINHO, 2008; DARÁS *et al.*, 2013).

5 | COMENTÁRIOS FINAIS

Neste trabalho aplicou-se o modelo da USEPA (LandGEM) para estimar a geração de biogás (gás de aterro) no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa, a partir de dados reais de resíduos sólidos urbanos coletados pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), desde que o aterro entrou em funcionamento (2003).

Se os termos de L_0 e K possuísssem menores incertezas associadas, o modelo de decaimento de primeira ordem prediria a geração de biogás com relativa precisão. Porém sabe-se que os parâmetros variam grandemente, e são difíceis de estimar precisamente em um aterro específico.

Trabalhos futuros das autoras incluem a aplicação de outros modelos, mais refinados (que levem em consideração a geração de biogás ao longo dos anos, por meio de uma aproximação da cinética de decomposição do resíduo), para estimativa de geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB.

6 | AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Projeto Universal, nº 475879/2013-9 e Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 303199/2015-6.).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE, **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2013.

AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - EMLUR. Quantitativo de resíduos recebidos pelo aterro sanitário metropolitano de João Pessoa. Protocolo 201516909. João Pessoa: EMLUR, 2016.

AUTARQUIA ESPECIAL MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIS) de João Pessoa**. João Pessoa: EMLUR, vol. 1 (Diagnóstico), 2014.

BRASIL. Decreto 7.404/2010. 2010b. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 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.

BRASIL. Lei Nº 12.305/2010. 2010a. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário. 2016. 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: 11 nov. 2016.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

CABRERA, E. G. *Análisis de Productos y Procesos en un Vertedero R.S.U. para su Aprovechamiento Energético*. Relatório, Engenharia Técnica Industrial, Universidade de Sevilha. Sevilha, Espanha, 2011.

CHIEMCHAISRI, C.; VISVANATHAN, C. Greenhouse gas emission potential of the municipal solid waste disposal sites in Thailand. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 58, n. 5, p. 629-635, 2008.

DARÁS, F. G.; MENDOZA, F. J. C.; MARTÍNEZ, F. R.; ARANDA, G. *Análisis comparativo entre los modelos de generación de biogás aplicados a las emisiones de un relleno sanitario en México*. In: SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS, 5, 2013, Argentina. **Anais...** Argentina: REDISA, 2013.

FAOUR, A. A.; REINHART, D. R.; YOU, H. First-order kinetic gas generation model parameters for wet landfills. **Waste Management**, v. 27, n. 7, p. 946-953, 2007.

FRIIS, R. H. **The Praeger Handbook of Environmental Health**. [s.l.]: ABC-CLIO, 2012.

JOÃO PESSOA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. João Pessoa: [s.n.], 2014.

MENDES, L. G. G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Comparação entre métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. **Revista Biociências**, v. 13, 2008.

NAÇÕES UNIDAS. Sustainable development knowledge platform. 2016. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

OONK, H.; BOOM, T. Validation of landfill gas formation models. **Studies in Environmental Science**, v. 65, p. 597-602, 1995.

PIMENTEL, C. H. L. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB - à luz das rotas tecnológicas**. Recife: UFPE, 2017.

TARAZONA, C. F. **Estimativa de Produção de Gás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbano**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. 2005. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2016.

VIGIL, S. A. **Evaluation of the US EPA recommended approach to predicting air emissions from pulp and paper industry landfills.** TECHNICAL BULLETIN NO. 790. Research Triangle Park, N.C.: National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement Inc., 1998.

SOBRE OS ORGANIZADORES

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

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

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-041-4

