



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

BRUNO HENRIQUE CRESPO PORTO

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS
DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS: O CASO DO
CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA
PARA AGRICULTURA FAMILIAR AJURICABA**

PUBLICAÇÃO: 167/2019

**Brasília/DF
Fevereiro/2019**

2019		Porto, B.H.C. Impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás: o caso do Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar Ajuricaba	
-------------	--	---	--

BRUNO HENRIQUE CRESPO PORTO

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS:
O CASO DO CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA PARA AGRICULTURA
FAMILIAR AJURICABA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronegócios, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronegócios.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Guimarães Soares

**Brasília/DF
Fevereiro/2019**

PORTO, B.H.C. **Impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás:** o caso do Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar Ajuricaba. 2019, 176 f. Dissertação. (Mestrado em Agronegócios) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

Documento formal, autorizando reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

PB898i Porto, Bruno Henrique Crespo
IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS: O CASO DO CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA PARA
AGRICULTURA FAMILIAR AJURICABA / Bruno Henrique Crespo
Porto; orientador João Paulo Guimarães Soares. -- Brasília,
2019.
160 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Agronegócios) --
Universidade de Brasília, 2019.

1. Agricultura familiar. 2. Energia Renovável . 3.
Sustentabilidade. 4. Mecanismos de cooperação econômica. 5.
Economia de escala. I. Soares, João Paulo Guimarães,
orient. II. Título.

BRUNO HENRIQUE CRESPO PORTO

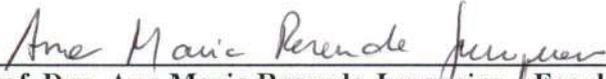
**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS: O
CASO DO CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA PARA AGRICULTURA FAMILIAR
AJURICABA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronegócios, da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronegócios.

Aprovada pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. João Paulo Guimarães Soares – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) - Universidade de Brasília (UnB) - (ORIENTADOR)



Prof. Dra. Ana Maria Resende Junqueira – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) - Universidade de Brasília (UnB) – Examinadora Interna



Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira Pires – Faculdade de Tecnologia (FT) - Universidade de Brasília (UnB) – Examinador Externo

Brasília/DF, 13 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Agronegócios da Universidade de Brasília, pela oportunidade de estudar em uma instituição pública, gratuita e de qualidade. Ao meu orientador, Dr. João Paulo, pela amizade, ensinamentos e incentivo ao desenvolvimento deste trabalho. Aos queridos colegas e professores da Universidade, pelos ensinamentos e valiosas contribuições, especialmente aos professores Dr. Mauro Del Grossi, Dr. Armando Caldeira, Dra. Ana Maria Junqueira e Dr. Karim Thomé.

À Embrapa Suínos e Aves, Embrapa Meio Ambiente e Embrapa Cerrados, centros de excelência em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Agradeço especialmente ao pesquisador Dr. Airton Kunz, que conta com uma equipe técnico-científica altamente qualificada e é uma das principais referências brasileiras em produção de biogás, ao pesquisador Dr. Geraldo Stachetti Rodrigues, pelos ensinamentos sobre o Sistema Ambitec Agroenergia, e ao MSc. Juaci Malaquias, pela colaboração no processamento das análises estatísticas.

Ao Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás), instituição de fundamental importância para a inserção do biogás à matriz energética brasileira e cuja colaboração foi imprescindível ao desenvolvimento deste estudo. Agradeço especialmente à MSc. Daiana Martinez pelas informações e apoio na coleta de dados de campo no Condomínio Ajuricaba.

Aos agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba, pelos ensinamentos e pela disponibilização de valiosas informações.

À Secretaria de Agricultura Familiar do Ministério da Agricultura, pelo incentivo ao desenvolvimento deste projeto.

À Search Technology Inc. pela disponibilização de licença gratuita de utilização do software Vantage Point®.

DEDICATÓRIA

Aos amigos de infância, Escola Agrotécnica (atual IFSM), UFRuralRJ, São Paulo e Brasília: Alê, Alfredo, André, Babi, Bernhard, Beto, Bico, Cami, Carlão (*in memorian*), Ceará, Clarinha, Cynthia, Debora, Douglas, Eurípedes, Felipe, Filipe, Gabi, Gaga, Gaúcho, Gija, Gladin, Guigo, Guilherme, Hamu, Isaac, Ísis, Iuri, Jacaré, Jaquito, Juke, Juliano, Lambari, Leo, Ligia, Lírio, Lizia, Maicon, Marcelo, Mhateus, Merin, Moda, PA, Pati, Patiti, Pedrin, Piá, Rafael, Raquel, Regis, Renatão, Ronaldão, Ronan, Rose, Rosimar, Rubens, Sonia, Tácito, Tato, Telminha, Tunico, Tia, Tiaguinho, Thiago, Tite, Tonhão, Tuti, Tuco, Vanessa, Vinicim, Willian, Zé Cláudio, Zé Marcos.

À toda minha família, pela afeto. À minha avó Anair (*in memorian*), por transmitir sempre serenidade, alegria e amor. Ao meu avô Casinho (*in memorian*), pela risadas, amizade e amor. Ao meus pais, Dijalma e Cleide, e às minhas irmãs, Ise e Thati, pelo amor. Aos pequenos sobrinhos Bia e Lipe, pela grande alegria que irradiam.

À Renata, meu amor, pelo apoio e companheirismo.

*Educação não transforma o mundo.
Educação muda as pessoas.
Pessoas transformam o mundo.*

Paulo Freire

RESUMO

O aproveitamento energético de resíduos orgânicos agrossilvopastoris pode contribuir para a mitigação de impactos ambientais e para a agregação de valor ao agronegócio brasileiro. Os dejetos gerados pela pecuária, em grande parte desenvolvida em estabelecimentos familiares rurais, podem ser valorizados por meio de tratamento em reatores denominados biodigestores, que permitem a obtenção de fertilizante orgânico e biogás. Enquanto a aplicação de fertilizantes orgânicos propicia melhora nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, o biogás apresenta potencial de comercialização e geração de energia térmica, elétrica e veicular em áreas rurais. Diante desse contexto, esta pesquisa tem como objetivos identificar na literatura o estado da arte das pesquisas brasileiras sobre a produção de biogás no âmbito da agricultura familiar e analisar o desempenho ambiental e socioeconômico da produção de biogás em um condomínio de agroenergia constituído por agricultores familiares. Os resultados foram organizados em duas partes: primeiro, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura brasileira, englobando publicações indexadas à base *Web of Science* entre 2008 e 2017. A revisão sistemática buscou caracterizar como a temática central deste trabalho tem sido investigada nas pesquisas nacionais, quais as principais abordagens e enfoques adotados, bem como lacunas e tendências de pesquisa emergentes. Na segunda parte, a partir da aplicação do Sistema Ambitec Agroenergia, foram apresentados os resultados da análise dos impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás em um condomínio de agroenergia. Na revisão sistemática de literatura foram recuperados e classificados 362 artigos, tendo como principais substratos estudados: efluentes de agroindústrias (32%), dejetos animais (31%), esgoto doméstico (15%) e resíduos sólidos urbanos (13%). As publicações sobre efluentes de agroindústrias abordam o uso de vinhaça (18%), glicerina de usinas de biodiesel (6%) e resíduos da produção de fécula de mandioca (5%). Já as pesquisas sobre dejetos animais têm como objeto o manejo de dejetos da suinocultura (15%) e bovinocultura (12%) e, em menor escala, da avicultura (3%), caprinocultura (2%) e ovinocultura (1%). As publicações também foram classificadas em grupos de tendências atuais de pesquisa, como pré-tratamento da biomassa (8%) co-digestão (9%), microalgas (6%), purificação (12,2%) e reforma do biogás (7,3%). Os resultados indicam que a produção científica com foco na produção de biogás relacionada à agricultura familiar ainda é reduzida (4%). Não obstante, os dados apontam que mecanismos de cooperação econômica, como condomínios de agroenergia, podem gerar ganhos de economia de escala e favorecer a inclusão socioeconômica de agricultores familiares à cadeia produtiva do biogás. Em relação à análise dos impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás no Condomínio Ajuricaba, embora haja possibilidade de melhora na performance do projeto, foram observados resultados positivos (índice geral de impacto da atividade = 2,1 em escala multicritério ± 15 e PIT Geral 7,1%) Foram obtidos resultados estatisticamente positivos para 7 critérios da dimensão ambiental (índice de impacto ambiental = 2,6 em escala multicritério ± 15 e PIT Ambiental 9,0%): uso de insumos agrícolas e recursos; consumo de energia; geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola; segurança energética; emissões à atmosfera; qualidade do solo e qualidade da água. Já na dimensão socioeconômica (índice de impacto socioeconômico = 1,7 em escala multicritério ± 15 e PIT Socioeconômico 5,8%), foram encontrados resultados estatisticamente positivos para os critérios: produtividade; integração produtiva no conceito de biorrefinaria/ecopark; capacitação; qualificação e oferta de trabalho; geração de renda; disposição de resíduos e relacionamento institucional.

Palavras-chave: agronegócio; sustentabilidade; energia renovável; biomassa residual; biometano; pequenos agricultores; cooperação econômica; custos de transação.

ABSTRACT

The use of agricultural waste as a source of energy might contribute to the mitigation of environmental impacts and to the aggregation of value to Brazilian agribusiness. The waste produced by livestock, that predominantly comes from family farms, can be used as a raw material to create organic fertilizer and biogas in digesters. While organic fertilizers improve the chemical, physical and biological properties of the soil, biogas can be used to generate heat and energy in rural areas. In this context, this study aims to present a systematic review of the current literature on biogas production by smallholdings farms. The study also analyzes the environmental and socioeconomic performance of biogas production in an agroenergy condominium of small farmers. The results were divided into two parts. First, a systematic review of Brazilian publications was performed using academic papers indexed between 2008 and 2017 via the Web of Science database. The systematic review addressed the central themes of the research including the main approaches, gaps and trends. Secondly, with the application of the Ambitec Agroenergy System, the analysis of the environmental and socioeconomic impacts of production of biogas in an agroenergy condominium were presented. In the systematic review of the literature, 362 articles were recovered and classified, with the following substrates being studied: agroindustrial effluents (32%), animal manure (31%), domestic sewage (15%) and solid urban waste (13%). Publications on agroindustrial effluents cover the use of vinasse (18%), glycerine from biodiesel plants (6%) and residues from the production of cassava starch (5%). The research on animal manure covers swine (15%) and cattle (12%) and, to a lesser extent, poultry (3%), goat (2%) and sheep (1%). The papers were also systematized into groups of current research trends, such as pre-treatment of biomass (8%) co-digestion (9%), microalgae (6%), purification (12.2%) and biogas reform (3%). The results indicate that research on biogas production related to family farming is still reduced (4%). None the less, the data indicates that mechanisms of economic cooperation, such as agroenergy condos, may generate economies of scale, furthermore, favoring the socioeconomic inclusion of family farmers in the biogas production chain. Regarding the analysis of the environmental and socioeconomic impacts of the biogas production in the Ajuricaba Condominium, although positive results were observed (general impact index of the activity = 2.1 in a multicriteria scale ± 15 and PIT General 7.1%), there was a possibility of amendment in the project performance. Statistically positive results were obtained for 7 environmental criteria (environmental impact index = 2.6 on a multicriteria scale ± 15 and Environmental PIT 9.0%): use of agricultural inputs and resources; energy consumption; self-generation, utilization, reuse and autonomy in the agricultural area; energy security; emissions to the atmosphere; soil quality and water quality. In the socioeconomic aspect (socioeconomic impact index = 1.7 on a multicriteria scale ± 15 and Socioeconomic PIT 5.8%), statistically positive results were found for the following criteria: productivity; productive integration in the concept of biorefinery / Ecopark; training; qualification and availability of work; income generation; waste disposal and institutional relationship.

Keywords: *agribusiness; sustainability; renewable energy; biomass waste; biomethane; small farms; economic cooperation; transaction costs.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Rotas tecnológicas de aproveitamento energético da biomassa.	32
Figura 2 - Rota tecnológica de produção de biogás e biometano.	33
Figura 3 - Modelos de biodigestores utilizados no Brasil.	34
Figura 4 - Evolução da oferta interna de biogás (ktep) na entre 2010 e 2017.	37
Figura 5 - Mapa do potencial de produção de biogás (ktep/ano) pela avicultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, em 2016 (Legenda: Tabela 8).	40
Figura 6 - Mapa do potencial de produção de biogás (ktep/ano) pela bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, em 2016 (Legenda: Tabela 9).	42
Figura 7 - Mapa do potencial de produção de biogás (ktep/ano) pela suinocultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, em 2016 (Legenda: Tabela 10).	44
Figura 8 - Gráficos de emissões brasileiras de GEE pela agropecuária e Mudanças no uso da terra e florestas, entre 1995 e 2014.	46
Figura 9 - Três pilares da sustentabilidade.	47
Figura 10 - Estrutura do Conjunto de Dimensões, Aspectos e Critérios do Sistema Ambitec Agroenergia.	55
Figura 11 - Matriz de ponderação do Sistema Ambitec Agroenergia para o critério geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola.	56
Figura 12 - Evolução do número de publicações brasileiras sobre biogás de 2008 a 2017.	61
Figura 13 - Distribuição do número de publicações sobre a produção de biogás a partir de dejetos animais (2008 a 2017).	62
Figura 14 - Correlação entre as 25 palavras-chave mais utilizadas pelos 362 artigos.	63
Figura 15 - Esquematização de um condomínio de agroenergia.	68
Figura 16 - Esquematização de um complexo de biodigestão anaeróbia e geração de energia.	69
Figura 17 - Mapa do Condomínio Ajuricaba.	71
Figura 18 - Índices agregados de desempenho ambiental e socioeconômico das 14 propriedades do Condomínio Ajuricaba - Sistema Ambitec Agroenergia.	75
Figura 19 - Rotas tecnológicas de utilização do biogás e do biometano.	80
Figura 20 - Mapa de solos da microbacia do Córrego Ajuricaba.	82
Figura 21 - Agrupamento dos produtores com similaridade nos critérios ambientais (Sistema Ambitec Agroenergia).	83
Figura 22 - Agrupamento dos produtores com similaridade nos critérios socioeconômicos (Sistema Ambitec Agroenergia).	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volume de crédito e contratos do Pronaf na safra 2017/2018.	22
Tabela 2 - Volume de crédito e contratos por linha do Pronaf na safra 2017/2018.	23
Tabela 3 - Orientação técnica recebida pelos agricultores familiares por região em 2006.	24
Tabela 4 - Oferta de energia da biomassa no ano civil de 2017.	25
Tabela 5 - Especificação técnica do biometano.	36
Tabela 6 - Caracterização da produção de biogás no Brasil em 2015.	37
Tabela 7 - Estimativas de potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos animais e vinhaça no Brasil.	38
Tabela 8 - Potencial de produção de biogás pela avicultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, no ano de 2016 (Top 15).	40
Tabela 9 - Potencial de produção de biogás pela bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, no ano de 2016 (Top 15).	42
Tabela 10 - Potencial de produção de biogás pela suinocultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, no ano de 2016 (Top 15).	44
Tabela 11 - Caracterização inicial dos agricultores familiares.	53
Tabela 12 - Impacto da atividade e coeficientes de alteração.	54
Tabela 13 - Fatores de ponderação relativos à escala da ocorrência dos impactos.	54
Tabela 14 - Fatores de ponderação de importância dos critérios de impacto da atividade.	57
Tabela 15 - Dados de caracterização geral do município e dos agricultores familiares de Marechal Cândido Rondon/PR.	58
Tabela 16 – Classificação dos artigos quanto ao enfoque teórico e relevância científica pelo Índice Ordinatio.	64
Tabela 17. Dados gerais da produção de biogás no Condomínio Ajuricaba.	72
Tabela 18 - Dados gerais dos agricultores familiares.	73
Tabela 19 – Índice Geral de Impacto da Atividade, PIT geral e resultados resultados gerados pelo Sistema Ambitec Agroenergia.	77
Tabela 20 – Índices de Impacto Ambiental, PIT ambiental e resultados resultados gerados pelo Sistema Ambitec Agroenergia.	79
Tabela 21 - Índices de Impacto Socioeconômico, PIT Socioeconômico e resultados gerados pelo Sistema Ambitec Agroenergia.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AMBITEC AGRO	Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental de Inovações Tecnológicas Agropecuárias
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ATER	Assistência Técnica e Extensão Rural
CIBiogás	Centro Internacional de Energias Renováveis
CONDOMÍNIO AJURICABA	Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar Ajuricaba
COP15	15ª Conferência das Partes
COP21	21ª Conferência das Partes
DAP	Declaração de Aptidão ao Pronaf
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMATER/PR	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do efeito estufa
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
iNDC	Intended Nationally Determined Contribution
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
InOrdinatio	Índice Ordinatio
IRENA	International Renewable Energy Association
ITR	Imposto Territorial Rural
MCR	Manual de Crédito Rural

MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
PAA	Programa de Aquisição de Alimentos
PIT	Percentual de Impacto da Tecnologia individual por produtor
Plano ABC	Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
PNAE	Programa Nacional de Alimentação Escolar
PNATER	Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PPA	Plano Plurianual
PROÁLCOOL	Programa Nacional de Álcool
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PRONAF ECO	Linha de Crédito para Investimento em Energia Renovável e Sustentabilidade Ambiental
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNCR	Sistema Nacional de Crédito Rural
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WBA	World Bioenergy Association

LISTA DE SÍMBOLOS

atm	Atmosfera
°C	Grau Celsius
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂ S	Gás Sulfídrico
mg/dm ³	Miligramas por decímetro cúbico
Nm ³	Normal metro cúbico
N ₂	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
tep	Tonelada equivalente de petróleo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	17
3 JUSTIFICATIVA	19
4 OBJETIVOS	19
5 REFERENCIAL TEÓRICO	20
5.1 Agricultura familiar brasileira	20
5.2 Principais fontes de agroenergia	25
5.3 Digestão anaeróbia e biodigestores	28
5.3.1 Breve Histórico	28
5.3.2 Aspectos tecnológicos da produção de biogás	32
5.4 Produção atual de biogás no Brasil	36
5.5 Potencial de produção de biogás pela agropecuária brasileira	38
5.5.1 Avicultura	39
5.5.2 Bovinocultura de leite	41
5.5.3 Suinocultura	43
5.6. Impactos ambientais da produção animal	45
5.7 Análise de impactos ambientais e socioeconômicos	46
6 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	50
6.1 Revisão Sistemática de Literatura	50
6.2 Análise de impactos ambientais e socioeconômicos do Condomínio Ajuricaba	52
6.2.1 Identificação e seleção dos produtores, localização e método de coleta de dados	52
6.2.2 Sistema Ambitec Agroenergia	53
6.2.3 Caracterização do local	58
6.2.4 Análise estatística dos dados	59
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
7.1 Agricultura familiar e produção de biogás: estado da arte na academia brasileira	61
7.2.1 Visão geral sobre as publicações brasileiras relacionadas a produção de biogás	61
7.2.2 Agricultura familiar, produção de biogás e formas alternativas de organização empresarial	64
7.2 Análise de impactos ambientais e socioeconômicos do Condomínio Ajuricaba	70
7.2.1 Dados gerais de caracterização	70
7.2.2 Análise de Impactos Ambientais e Socioeconômicos	74
7.2.2.1 Análise de Impactos Ambientais	78
7.2.2.2 Análise de Impactos Socioeconômicos	84
8 CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS	93

APÊNDICE A - Potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos da avicultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião brasileira, em 2016.....	114
APÊNDICE B - Potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos da bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais por mesorregião brasileira em 2016.	117
APÊNDICE C - Potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos da suinocultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião brasileira, em 2016.....	120
APÊNDICE D – Memória de cálculo do potencial de produção de biogás a partir de dejetos da avicultura em empreendimentos familiares rurais, em 2016.	123
APÊNDICE E - Memória de cálculo do potencial de produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais, em 2016.....	123
APÊNDICE F - Memória de cálculo do potencial de produção de biogás a partir de dejetos da suinocultura em empreendimentos familiares rurais, em 2016.	123
APÊNDICE G - Artigos completos (362) sobre a produção de biogás no Brasil publicados em periódicos indexados à base Web of Science entre 2008 e 2017.	124
APÊNDICE H – Questionário de levantamento de informações complementares de agricultores familiares produtores de biogás	147
ANEXOS	149
ANEXO A - Matrizes de ponderação de impactos ambientais e socioeconômicos.....	149
ANEXO B – Especificação dos critérios de impactos ambiental.	156
ANEXO C – Especificação dos critérios de impacto socioeconômico.....	158

1 INTRODUÇÃO

A história sobre o biogás¹ remonta a três mil anos atrás, quando era utilizado para o aquecimento de água na Assíria e, segundo relatos de Marco Polo, foi produzido em tanques de esgoto cobertos na China (DE MELO; JANNUZZI; BAJAY, 2016). No entanto, o biogás passou a ser considerado objeto de pesquisa científica somente no século XIX, quando foi constatado que o gás inflamável produzido na decomposição da matéria orgânica em anaerobiose (ausência de oxigênio) era metano (CHASNYK; SOŁOWSKI; SHKARUPA, 2015).

A digestão anaeróbia constitui um processo realizado por microrganismos que transformam a matéria orgânica em fertilizante orgânico e biogás, composto principalmente por metano (50-80%) e dióxido de carbono (30-50%) (GRANDO *et al.*, 2017). É considerado um dos processos biológicos mais sustentáveis e acessíveis de tratamento da biomassa residual, tendo em vista que permite a mitigação de impactos ambientais (GRANDO *et al.*, 2017) e apresenta grande potencial de aplicação no meio rural (KHALID *et al.*, 2011). Além de equacionar aspectos relacionados ao saneamento de resíduos orgânicos agrossilvopastoris², a digestão anaeróbia pode adicionar valor às cadeias produtivas do agronegócio (BARICHELLO *et al.*, 2015; CANTRELL *et al.*, 2008; RUSSO; VON BLOTTNITZ, 2017) pela transformação de passivos ambientais em ativos energéticos (ALMEIDA *et al.*, 2017; BLEY JUNIOR, 2015; GALVÃO, 2017).

De acordo com a Associação Mundial de Bioenergia (WBA, 2017), a produção mundial de biogás apresentou taxa média de crescimento de 11,2% entre 2000 e 2014, ano em que foi atingido o volume de 58,7 bilhões de normal metros cúbicos (Nm³)³, ou 7.219 ktep⁴, com a liderança da União Europeia (49%), China (25,6%), Estados Unidos (14,4%), Tailândia (2,2) e Índia (1,4%). No Brasil, ainda que haja elevada produção de biomassa residual passível de utilização como matéria prima para a produção de biogás (FERREIRA *et al.*, 2018; SALOMON; LORA, 2009; SENAI/PR, 2016; SILVA DOS SANTOS *et al.*, 2018), a participação efetiva na matriz energética segue muito aquém do potencial energético.

¹ O biogás é definido como o gás bruto obtido a partir da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos (ANP, 2015).

² Resíduos orgânicos agrossilvopastoris são os resíduos sólidos orgânicos gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos aqueles resíduos relacionados a insumos utilizados nessas atividades (ANP, 2015; BRASIL, 2010b).

³ Normal metro cúbico (Nm³) é a unidade de medida utilizada para medição o volume de gases, sob pressão de 1,013 bar, temperatura de 0 °C e 0% de umidade relativa do ar.

⁴ Kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep), considerando índice de conversão de biogás em energia de 1,428 kWh/m³ (CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010).

Entretanto, a produção brasileira de biogás vem apresentando expansão nos últimos anos, tendo sido a fonte originada a partir da biomassa residual com a maior variação percentual (162%) entre 2014 e 2017, passando de 73 para 191 ktep (EPE, 2016a, b, 2018a, b).

Desde o final da década passada, há em curso uma série de ações públicas e privadas voltadas à consolidação da cadeia produtiva do biogás no Brasil, visando o aproveitamento do potencial energético de resíduos orgânicos agrossilvopastoris, urbanos e industriais (GAHB, 2017). Podem ser destacadas iniciativas implementadas no âmbito da agricultura familiar, como a implementação de condomínios de agroenergia voltados à produção e comercialização de biogás (PASQUAL *et al.*, 2018; WINCKLER; RENK; LESSA, 2017). No entanto, as novas funções e atividades desenvolvidas nos espaços rurais devem ser devidamente analisadas, visando a disponibilização de informações acerca do desempenho ambiental, econômico e social (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

Diante deste cenário, o presente trabalho apresenta resultados da análise de impactos ambientais e socioeconômicos do aproveitamento energético da biomassa residual por agricultores familiares de um condomínio de agroenergia. Além disso, por meio de uma revisão sistemática de literatura, caracteriza o estado da arte das publicações acadêmicas brasileiras sobre a produção de biogás no âmbito da agricultura familiar, recuperando pesquisas publicadas no período de 2008 a 2017.

A dissertação foi estruturada em 8 seções. Inicialmente, são apresentadas a problemática da pesquisa, justificativa e objetivos geral e específicos. Em seguida, são contextualizadas teoricamente as temáticas centrais do estudo: agricultura familiar brasileira; principais fontes de agroenergia; digestão anaeróbia e biodigestores; produção atual de biogás no Brasil; potencial de produção de biogás pela agropecuária brasileira; impactos ambientais da produção animal e análise de impactos ambientais e socioeconômicos. Após a apresentação do referencial teórico, são detalhados os métodos e técnicas adotados na pesquisa. Na seção 7, os resultados são apresentados e discutidos e, a seguir, são elencadas as conclusões. Por fim, são listadas as referências bibliográficas, apêndices e anexos.

2 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

Há algum tempo, muitos trabalhos acadêmicos vêm apontando transformações nas funções e atividades desenvolvidas no meio rural e incorporando conceitos teóricos como multifuncionalidade e pluriatividade (DEL GROSSI; GRAZIANO DA SILVA, 2002; KAGEYAMA, 2004; SCHNEIDER, 2007). Além da produção agrícola, estes estudos

sustentam que as áreas rurais desempenham papel fundamental para a moradia, turismo, lazer, prestação de serviços, atividades industriais e serviços ligados à preservação ambiental.

As demandas atuais da sociedade relacionadas com a mitigação de mudanças climáticas também refletem essas mudanças e geram novas oportunidades de negócios, como àquelas voltadas ao suprimento de recursos energéticos a partir da utilização da biomassa (JENSEN *et al.*, 2012). Além da produção de biodiesel, carvão vegetal e etanol, há elevado potencial de aproveitamento energético de resíduos agrossilvopastoris para a produção de biogás por meio da digestão anaeróbia, sobretudo nas cadeias da produção animal e do setor sucroacooleiro (RIBEIRO; RAIHER, 2013). No entanto, limitações relacionadas ao ambiente institucional e ao planejamento e gerenciamento dos modelos de negócio podem afetar a viabilidade dos projetos de produção de biogás no Brasil (SILVA DOS SANTOS *et al.*, 2018).

No mesmo sentido, embora alguns estudos apontam o desempenho positivo de projetos de produção de biogás de pequeno porte (KINYUA; ROWSE; ERGAS, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2011; SMITH; SCHROENN GOEBEL; BLIGNAUT, 2014; WHITE; KIRK; GRAYDON, 2011), pode ocorrer inviabilidade dada a reduzida escala de produção (KLAVON *et al.*, 2013). Entretanto, as desvantagens competitivas inerentes à escala podem ser reduzidas pela formação de mecanismos alternativos de cooperação econômica (VALENTINOV, 2007), como condomínios de agroenergia constituídos por empreendimentos familiares rurais. Neste cenário, devem ser estudadas alternativas para aproveitamento energético do elevado volume de resíduos orgânicos agrossilvopastoris gerados nos estabelecimentos familiares rurais brasileiros, caracterizados pela expressiva participação nas cadeias da produção animal (IBGE, 2006).

A problemática da pesquisa está centrada na análise dos impactos ambientais e socioeconômicos do aproveitamento energético de resíduos agrossilvopastoris para a produção de biogás no âmbito de um condomínio de agroenergia da agricultura familiar. O presente estudo vislumbra responder aos seguintes questionamentos:

- 1) Qual o estado da arte da pesquisa acadêmica sobre a produção de biogás no âmbito da agricultura familiar brasileira?
- 2) Os agricultores familiares do condomínio de agroenergia estão sendo realmente beneficiados pela produção de biogás a partir de dejetos animais?
- 3) A produção de biogás no âmbito do condomínio de agroenergia pode representar uma alternativa realmente sustentável, levando-se em conta as diferentes dimensões que compõem esse termo?

- 4) Quais os impactos ambientais e socioeconômicos que os próprios agricultores familiares do condomínio de agroenergia têm percebido a partir do aproveitamento energético de dejetos animais para a produção de biogás?

3 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, o agronegócio brasileiro vem apresentando rápido desenvolvimento e tornou o país um dos maiores produtores mundiais de *commodities* agropecuárias, tanto pela incorporação de novas áreas como pela adoção de inovações tecnológicas. No entanto, é de fundamental importância que o crescimento da produção agrícola brasileira esteja concatenado com iniciativas de agregação de valor e de conservação dos recursos naturais (OECD/FAO, 2015).

Embora tenham trazido vantagens econômicas pela redução dos custos de produção e aumento na competitividade do setor, os modelos intensivos ampliaram o potencial de impacto ambiental das cadeias de produção animal (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009). Devem ser desenvolvidas estratégias voltadas à gestão sustentável dessas cadeias, que apresentam grande produção de dejetos com elevado potencial energético e poluidor, capazes de causar impactos negativos na água, solo e atmosfera (MATHIAS, 2014; RIBEIRO; RAIHER, 2013).

Dentre as iniciativas passíveis de implementação, pode ser destacado o aproveitamento energético de dejetos animais por meio da digestão anaeróbia, que pode contribuir para a diversificação da matriz energética e melhorar o desempenho ambiental e econômico dos sistemas produtivos. Entretanto, embora haja grande potencial técnico de aproveitamento energético de resíduos, há escassez de publicações acadêmicas sobre a produção de biogás no âmbito da agricultura familiar e de mecanismos alternativos de cooperação econômica.

Diante disso, o presente estudo é justificado pela necessidade de disponibilização de informações científicas com maior grau de detalhamento acerca dos impactos ambientais e socioeconômicos de um condomínio de agroenergia constituído por agricultores familiares.

4 OBJETIVOS

Em sentido amplo, objetiva-se analisar os impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás no âmbito de um condomínio de agroenergia, a partir da percepção dos agricultores familiares.

Em termos específicos, têm-se como objetivos:

- 1) Caracterizar o estado da arte das publicações acadêmicas acerca da produção de biogás pela agricultura familiar brasileira;
- 2) Analisar os impactos ambientais e socioeconômicos observados pelos agricultores familiares do Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar Ajuricaba (Condomínio Ajuricaba) a partir do aproveitamento de dejetos para a produção de biogás.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Agricultura familiar brasileira

A agricultura familiar pode ser compreendida como um mecanismo de organização das atividades produtivas desenvolvidas pelo trabalho predominantemente familiar no âmbito de estabelecimentos agropecuários, responsável por concatenar funções econômicas, ambientais, sociais e culturais (FAO, 2013). Estimativas realizadas a partir de universos distintos de dados apontam que há, no mundo, cerca de 483 milhões de estabelecimentos agropecuários, sendo 475 milhões (98%) familiares (GRAEUB *et al.*, 2016); ou 570 milhões de estabelecimentos agropecuários, dentre os quais 500 milhões (88%) familiares (FAO, 2014; LOWDER; SKOET; RANEY, 2016).

No Brasil, a agricultura familiar constitui 84,4% (4.367.902) dos estabelecimentos agropecuários, ocupa 24% (80,25 milhões de ha) da área agrícola e é responsável por 74,4% (12,3 milhões) das ocupações no meio rural (IBGE, 2006). É formada por dois segmentos, um empresarial, eficiente e rentável, e outro de agricultores familiares pobres ou camponeses, que produz para autoconsumo (GUANZIROLI; DI SABBATO, 2014; VAN DER PLOEG, 2009). Especialmente nas publicações em língua inglesa, é designada por variadas denominações: pequeno agricultor (CAMPANHOLA; VALARINI, 2001; JÚNIOR *et al.*, 2018), pequeno produtor (SILVA *et al.*, 2018), pequena produção familiar (CIPRANDI; FERT NETO, 1996), *family farming* (CÓRDOBA *et al.*, 2018; DEL GROSSI; MARQUES, 2015; MEDINA *et al.*, 2015; RIBEIRO; RAIHER, 2013), *small farm* (MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016; RADA; HELFAND; MAGALHÃES, 2018), *small farmer* (HALL *et al.*, 2009; SENGER; BORGES; MACHADO, 2017), *small family farm* (ALMEIDA; PERES; FIGUEIREDO, 2016), *small family producer* (MARI *et al.*, 2014), *family agriculture* (COIMBRA-ARAÚJO *et al.*, 2014), *family farm* (AGUIAR; DELGROSSI; THOMÉ, 2018; FERNANDES; WOODHOUSE, 2008; FLEXOR; GRISA, 2016), *smallholder* (HERRERA *et al.*, 2018), *smallholder farm* (SIEGMUND-SCHULTZE *et al.*, 2007), *smallholder dairy farm* (HOSTIOU *et al.*, 2015),

small-scale dairy farm (GUSMÃO *et al.*, 2018), *smallholding farm* (PETRINI; ROCHA; BROWN, 2017), *family smallholding* (MAROUN; LA ROVERE, 2014), *small swine producer* (SOUZA *et al.*, 2013), *small rural proprieters* (MATHIAS, 2014), entre outras. No ambiente político-institucional, também apresenta diferentes denominações: empreendimento familiar rural (BCB, 2018a; BRASIL, 2006), unidade familiar de produção (BCB, 2018a), estabelecimento familiar rural (BRASIL, 2018a).

Embora esteja presente no contexto agrário brasileiro desde o período colonial (DELGADO, 2004), a agricultura familiar passou a ser reconhecida como categoria social e política somente a partir de meados da década de 1990, por meio da implementação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), em 1995, e da Lei da Agricultura Familiar (Lei 11.326), em 2006 (FLEXOR; GRISA, 2016; GRISA; SCHNEIDER, 2015). A redemocratização iniciada na década de 1980 propiciou o desenvolvimento de ambiente político-institucional fértil à implementação de políticas públicas, com forte interação entre o Estado e a sociedade civil organizada (GRISA *et al.*, 2017).

A Lei da Agricultura Familiar estabeleceu as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar, que consistia na implementação de políticas agrícolas de crédito rural, comercialização da produção e assistência técnica e extensão rural (Ater) (MEDINA *et al.*, 2015). Para acesso às políticas públicas, os agricultores familiares são previamente identificados a partir do atendimento de alguns requisitos previstos na Lei da Agricultura Familiar e no Manual de Crédito Rural⁵ (MCR), quais sejam: área menor ou igual a quatro módulos fiscais⁶, mão-de-obra predominantemente familiar, renda predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao estabelecimento, direção do estabelecimento pela família (BRASIL, 2006) e renda bruta anual familiar de no máximo R\$ 415 mil, considerando todos os rendimentos recebidos por qualquer componente familiar (BCB, 2018a). A Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP)⁷ constitui o instrumento utilizado para a identificação dos agricultores familiares. Os requisitos de indentificação previstos na Lei da

⁵ O Manual de Crédito Rural (MCR) contém os atos normativos aprovados pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) e divulgados pelo Banco Central do Brasil (BCB) relacionados ao Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) (BRASIL, 2010b).

⁶ A conceituação de módulo fiscal foi inicialmente prevista na Lei nº 6.746/1979 para o cálculo do Imposto Territorial Rural (ITR) e, o valor, que varia de 5 a 110 ha, é fixado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), considerando: o tipo de exploração predominante no município – hortifrutigranjeira, cultura permanente, cultura temporária, pecuária, florestal –, renda obtida no tipo de exploração predominante, outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada e o conceito de "propriedade familiar" (BCB, 2018a)

⁷ A Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) é o instrumento de identificação e qualificação das unidades familiares de produção rural e das suas respectivas associações formalmente organizadas em pessoas jurídicas (BRASIL, 1979).

Agricultura Familiar também subsidiaram a inédita obtenção de informações sobre a agricultura familiar pelo Censo Agropecuário (DELGROSSI; MARQUES; FRANÇA, 2014).

Inicialmente formulado como uma política agrícola ampla de fortalecimento da agricultura familiar, o Pronaf previa as seguintes diretrizes (BRASIL, 1996):

- a) melhorar a qualidade de vida no segmento da agricultura familiar, mediante promoção do desenvolvimento rural de forma sustentada, aumento de sua capacidade produtiva e abertura de novas oportunidades de emprego e renda,
- b) proporcionar o aprimoramento das tecnologias empregadas, mediante estímulos à pesquisa, desenvolvimento e difusão de técnicas adequadas à agricultura familiar, com vistas ao aumento da produtividade do trabalho agrícola, conjugado com a proteção do meio ambiente;
- c) fomentar o aprimoramento profissional do agricultor familiar, proporcionando-lhe novos padrões tecnológicos e gerenciais;
- d) adequar e implantar a infraestrutura física e social necessária ao melhor desempenho produtivo dos agricultores familiares, fortalecendo os serviços de apoio à implementação de seus projetos, à obtenção de financiamento em volume suficiente e oportuno dentro do calendário agrícola e o seu acesso e permanência no mercado, em condições competitivas;
- e) atuar em função das demandas estabelecidas nos níveis municipal, estadual e federal pelos agricultores familiares e suas organizações;
- f) agilizar os processos administrativos, de modo a permitir que os benefícios proporcionados pelo Programa sejam rapidamente absorvidos pelos agricultores familiares e suas organizações;
- g) buscar a participação dos agricultores familiares e de seus representantes nas decisões e iniciativas do Programa;
- h) promover parcerias entre os poderes públicos e o setor privado para o desenvolvimento das ações previstas, como forma de se obter apoio e fomentar processos autenticamente participativos e descentralizados;
- i) estimular e potencializar as experiências de desenvolvimento, que estejam sendo executadas pelos agricultores familiares e suas organizações, nas áreas de educação, formação, pesquisas e produção, entre outras.

Após várias modificações desde a implementação (GHINOI; WESZ JUNIOR; PIRAS, 2018), atualmente o Pronaf é considerado a principal política pública voltada à agricultura familiar, embora constitua estritamente um programa de crédito cujos valores são previstos nos Planos Safra da Agricultura Familiar. Na safra 2017/2018, foram aplicados mais de 21 bilhões de reais por meio de mais de 1 milhão de contratos de crédito (Tabela 1).

Tabela 1 - Volume de crédito e contratos do Pronaf na safra 2017/2018.

Região	Contratos		Valor		Valor médio dos contratos (R\$)
	Unidades	%	R\$	%	
Sul	414.663	39%	12.339.372.777,68	58%	29.757,59
Sudeste	150.366	14%	3.698.888.684,09	17%	24.599,24
Nordeste	395.950	38%	2.211.322.737,73	10%	5.584,85
Centro-Oeste	41.154	4%	1.594.383.344,89	7%	38.741,88
Norte	48.096	5%	1.533.793.676,54	7%	31.890,25
Total	1.050.229	100%	21.377.761.220,93	100%	20.355,33

Fonte: BCB (2018c).

O programa apresenta uma série de linhas de crédito de custeio e investimento (Tabela 2), entre as quais a linha de crédito para investimento em Energia Renovável e Sustentabilidade Ambiental (Pronaf Eco). Pelo Pronaf Eco podem ser financiados projetos de uso de energia solar, da biomassa - incluindo biogás -, eólica, miniusinas de biocombustíveis, entre outros, com taxa de juros de 2,5% ao ano, carência de até 5 anos e prazo de pagamento de até 10 anos (BCB, 2018a).

Tabela 2 - Volume de crédito e contratos por linha do Pronaf na safra 2017/2018.

PRONAF	Contratos		Valor	
	Unidades	%	R\$	%
Agroecologia	530	0.05%	9.611.775,27	0.04%
Agroindústria	736	0.07%	780.551.618,56	3.65%
Custeio	478.859	45.60%	11.649.860.443,41	54.50%
Eco	1.012	0.10%	48.474.994,64	0.23%
Floresta	1.697	0.16%	29.690.494,36	0.14%
Jovem	493	0.05%	5.420.337,77	0.03%
Mais Alimentos	209.182	19.92%	7.363.682.934,66	34.45%
Microcrédito	305.399	29.08%	963.696.778,91	4.51%
Mulher	3.077	0.29%	31.577.910,68	0.15%
Reforma Agrária	22.567	2.15%	156.796.205,26	0.73%
Semiárido	26.333	2.51%	128.184.329,74	0.60%
Outras linhas	344	0.03%	210.213.397,67	0.98%
Total	1.050.229	100.00%	21.377.761.220,93	100.00%

Fonte: BCB (2018c).

Iniciada muito antes da criação do Pronaf, a política de crédito rural brasileira foi implementada visando o financiamento da comercialização de café após a crise de 1929, mas foi consolidada somente em 1965, por meio da implementação do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) (SPOLODOR; MELO, 2003). O SNCR tinha como objetivo estimular a formação de capital e a adoção de tecnologia através do financiamento da produção, da comercialização e de investimentos no setor agrícola, especialmente pelos pequenos e médios produtores rurais (DE CASTRO; TEIXEIRA, 2012). Entretanto, a maior parte dos recursos disponibilizada ao amparo do SNCR desde a sua implementação foi acessada por um grupo reduzido de grandes produtores (DE CASTRO; TEIXEIRA, 2012; HELFAND, 2001; SPOLODOR; MELO, 2003). Pode-se afirmar que o Pronaf melhorou o acesso ao crédito pelos agricultores familiares.

A consolidação do Pronaf também permitiu o retorno de discussões acerca da implementação de políticas de assistência técnica e extensão rural (Ater), sobretudo pela necessidade de elaboração de projeto técnico para acesso ao crédito rural (CASTRO; PEREIRA, 2017) e pela constatação de que os agricultores familiares não dependiam somente de recursos financeiros para a implementação de inovações tecnológicas (PEIXOTO, 2014). Além da oferta de crédito, são necessários programas de melhoria da infraestrutura produtiva e da capacitação técnica dos agricultores familiares (GHINOI; WESZ JUNIOR; PIRAS, 2018).

A implementação da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária (PNATER) (BRASIL, 2010a) e da Agência Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (ANATER) (BRASIL, 2014) constituem avanços importantes, mas deve ser destacada a incapacidade do Estado em promover a universalização dos serviços de Ater aos agricultores familiares no curto prazo (PEIXOTO, 2014). Para a universalização, esse mesmo autor sugere que as entidades públicas de Ater direcionem seus serviços aos agricultores familiares pobres e que haja ambiente institucional favorável à oferta de crédito para a contratação de serviços privados de Ater. No Brasil, a maioria dos agricultores familiares brasileiros não recebe serviços de Ater, seja pública ou privada (Tabela 3). No entanto, na região sul, além da Ater pública, há participação expressiva de empresas integradoras e de cooperativas na oferta de orientação técnica aos agricultores familiares.

Tabela 3 - Orientação técnica recebida pelos agricultores familiares por região em 2006.

Região	Não recebe	Recebe	Pública	Privada	Cooperativas	Empresas integradoras	Outras
Centro-Oeste	77,8%	22,2%	11,5%	5,6%	2,1%	1,1%	2,7%
Nordeste	92,8%	7,2%	4,9%	1,4%	0,3%	0,2%	0,6%
Norte	86,3%	13,7%	10,8%	1,8%	0,9%	0,2%	0,4%
Sudeste	75,4%	24,6%	12,5%	5,8%	4,2%	1,1%	2,4%
Sul	53,0%	47,0%	16,1%	4,1%	14,3%	13,8%	4,5%
Brasil	80,9%	19,1%	9,2%	2,9%	3,8%	3,0%	1,7%

Fonte: IBGE (2006).

As políticas de apoio à comercialização, como os mercados institucionais de aquisição direta de alimentos de empreendimentos familiares rurais, criados pelo Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e pelo Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), apresentam grande capacidade de induzir o desenvolvimento sustentável de cadeias curtas de suprimento de alimentos (ILBERY; MAYE, 2005; RENTING; MARSDEN; BANKS, 2003) que, por sua vez, podem promover o desenvolvimento socioeconômico do meio rural por meio da geração

de emprego e renda (DUARTE; THOMÉ, 2015). Em paralelo, ações públicas ou privadas de identificação de sustentabilidade (Fair Trade, Produto Orgânico do Brasil, Selo Solar) e de segmentos (Selo da Agricultura Familiar, Selo Quilombos do Brasil, Selo Combustível Social) podem trazer informações relevantes e permitir a aproximação de produtores e consumidores, favorecendo o encurtamento das cadeias de suprimentos e a agregação valor à produção.

No entanto, a implementação de políticas agrícolas de crédito, Ater e de apoio à comercialização deve estar concatenada com políticas públicas não-agrícolas, especialmente àquelas de habitação e reforma agrária não exclusivamente agrícola, melhoria da infraestrutura rural, geração de renda e ocupações não-agrícolas, políticas sociais compensatórias ativas e de reordenamento político-institucional para fortalecimento do poder local (DEL GROSSI; GRAZIANO DA SILVA, 2002). Segundo estes autores, promoção do desenvolvimento rural deve ser induzida pela implementação de políticas públicas que considerem não apenas a produção agrícola, mas também a multifuncionalidade dos espaços rurais.

5.2 Principais fontes de agroenergia

Atualmente, o agronegócio brasileiro participa ativamente da matriz energética não apenas como consumidor, mas também como produtor de energia, adicionando ainda mais valor ao PIB agrícola (LAMAS; GIACAGLIA, 2013). Isso pode ser corroborado pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2018b, a), que mostra a participação da biomassa (29,57%) na matriz energética brasileira (Tabela 4).

Tabela 4 - Oferta de energia da biomassa no ano civil de 2017.

Fonte	Produção total (Mtep)	Participação - Matriz energética (%)
Cana-de-açúcar	49,64	17,00
Lenha e carvão vegetal	23,36	8,00
Lixívia	8,66	2,97
Biodiesel	3,37	1,15
Outras biomassas⁸	1,12	0,38
Biogás⁹	0,19	0,07
Total	86,33	29,57

Fonte: EPE (2018ab).

⁸ Capim elefante, casca de arroz, gás de alto forno, resíduos de madeira.

⁹ Produzido a partir de resíduos orgânicos agrossilvopastoris, industriais e urbanos.

A cultura da cana-de-açúcar, caracterizada pela produção em larga escala pela agricultura patronal (MARTINELLI *et al.*, 2010), constitui a principal fonte de agroenergia da matriz energética brasileira, tanto pela produção de etanol (13,85 Mtep) como pelo aproveitamento energético do bagaço (29,13 Mtep) (EPE, 2018b, a). Na safra 2016/2017, a produção estimada foi de 633,26 milhões de toneladas em 8,73 milhões de hectares de área colhida, sendo 37,87 milhões de toneladas de açúcar e 27,76 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2018). Projeções apontam expansão do setor sucroenergético brasileiro pela incorporação de 1,5 a 1,7 milhões de hectares ao longo dos próximos dez anos, além de pequena elevação na produtividade (BRASIL, 2017b).

Além da utilização do bagaço da cana para a geração termelétrica, há elevado potencial técnico de aproveitamento do bagaço e palha para a produção de etanol de segunda geração (CALDEIRA-PIRES *et al.*, 2018; GONÇALVES; SANTOS; MACEDO, 2015; ROSA; GARCIA, 2009) e de utilização da vinhaça para a produção de biogás e biometano (BERNAL *et al.*, 2017; FUESS *et al.*, 2017; MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015; NOGUEIRA *et al.*, 2015).

O aproveitamento da biomassa proveniente de florestas energéticas (carvão e lenha) também apresenta contribuição relevante para a diversificação da matriz energética brasileira (Tabela 4) e redução nas emissões de GEE. As florestas energéticas são caracterizadas por plantios de curta rotação, crescimento rápido e grande densidade populacional de plantas, visando o aumento na produtividade de biomassa (GEYER, W. A., 2006; GEYER, WAYNE, 1989; MITCHELL, 1992). Podem garantir a autossuficiência energética de empreendimentos familiares rurais (SIMIONI *et al.*, 2018) e, no Brasil, são formadas principalmente por plantios de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) e pinus (*Pinus spp.*), mas há também possibilidade de utilização de outras essências florestais (AGROINCONE, 2015; ELOY *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016). Além da produção de carvão e lenha, a utilização da biomassa florestal para a produção de briquetes também constitui uma alternativa à produção de energia com baixos níveis de emissões de GEE (ROUSSET *et al.*, 2011).

Além disso, deve ser destacada a expressiva produção significativa de energia a partir da lixívia (ou licor negro) (Tabela 4), principal resíduo e combustível da produção de papel e celulose, constituído por lignina e outras substâncias (CARDOSO; OLIVEIRA; PASSOS, 2009). Embora haja pesquisas sobre rotas tecnológicas mais eficientes de aproveitamento do conteúdo da lixívia, o principal uso é pela queima direta em caldeiras a vapor para a geração de energia térmica e elétrica (FERREIRA; BALESTIERI, 2015; SANTOS *et al.*, 2014).

Já o biodiesel, introduzido gradativamente na matriz energética brasileira a partir da implementação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), permitiu a redução da utilização de diesel mineral. Atualmente, são adicionados 10% (B10) de biodiesel ao diesel mineral e, possivelmente, serão 15% (B15) a partir de março de 2020 (BRASIL, 2016a). Em 2016, as principais matérias primas utilizadas na produção de biodiesel foram o óleo de soja (79,1%), gordura animal (16,3%), óleo de algodão (1%) e outros materiais graxos (3,5%) (ANP, 2017). Embora a participação dos agricultores familiares ainda seja restrita a comercialização de matérias primas às empresas detentoras do Selo Combustível Social, as aquisições totalizaram R\$ 4,27 bilhões no ano de 2016, sendo 71% deste volume comercializado por cooperativas da agricultura familiar (Brasil, 2017b).

Mesmo que ainda sejam pouco utilizadas na produção de energia, as espécies forrageiras tradicionais como o capim elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) apresentam elevada produção de biomassa e grande conteúdo energético (MENEZES *et al.*, 2016; MORAIS *et al.*, 2009; QUESADA *et al.*, 2004), podendo ser utilizadas na geração termelétrica e também para a produção de biocombustíveis como etanol, bio-óleo e carvão (SCHOLL *et al.*, 2015; STREZOV; EVANS; HAYMAN, 2008). Além disso, a co-digestão anaeróbia da biomassa vegetal em mistura com dejetos animais apresenta elevado potencial de produção de biogás (MATA-ALVAREZ *et al.*, 2014; MATA-ALVAREZ; MACÉ; LLABRÉS, 2000).

Nas cadeias brasileiras de produção animal, cuja maior parte da produção é desenvolvida em estabelecimentos familiares rurais (IBGE, 2006), há elevado potencial de produção de biogás a partir de dejetos. Ao longo dos próximos dez anos, o volume certamente será ampliado se consideradas as projeções de expansão da produção brasileira de carnes de frango (33,4%), suínos (28,6%) e bovinos (20,5%) (BRASIL, 2017b). Embora a maior parte dos dejetos animais seja atualmente depositada em lagoas, tanques, esterqueiras ou utilizada na produção de composto orgânico por meio da compostagem aeróbia (SARDÁ *et al.*, 2010), a digestão anaeróbia vem sendo novamente difundida no Brasil pela mitigação de impactos ambientais e pelo aproveitamento energético do metano (CHERUBINI *et al.*, 2015). As possibilidades e limitações que envolvem a implementação de projetos de digestão anaeróbia em estabelecimentos familiares rurais serão discutidos nos próximos itens.

5.3 Digestão anaeróbia e biodigestores

5.3.1 Breve Histórico

Embora tenha sido utilizada de forma rudimentar em séculos anteriores, a digestão anaeróbia apresentou expansão significativa a partir de meados do século 20, sobretudo pela implantação de plantas de pequeno porte nos países asiáticos (CHASNYK; SOŁOWSKI; SHKARUPA, 2015). Na Índia, é possível que os avanços tenham correlação com a elaboração do primeiro projeto de construção de um biodigestor no século anterior (1859), em Bombay (CURRY; PILLAY, 2012), e com ações subsequentes de divulgação da inovação tecnológica em áreas rurais pelo Instituto de Pesquisa Agrícola de Delhi, a partir de 1939 (CHASNYK; SOŁOWSKI; SHKARUPA, 2015). Na Índia, é possível que os avanços tenham correlação com a elaboração do primeiro projeto de construção de um biodigestor no século anterior (1859), em Bombay (CURRY; PILLAY, 2012), e com ações subsequentes de divulgação da inovação tecnológica em áreas rurais pelo Instituto de Pesquisa Agrícola de Delhi, a partir de 1939 (CHASNYK *et al.*, 2015). A primeira planta comunitária de digestão anaeróbia foi desenvolvida em Pura, no ano de 1978, com a participação de 56 estabelecimentos familiares rurais e ganhos significativos de economia de escala: a estimativa de custo da planta comunitária foi equivalente a apenas 6 plantas de pequeno porte (REDDY, 2004). Além da planta de digestão anaeróbia, projeto contou a instalação de um conjunto moto-gerador para a produção de energia elétrica, da implementação de uma rede de distribuição de biogás e fornecimento de fogões adaptados para todas as residências. Ainda segundo Reddy (2004), idealizador da planta comunitária de Pura, o projeto foi finalizado entre 1997 e 1998 e, além de benefícios à comunidade, trouxe informações valiosas a serem consideradas na concepção de novas plantas comunitárias.

Já o primeiro biodigestor chinês foi construído na década de 1880, mas a implementação da digestão anaeróbia foi inicialmente induzida a partir do final da década de 1950 e, mais efetivamente, entre as décadas de 1970 e 1980, período em que foram implantados mais de 7 milhões de biodigestores em pequenas propriedades rurais familiares (HE, 2010). Além de liderar a produção mundial, a China vem aportando muitos recursos em pesquisa e desenvolvimento e liderou a produção científica relacionada com a produção de biogás entre 2013 e 2015, seguida pela Itália, Reino Unido, Espanha e Estados Unidos (Komilis *et al.*, 2017).

Na Europa, não obstante a digestão anaeróbia tenha sido conhecida no século XIII, a partir dos manuscritos de Marco Polo, as primeiras plantas de produção de biogás foram implementadas somente no século XX, na Alemanha (1906), Itália (1908) e Inglaterra (1909)

(CHASNYK; SOŁOWSKI; SHKARUPA, 2015). Os autores destacam que a planta italiana era responsável pelo abastecimento de um motor adaptado ao uso do biogás e que, a partir de 1920, as plantas alemãs foram conectadas às redes municipais de abastecimento de gás.

Na Alemanha, a digestão anaeróbia passou a ser amplamente difundida na década de 1970, com o advento da crise do petróleo (BOND; TEMPLETON, 2011) e, de forma mais contundente, na década de 1990, pela implementação massiva de políticas públicas visando a inserção do biogás na matriz energética (LEBUHN; MUNK; EFFENBERGER, 2014; SZARKA *et al.*, 2017). Além de tornar-se um dos maiores produtores mundiais de biogás, a Alemanha é referência no desenvolvimento tecnológico da digestão anaeróbia (GRANDO *et al.*, 2017) Atualmente, embora ocorra predomínio de plantas individuais, em alguns casos abastecidas por uma ou duas propriedades vizinhas (WILKINSON, 2011), muitas cooperativas de biogás foram promovidas por subsídios governamentais - denominados *feed-in tariff system* (YILDIZ *et al.*, 2015). Também há incentivos para a criação de estruturas organizacionais denominadas comunidades de energia sustentável, definidas como organizações onde os membros participam ativamente de ações voltadas ao uso, produção e inserção de fontes renováveis à matriz energética (ROMERO-RUBIO; DE ANDRÉS DÍAZ, 2015). Essas comunidades têm como base a implementação de projetos com sistemas energéticos mais sustentáveis em termos tecnológicos e com maior participação e controle democrático (BRUMMER, 2018).

Embora a Alemanha lidere há muito tempo a produção europeia de biogás, a Dinamarca foi pioneira na implementação de plantas comunitárias - também denominadas centralizadas - no início da década de 1980 (RAVEN; GREGERSEN, 2007). Após a abertura do mercado no final da década de 1990 e limitações de viabilidade econômica à implementação de novos projetos (GEELS; RAVEN, 2007), as plantas dinamarquesas apresentaram ganhos elevados de produtividade decorrentes de avanços tecnológicos e de eficiência (RÁCZ; VESTERGAARD, 2016). As políticas contundentes de pesquisa, desenvolvimento e inovação, permitiram a modernização e ampliação das plantas centralizadas dinamarquesas, que hoje respondem pela maior parte do biogás produzido na Dinamarca (LYBÆK, 2013).

No Brasil, a produção de biogás foi massivamente induzida nas décadas de 1970 e 1980, por meio do Programa de Mobilização Energética (BRASIL, 1982), que consistia num conjunto de ações para enfrentar a crise do petróleo iniciada na década de 1970. Naquele período, o aproveitamento da biomassa residual para a produção de biogás foi amplamente incentivado por vários países em substituição aos combustíveis fósseis (BOND; TEMPLETON, 2011) mas, no Brasil, os resultados não foram alcançados (RIBEIRO; RAIHER, 2013). O fracasso do

Programa de Mobilização Energética foi decorrente de vários fatores, como: conhecimento tecnológico insuficiente sobre a construção e operação dos biodigestores, custo de implantação e manutenção elevados, aproveitamento inadequado do digestato, falta de equipamentos desenvolvidos para a produção e uso do biogás, baixo custo da energia elétrica e do gás liquefeito de petróleo (BORGES NETO *et al.*, 2010; KUNZ; OLIVEIRA, 2006).

As discussões sobre a diversificação da matriz energética voltaram a integrar fortemente a agenda governamental a partir do apagão elétrico, em 2001, culminando no lançamento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que tinha como pilares o aproveitamento da biomassa, o investimento em pequenas centrais hidrelétricas e parques eólicos (ANSELMO FILHO; BADR, 2004; LEE; ZHONG, 2014). Em seguida, o marco regulatório (BRASIL, 2004a, c) previu a possibilidade de obtenção de renda pela comercialização de energia elétrica produzida em geração distribuída, mas de acordo com a conveniência das empresas distribuidoras de energia, conforme segue:

[...] Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.

Art. 15. A contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída será precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente de distribuição, de forma a garantir publicidade, transparência e igualdade de acesso aos interessados.

§ 1º O montante total da energia elétrica contratada proveniente de empreendimentos de geração distribuída não poderá exceder a dez por cento da carga do agente de distribuição.

Depois, embora tenham ocorrido outras ações paralelas e transversais, as discussões sobre a implementação de projetos de produção de biogás foram retomadas pelo Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Também denominado de Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), foi desenvolvido após a 15ª Conferência das Partes (COP15), ocorrida em Copenhague, no ano de 2009, como estratégia brasileira para reduzir as emissões de GEE. O Plano ABC apresenta um conjunto de incentivos e ações a serem executadas até 2020, desde a desoneração fiscal para indústrias que tenham relação com setor de biogás até a elaboração de estudos técnicos microrregionais no âmbito da rede BiogásFert,

em que participam o Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBiogás, a Embrapa e universidades públicas brasileiras (BLEY JUNIOR, 2015; BRASIL, 2012; CIBIOGÁS, 2015; EMBRAPA, 2015).

Além disso, as resoluções da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) promoveram avanços importantes no marco regulatório da produção de biogás e biometano e da geração distribuída de energia elétrica. Enquanto a ANP especificou e estabeleceu que o biometano (biogás purificado) produzido a partir de resíduos agrossilvopastoris pode ser comercializado por meio de conexão à rede de distribuição de gás canalizado ou na forma de gás comprimido, tanto para o abastecimento veicular como de instalações residenciais e comerciais (ANP, 2015), a ANEEL regulamentou a geração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis (solar, eólica e biogás), permitindo o fornecimento do excedente e utilização pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (ANEEL, 2012). Também regulamentou a geração distribuída compartilhada por associações e cooperativas (ANEEL, 2015), o que pode induzir o desenvolvimento de projetos com menores custos de transação, e, por conseguinte, viabilizar a produção de energia e obtenção de renda no âmbito de pequenos empreendimentos.

No Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026 - BRASIL, 2017c), que prevê a expansão de tecnologias de geração distribuída de pequeno porte, incluindo o aumento da produção de energia pelos sistemas a biogás para 300 MW, foi projetada a inserção da geração distribuída via chamadas públicas promovidas para aquisição de energia pelos distribuidores. No mesmo sentido, embora haja ambiente regulatório para a comercialização de biometano comprimido ou injetado à rede de gás natural (ANP, 2015) ou da energia elétrica injetada à rede elétrica (BRASIL, 2004b), há a necessidade de adequações no ambiente institucional brasileiro no sentido de que os distribuidores sejam incentivados à induzir o desenvolvimento do mercado de oferta descentralizada de energia (EPE, 2016c).

A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) foi implementada em 2017 visando expandir a produção brasileira de biocombustíveis e reduzir as emissões de gases do efeito estufa (BRASIL, 2017a), mas o programa apresenta incentivos à produção de biogás em larga escala (STILPEN; STILPEN; MARIANI, 2018).

Em suma, o desenvolvimento de ambiente institucional constitui o principal fator de influência no crescimento e maturação das cadeias produtivas do biogás (VASCO-CORREA *et al.*, 2017). É fundamental que as iniciativas sejam devidamente planejadas com perspectivas de longo prazo (DE MELO; JANNUZZI; BAJAY, 2016), considerando o montante a ser investido

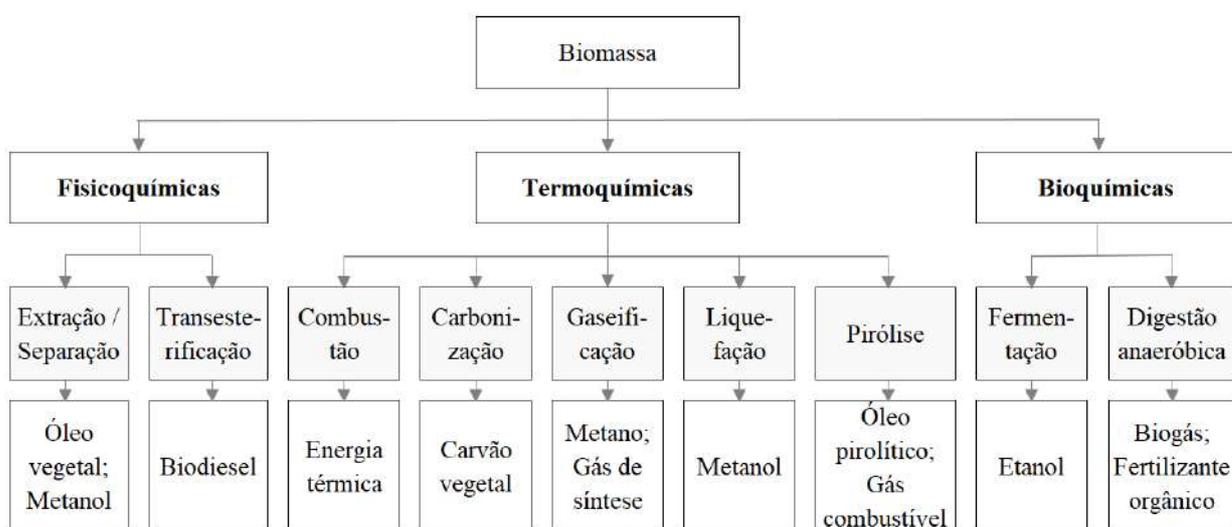
para atingimento dos objetivos e os benefícios socioeconômicos e ambientais pretendidos (LEE; ZHONG, 2014).

5.3.2 Aspectos tecnológicos da produção de biogás

As rotas tecnológicas de aproveitamento energético da biomassa podem ser categorizadas como: físicoquímicas, termoquímicas e bioquímicas (Figura 1) (APPELS *et al.*, 2011). As rotas utilizadas no aproveitamento energético de resíduos agrossilvopastoris são definidas pela especificação da biomassa, grau de desenvolvimento das tecnologias de conversão e custos de implantação e operação dos projetos (EPE, 2016c).

De forma geral, a conversão de resíduos agrossilvopastoris vem sendo realizada pela rota termoquímica de combustão, por meio da queima direta de resíduos com menor teor de umidade (palha do cafeeiro, bagaço da cana, resíduos florestais), e a pela rota bioquímica de digestão anaeróbia, para produção de biogás tendo como substratos resíduos agrossilvopastoris úmidos (dejetos animais, vinhaça) (MATTESON; JENKINS, 2007). Embora também seja possível a produção de biogás pela rota termoquímica de gaseificação, a rota bioquímica de digestão anaeróbia é mais conhecida e economicamente mais vantajosa (GALLAGHER; MURPHY, 2013). A digestão anaeróbia apresentou grande avanço tecnológico nos últimos anos e, por isso, os custos estão tornando-se cada vez mais competitivos (EPE, 2016c).

Figura 1 - Rotas tecnológicas de aproveitamento energético da biomassa.



Fonte: Adaptado de Appels *et al.* (2011).

A digestão anaeróbia consiste na degradação e estabilização da matéria orgânica e na produção de metano, dióxido de carbono e substâncias inorgânicas (KELLEHER *et al.*, 2002). É realizada em biodigestores, por microrganismos anaeróbios, e pode ser dividida em quatro fases sequenciais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na hidrólise, substâncias complexas (proteínas, carboidratos de cadeia longa e lipídios) são hidrolisadas em substâncias simples (aminoácidos, açúcares simples e ácidos graxos); na acidogênese, as substâncias simples são convertidas em ácidos orgânicos; durante a acetogênese, os ácidos orgânicos são transformados em acetato e hidrogênio, os quais são transformados em metano, dióxido de carbono e outras substâncias por meio da metanogênese (BATSTONE *et al.*, 2002; GUJER; ZEHNDER, 1983; PAVLOSTATHIS; GIRALDO-GOMEZ, 1991). Conforme esquematização da Figura 2, o processo de digestão anaeróbia permite a obtenção de biogás bruto, o qual pode ser filtrado para a obtenção do biometano (ANP, 2015).

Figura 2 - Rota tecnológica de produção de biogás e biometano.



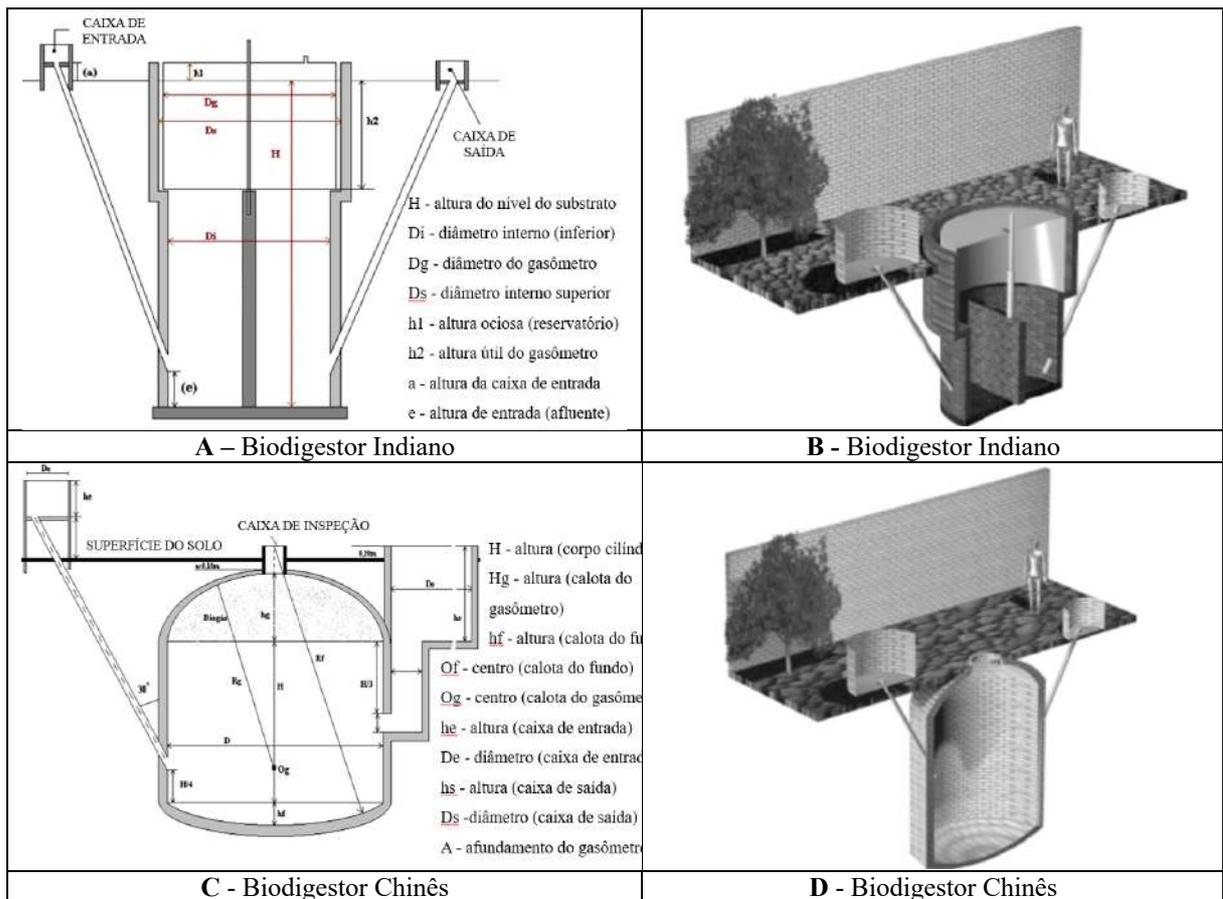
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANP (2015), Batstone *et al.* (2002), Gujer e Zehnder (1983), Grandó *et al.* (2017) e Pavlostathis e Giraldo-Gomez (1991).

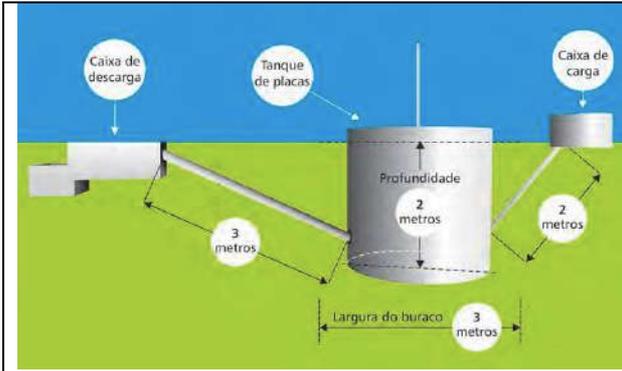
O processo de produção de biogás é influenciado por vários fatores, principalmente pela temperatura, potencial de hidrogênio (pH), relação carbono/nitrogênio (C/N), carga orgânica e tempo de retenção hidráulico (MAO *et al.*, 2015). Mesmo sendo considerada uma tecnologia

madura, ainda são necessárias pesquisas para otimizar o processo de produção produtivo (WEILAND, 2006), tendo em vista que os projetos comerciais geralmente são operados abaixo do potencial ótimo de desempenho (WARD *et al.*, 2008).

Os projetos brasileiros têm como base os modelos de biodigestores indianos (Figura 3, Imagens A e B), chineses (Figura 3, Imagens C e D) (COMASTRI FILHO, 1981; GARCIA, 1985; KUNZ; OLIVEIRA, 2006) e, mais recentemente, os modelos canadenses ou lagoa coberta (Figura 3, Imagens E e F) (KUNZ; OLIVEIRA, 2006). Atualmente, há no mercado biodigestores com baixo custo de implantação e manutenção (KHALID *et al.*, 2011), como o modelo de fluxo ascendente patenteado (KOHLER; KOHLER, 2009) com o apoio Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (Figura 3, Imagens G e H) e utilizado pelo agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba.

Figura 3 - Modelos de biodigestores utilizados no Brasil.

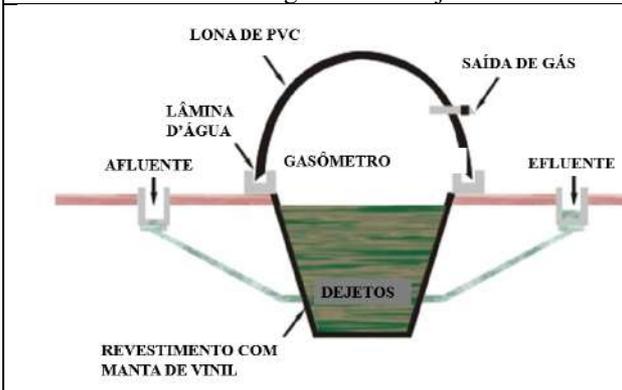




E - Biodigester Sertanejo



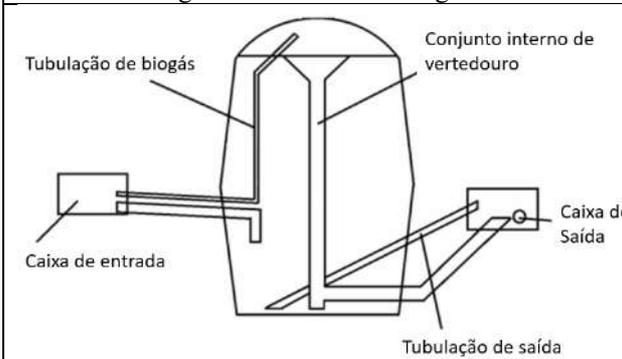
F - Biodigester Sertanejo



G - Biodigester Canadense ou Lagoa Coberta



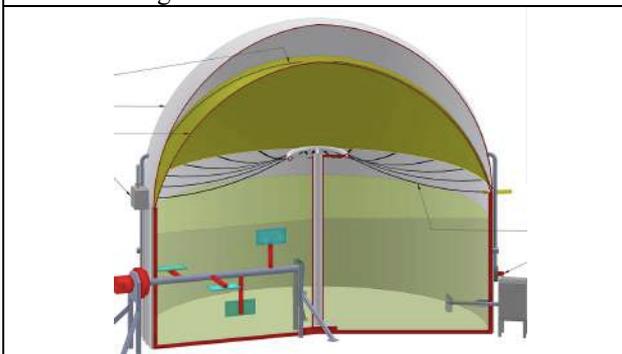
H - Biodigester Canadense ou Lagoa Coberta



I - Biodigester Biokohler® de fluxo ascendente



J - Biodigester Biokohler® de fluxo ascendente



K - Biodigester Alemão ou CSRT (*Continuous Stirred Tank Reactor* – Tanque Reator de Agitação Contínua)



L - Biodigester Alemão ou CSRT (*Continuous Stirred Tank Reactor* – Tanque Reator de Agitação Contínua)

Fonte: A, B, C, D e G (DEGANUTTI *et al.*, 2002); E e F (MATTOS, 2011); H (KUNZ; OLIVEIRA, 2006); I (MARI *et al.*, 2014); J (autor); K (BARCHMANN *et al.*, 2016); L (KUNZ, 2017).

Além da evolução tecnológica dos biodigestores, o atual processo de filtragem e purificação do biogás permite a remoção de água, dióxido de carbono e gás sulfídrico, aumentando a concentração de metano e, por conseguinte, o poder calorífero do biocombustível. A remoção do gás sulfídrico, que é corrosivo, também permite ampliar a vida útil dos equipamentos e aumentar a segurança do processo produtivo (CIBIOGÁS, 2016). Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015), o biogás purificado é denominado biometano e pode ser comercializado para instalações residenciais e comerciais e como combustível de veículos, desde que apresente a especificação técnica reproduzida pela Tabela 5.

Tabela 5 - Especificação técnica do biometano.

Característica	Unidade	Limite		
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste, Sudeste e Sul
Poder Calorífico Superior	kJ/m^3	34.000 a 38.400	35.000 a 43.000	
	kWh/m^3	9,47 a 10,67	9,72 a 11,94	
Índice de Wobbe	kJ/m^3	40.500 a 45.000	46.500 a 53.500	
Metano mínimo	% mol.	90,0	90,0	
Etano	% mol.	anotar	anotar	
Propano	% mol.	anotar	anotar	
Butanos e mais pesados	% mol.	anotar	anotar	
Oxigênio máximo	% mol.	0,8	0,8	
CO ₂ máximo	% mol.	3,0	3,0	
CO ₂ +O ₂ +N ₂ máximo	% mol.		10,0	
Enxofre Total máximo	mg/m ³		70	
Gás Sulfídrico (H ₂ S) máximo	mg/m ³		10	
Ponto de orvalho de água a 1atm	°C	-39	-39	-45
Ponto de orvalho de hidrocarbonetos	°C	15	15	0

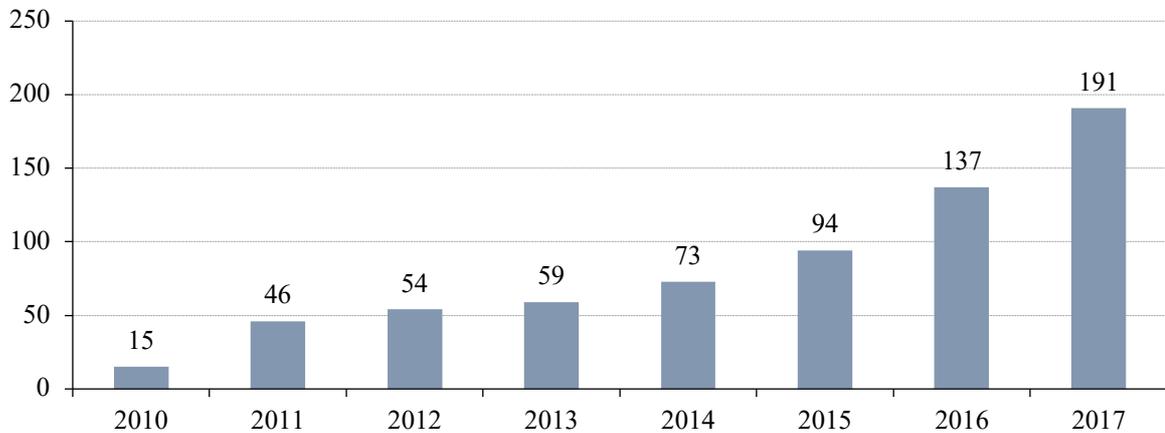
Fonte: ANP (2015).

5.4 Produção atual de biogás no Brasil

Segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (*International Renewable Energy Agency* – IRENA, 2015), a evolução nos incentivos para a ampliação da participação das fontes alternativas de energia renovável na matriz energética brasileira tem sido guiada especialmente pela atualização do marco regulatório e pelo desenvolvimento do ambiente institucional. Entre 2010 e 2017, a produção de biogás apresentou taxa média de crescimento de 53% ao ano, aumentando a participação na matriz energética brasileira de 0,01% para 0,07%

(COELHO, 2017; EPE, 2016a, b, 2018b, a) . A Figura 4 apresenta o crescimento da produção nesse período.

Figura 4 - Evolução da oferta interna de biogás (ktep) na entre 2010 e 2017.



Fonte: Coelho (2017) e EPE (2018ab)

De acordo com dados do CIBiogás (GAHB, 2017), em 2015 foram produzidos no Brasil quase 600 milhões de Nm³ de biogás por meio de 127 unidades produtoras de biogás, sendo 60 (47%) caracterizadas pela utilização de resíduos agrossilvopastoris como matéria prima (Tabela 6). Esse volume corresponde ao conteúdo energético de 73,6 ktep (ANEEL, 2008; BARRERA, 1993), embora o valor atribuído pelo Balanço Energético Nacional tenha sido de 104 ktep (EPE, 2016a).

Tabela 6 - Caracterização da produção de biogás no Brasil em 2015.

Categoria da unidade	Unidades	Produção de biogás (Nm ³ /ano)	Energia (ktep)
Agropecuária	60	171.198.870	21,0
Aterro sanitário	9	257.394.350	31,6
Codigestão	8	5.075.325	0,6
Estação de tratamento de esgoto	7	31.043.980	3,8
Indústria	43	134.395.190	16,5
Total	127	599.107.715	73,6

Fonte: Adaptado de GAHB (2017) e ANEEL (2008).

Segundo o BiogasMap, ferramenta desenvolvida pelo CIBiogás com o apoio do Centro Internacional de Hidroinformática e do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), no Brasil há atualmente 154 plantas em construção, operação e reforma, sendo 68 de pequeno porte, 55 de médio porte e 31

de grande porte (CIBIOGÁS, 2018a). O biogás vem sendo utilizado para a geração de energia elétrica (44%), térmica (49%), mecânica (5%) ou para a produção de biometano (2%) (GAHB, 2017).

5.5 Potencial de produção de biogás pela agropecuária brasileira

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016c), em 2013 o potencial energético anual das biomassas brasileiras foi de 200 Mtep e deverá atingir 540 Mtep em 2050, sendo a maior parte proveniente da biomassa de resíduos agrossilvopastoris - inclui biomassas residuais agrícolas, biomassa residual da produção animal e vinhaça - e urbana. Se considerados somente os resíduos agrossilvopastoris, o conteúdo energético produzido em 2014 foi de 77 Mtep e, em 2050, as projeções indicam que a oferta deverá atingir 199 Mtep (EPE, 2016d).

Há elevada produção de biomassa residual com potencial de produção de biogás nas cadeias da produção animal e de vinhaça pelo setor sucroalcooleiro, atividades em que o Brasil apresenta papel de destaque no cenário mundial dado o expressivo volume de produção. A Tabela 7 apresenta dados de estimativas sobre o potencial brasileiro de produção de biogás a partir da utilização de dejetos animais e vinhaça.

Tabela 7 - Estimativas de potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos animais e vinhaça no Brasil.

Referência	Resíduos agrossilvopastoris	Potencial de produção de biogás (milhões de Nm ³ /ano)	Potencial de produção de energia (ktep/ano)
Silva dos Santos <i>et al.</i> (2018)	Avicultura (dejetos)	607	75
	Bovinocultura de corte e leite (dejetos)	16.853	2.073
	Suínocultura (dejetos)	844	104
	Vinhaça	1.143	141
Senai/PR (2016)	Avicultura (dejetos)	2.825	347
	Bovinocultura de leite (dejetos)	3.954	486
	Suínocultura (dejetos)	2.629	323
	Vinhaça	3.170	390

Fonte: Adaptado de Silva dos Santos *et al.* (2018) e Senai/PR (2016).

Embora seja uma atividade econômica desenvolvida em larga escala pela agricultura patronal, a produção de sucroalcooleira em pequena escala poderia ser viabilizada pelo aproveitamento integral do conteúdo energético dos resíduos (GONÇALVES; SANTOS;

MACEDO, 2015; MAYER *et al.*, 2015). Além da utilização do bagaço na geração termelétrica, há potencial técnico de aproveitamento do bagaço e palha para geração de etanol de segunda geração (GONÇALVES; SANTOS; MACEDO, 2015) e de utilização da vinhaça para a produção de biogás (BERNAL *et al.*, 2017; FUESS *et al.*, 2017).

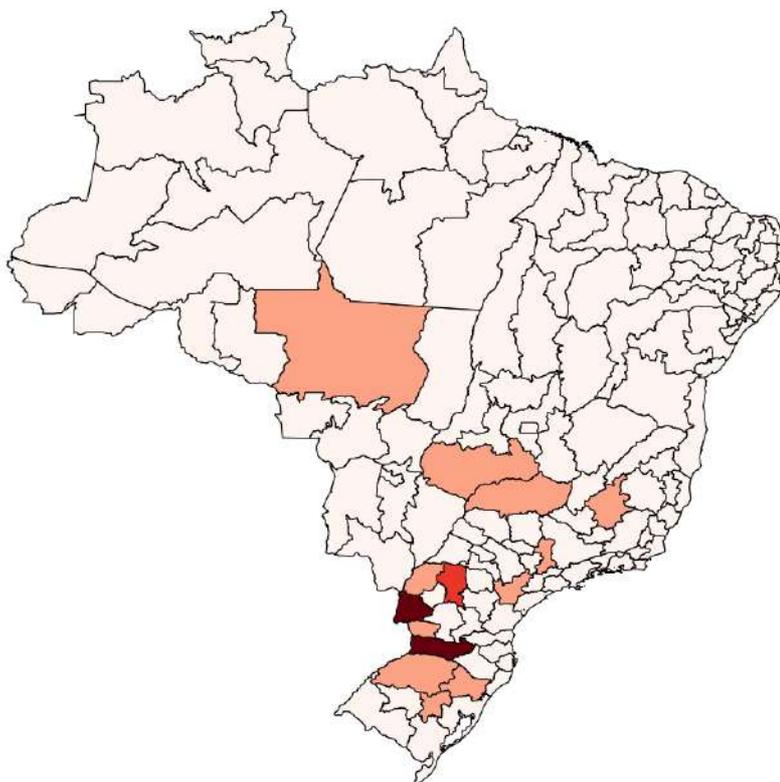
Ao contrário do setor sucroalcooleiro, a produção de base familiar contribui com a maior fatia produzida pelas cadeias da produção animal, especialmente nas cadeias da avicultura (50%), bovinocultura de leite (58%) e suinocultura (59%) (IBGE, 2006), atividades desenvolvidas ao longo de todo o território nacional, mas com grande concentração em algumas mesorregiões (Figuras 5, 6 e 7). Foram estimados nos próximos subitens o potencial técnico de produção de biogás pela avicultura, bovinocultura de leite e suinocultura por mesorregião brasileira, considerando apenas a produção dos estabelecimentos familiares rurais no ano de 2016 (IBGE, 2016a).

Os dados apresentados a seguir são estimativas do potencial de geração considerando a zona de competitividade do aproveitamento de resíduos agrossilvopastoris para a produção de biogás e geração de energia elétrica que, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016c), atualmente é de apenas 24% do potencial máximo dos resíduos. Nessa mesma publicação, há dois cenários traçados acerca da zona de competitividade: a competitividade permanecerá inalterada até 2050 ou, no cenário positivo, seguirá sendo progressivamente ampliada até 2030. É importante lembrar que em 2014 a zona de competitividade era de apenas 20% (EPE, 2014).

5.5.1 Avicultura

O Brasil foi o maior exportador e o segundo colocado no ranking de produção de carne de frango em 2016 (ABPA, 2017) e o quinto maior produtor mundial de ovos em 2017 (FIGUEIREDO; MAZZUCO; HENN, 2018). A avicultura brasileira apresenta grande concentração na região Sul, sobretudo nas mesorregiões Oeste Paranaense, Oeste Catarinense e Norte Central Paranaense. A Figura 5 apresenta o mapa do potencial de produção de energia (ktep/ano) a partir do aproveitamento energético de dejetos da produção avícola em empreendimentos familiares rurais por mesorregião.

Figura 5 - Mapa do potencial de produção de biogás (ktep/ano) pela avicultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, em 2016 (Legenda: Tabela 8).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

As 15 mesorregiões brasileiras com o maior plantel de aves são responsáveis por mais da metade (54%) do potencial brasileiro de produção de biogás e energia em empreendimentos familiares rurais. O potencial estimado de produção de energia a partir de dejetos da avicultura desenvolvida em empreendimentos familiares rurais é de 54,6 ktep/ano.

Tabela 8 - Potencial de produção de biogás pela avicultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, no ano de 2016 (Top 15)¹⁰.

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	AVES (milhões)	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	BIOGÁS (ktep/ano)	LEGENDA (Figura 5)
Oeste Paranaense (PR)	53,5	2,9	35,1	4,3	
Oeste Catarinense (SC)	51,8	2,8	34,0	4,2	
Norte Central Paranaense (PR)	29,6	1,6	19,5	2,4	
Sul Goiano (GO)	23,5	1,3	15,4	1,9	
Norte Mato-grossense (MT)	23,2	1,3	15,2	1,9	

¹⁰ A memória de cálculo e a tabela completa estão disponíveis nos Apêndices A e D.

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	AVES (milhões)	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	BIOGÁS (ktep/ano)	LEGENDA (Figura 5)
Noroeste Paranaense (PR)	22,7	1,2	14,9	1,8	
Sudoeste Paranaense (PR)	21,6	1,2	14,2	1,7	
Campinas (SP)	21,3	1,2	14,0	1,7	
Nordeste Rio-grandense (RS)	21,0	1,2	13,8	1,7	
Noroeste Rio-grandense (RS)	20,4	1,1	13,4	1,6	
Centro Oriental Rio-grandense (RS)	16,1	0,9	10,6	1,3	
Itapetininga (SP)	16,1	0,9	10,6	1,3	
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	15,1	0,8	9,9	1,2	
Metropolitana de Belo Horizonte (MG)	14,0	0,8	9,2	1,1	
Demais Mesorregiões	313,3	17,2	205,8	25,3	
Brasil	676,1	37,0	444,2	54,6	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

5.5.2 Bovinocultura de leite

Segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM (IBGE, 2016b), a produção brasileira de leite foi de 33,62 bilhões de litros em 2016, com a liderança da Região Sul (37%), seguida pelas Regiões Sudeste (34,3%), Centro-Oeste (11,8%), Nordeste (11,2%) e Norte (5,6%). A nível de mesorregiões, os maiores rebanhos leiteiros foram apresentados pelo Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba e Sul Goiano. A Figura 6 apresenta o mapa do potencial de geração de produção de energia (ktep/ano) a partir do aproveitamento energético de dejetos da bovinocultura de leite nas mesorregiões brasileiras.

Figura 6 - Mapa do potencial de produção de biogás (ktep/ano) pela bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, em 2016 (Legenda: Tabela 9).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Barrera (1993), EPE (2016), IBGE (2006), IBGE (2016), Kunz e Oliveira (2006), Oliveira (1993).

As 15 mesorregiões com o maior plantel de vacas, localizadas nos estados de Minas Gerais, Goiás, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Rondônia, Pará, Bahia e Tocantins, são responsáveis por quase metade (45%) do rebanho leiteiro dos empreendimentos familiares rurais. O potencial estimado de produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite desenvolvida em empreendimentos familiares rurais é de 101 ktep/ano (Tabela 9).

Tabela 9 - Potencial de produção de biogás pela bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, no ano de 2016 (Top 15)¹¹.

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	VACAS (mil cabeças)	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	BIOGÁS (ktep/ano)	LEGENDA (Figura 6)
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	651,2	5,1	46,7	5,7	
Sul Goiano (GO)	520,6	4,1	37,3	4,6	
Noroeste Rio-grandense (RS)	505,4	4,0	36,3	4,5	
Sul/Sudoeste de Minas (MG)	448,7	3,5	32,2	4,0	

¹¹ A memória de cálculo e a tabela completa estão disponíveis nos Apêndices B e E.

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	VACAS (mil cabeças)	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	BIOGÁS (ktep/ano)	LEGENDA (Figura 6)
Oeste Catarinense (SC)	435,6	3,4	31,3	3,8	
Centro Goiano (GO)	432,4	3,4	31,0	3,8	
Vale do Rio Doce (MG)	298,4	2,3	21,4	2,6	
Sudeste Paraense (PA)	287,1	2,3	20,6	2,5	
Leste Rondoniense (RO)	272,8	2,1	19,6	2,4	
Zona da Mata (MG)	246,7	1,9	17,7	2,2	
Ocidental do Tocantins (TO)	239,4	1,9	17,2	2,1	
Oeste de Minas (MG)	213,8	1,7	15,3	1,9	
Central Mineira (MG)	187,1	1,5	13,4	1,7	
Norte de Minas (MG)	184,5	1,5	13,2	1,6	
Demais Mesorregiões	6.306	50	452	56	
Brasil	11.414	90	819	101	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

5.5.3 Suinocultura

Em 2016, a produção mundial de carne suína foi de 166,8 milhões de toneladas, com a liderança da China (65,9%), União Europeia (14%), Estados Unidos (6,8%), Brasil (2,2%) e Rússia (1,7%) (ABPA, 2017). A Figura 7 apresenta o potencial de produção de biogás e energia a partir do aproveitamento energético de dejetos da suinocultura, com grande concentração nas mesorregiões Oeste Catarinense, Oeste Paranaense e Noroeste Rio-Grandense.

Figura 7 - Mapa do potencial de produção de biogás (ktep/ano) pela suinocultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, em 2016 (Legenda: Tabela 10).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

Os dados indicam que cerca de metade do plantel de suínos dos estabelecimentos familiares rurais está distribuído em apenas oito mesorregiões, localizadas nos estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. O potencial estimado de produção de biogás a partir de dejetos da suinocultura desenvolvida em empreendimentos familiares rurais é de 101 ktep/ano.

Tabela 10 - Potencial de produção de biogás pela suinocultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião, no ano de 2016 (Top 15)¹².

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	SUÍNOS (mil cabeças)	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	BIOGÁS (ktep/ano)	LEGENDA (Figura 7)
Oeste Catarinense (SC)	2.863,9	2,5	46,6	5,7	
Oeste Paranaense (PR)	2.675,5	2,3	43,5	5,4	
Noroeste Rio-grandense (RS)	2.052,9	1,8	33,4	4,1	
Norte Mato-grossense (MT)	1.213,3	1,0	19,7	2,4	
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	1.090,5	0,9	17,7	2,2	

¹² A memória de cálculo e a tabela completa estão disponíveis nos Apêndices C e F.

MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	SUÍNOS (mil cabeças)	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	BIOGÁS (ktep/ano)	LEGENDA (Figura 7)
Sul Goiano (GO)	817,9	0,7	13,3	1,6	
Zona da Mata (MG)	701,9	0,6	11,4	1,4	
Centro Oriental Rio-grandense (RS)	660,5	0,6	10,7	1,3	
Sul Catarinense (SC)	596,3	0,5	9,7	1,2	
Centro Oriental Paranaense (PR)	491,8	0,4	8,0	1,0	
Sudoeste de Mato Grosso do Sul (MS)	407,9	0,3	6,6	0,8	
Nordeste Rio-grandense (RS)	400,9	0,3	6,5	0,8	
Norte Maranhense (MA)	304,4	0,3	5,0	0,6	
Vale do Itajaí (SC)	300,6	0,3	4,9	0,6	
Demais Mesorregiões	8.702	7	142	17	
Brasil	23.571	20	383	47	

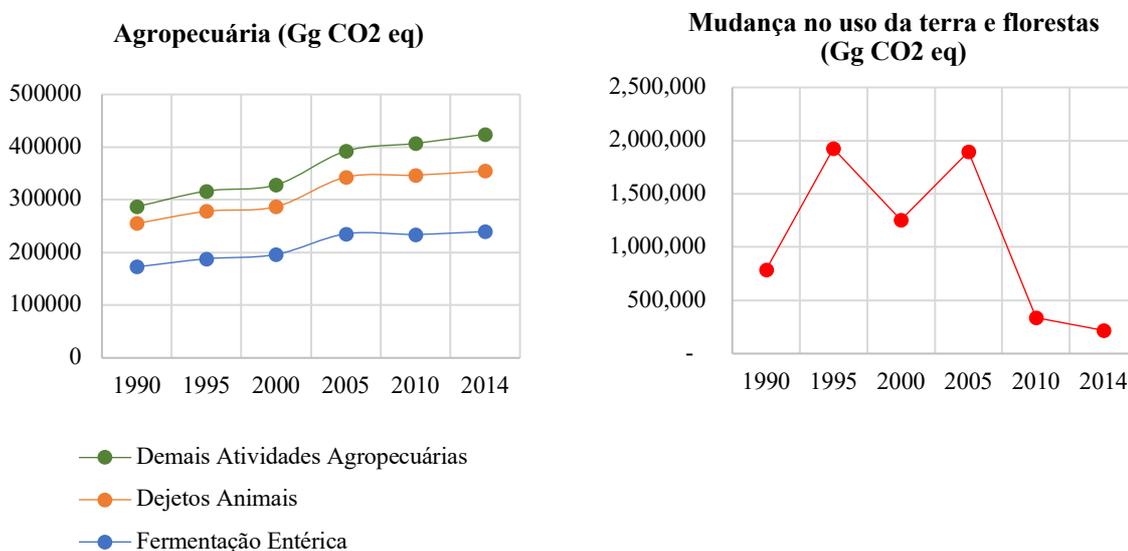
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

5.6. Impactos ambientais da produção animal

Os impactos ambientais podem ser compreendidos como mudanças causadas pelas atividades humanas nas características biológicas, físicas e químicas no meio ambiente (CONAMA, 1986). Assim como ocorre em qualquer atividade humana, a produção agropecuária é geradora de resíduos e potencialmente causadora de impactos ambientais (GALHARTE; CRESTANA, 2010).

De acordo com os dados do relatório Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2016b), reproduzidos pela Figura 8, as maiores emissões de GEE do agronegócio brasileiro são provenientes de mudanças no uso da terra e florestas – em grande parte pela conversão de áreas de floresta em pastagem –, da liberação de metano proveniente da fermentação entérica de ruminantes e de emissões de óxido nitroso e metano advindos do manejo e uso de dejetos animais.

Figura 8 - Gráficos de emissões brasileiras de GEE pela agropecuária e Mudanças no uso da terra e florestas, entre 1995 e 2014.



Fonte: Brasil (2016d).

Além disso, como os sistemas intensivos apresentam produção de dejetos com elevada carga orgânica, expressa pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), e nutrientes como nitrogênio, fósforo e outros minerais incluídos nas dietas, a gestão inadequada pode comprometer as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e causar a poluição de ecossistemas aquáticos (KUNZ; ENCARNAÇÃO, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2018).

A aplicação de grandes volumes de dejetos animais pode afetar a fauna do solo (MACCARI *et al.*, 2016; SEGAT *et al.*, 2015), alterar a distribuição de nutrientes no perfil do solo (SCHERER; NESI; MASSOTTI, 2010) e lixiviar para corpos de água à jusante (CARPENTER *et al.*, 1998).

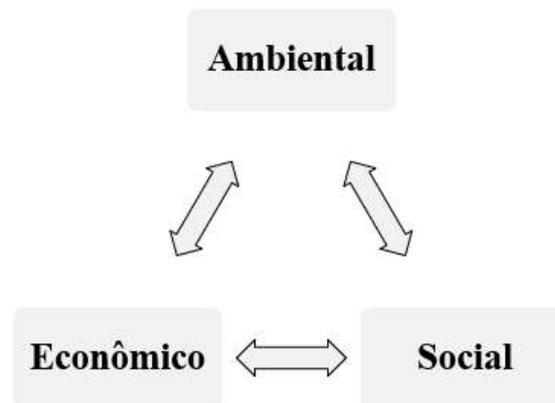
A poluição de corpos de água por dejetos animais pode culminar no aumento da turbidez, do consumo de oxigênio por microrganismos decompositores da matéria orgânica e no enriquecimento de nutrientes, culminando no processo de eutrofização e na depleção dos ecossistemas sistemas aquáticos (CARPENTER *et al.*, 1998).

5.7 Análise de impactos ambientais e socioeconômicos

Inicialmente, há que se lembrar que a literatura ambiental desenvolvida entre o início das décadas de 1960 e 1980 disponibilizou terreno fértil à emersão da terminologia desenvolvimento sustentável (ROBINSON, 2004), definido pela Comissão Mundial sobre

Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (*World Commission on Environment and Development* – WCED, 1987, p. 37) como “aquele que é capaz de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades”. A partir dessa primeira conceituação, foram cunhadas várias definições, em grande parte sustentadas pelo modelo dos três pilares (POPE; ANNANDALE; MORRISON-SAUNDERS, 2004) reproduzido pela Figura 9.

Figura 9 - Três pilares da sustentabilidade.



Fonte: Pope, Annandale e Morrison-Sauders (2004).

Mundialmente, as políticas vem sendo orientadas por iniciativas que permitam alcançar o desenvolvimento sustentável, como os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): erradicação da pobreza, segurança alimentar e agricultura sustentável, saúde e bem-estar, educação, igualdade de gênero, água e saneamento, energia, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura e industrialização, redução das desigualdades, cidades sustentáveis, padrões sustentáveis de produção e de consumo, combater a mudança do clima, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, promover sociedades pacíficas e inclusivas e fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global (ONU, 2015).

Antes disso, no âmbito de acordos diplomáticos multilaterais celebrados em Montreal, em 1987, Kyoto, em 1997, e Copenhague, em 2009, a utilização de fontes renováveis de energia em substituição aos combustíveis fósseis passou a constituir a agenda de desenvolvimento sustentável mundial, principalmente após a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Ainda que não tenha apresentado o desenvolvimento esperado, o MDL consistiu um marco inovador que impulsionou o desenvolvimento de ações públicas e privadas de geração de energia a partir da biomassa, pois além da utilização e comercialização da energia, os

produtores poderiam obter ganhos econômicos com a comercialização dos créditos de carbono (PATHAK *et al.*, 2009; RIBEIRO; RAIHER, 2013; WONG *et al.*, 2009).

Recentemente, a partir da ratificação do Acordo de Paris, aprovado por 195 países na 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC), o Estado brasileiro assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, e 43% em 2030. Segundo a pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (*intended Nationally Determined Contribution* – iNDC) brasileira, documento pelo qual os países os países se comprometem e apresentam suas contribuições de redução das emissões de GEE, estão previstas metas de ampliação da participação das fontes alternativas de energia renovável (biomassa, eólica, solar) na matriz energética (BRASIL, 2015). Ao mesmo tempo que permite a diversificação da matriz energética, a utilização da biomassa contribui para que sejam atingidas as metas de redução das emissões de GEE (RIBEIRO *et al.*, 2018).

Neste cenário, vem sendo desenvolvidas muitas pesquisas visando identificar e mensurar indicadores de sustentabilidade, embora poucas metodologias abranjam a análise integrada de impactos ambientais, econômicos e sociais (SALA; CIUFFO; NIJKAMP, 2015; SINGH *et al.*, 2012). A análise da sustentabilidade, inicialmente teorizada por trabalhos de avaliação de impacto ambiental (AIA) e de avaliação ambiental estratégica (AAE) (POPE; ANNANDALE; MORRISON-SAUNDERS, 2004), apresenta resultados multidimensionais pela utilização de indicadores ambientais, econômicos e sociais e vem sendo realizada por abordagens metodológicas qualitativas, quantitativas ou mistas (BEBBINGTON; BROWN; FRAME, 2007). Pode ser utilizada tanto para a avaliação anterior (*ex ante*) como posterior (*ex post*) à implementação de processos e inovações tecnológicas (POPE *et al.*, 2017).

A avaliação do ciclo de vida (ACV) constitui um método amplamente estudado e difundido para a avaliação de impactos ambientais de diversos processos produtivos, incluindo o aproveitamento energético da biomassa (CALDEIRA-PIRES *et al.*, 2018; CHERUBINI *et al.*, 2015; COLLET *et al.*, 2017; HIJAZI *et al.*, 2016; MCAULIFFE; CHAPMAN; SAGE, 2016; PALMA-ROJAS; CALDEIRA-PIRES; NOGUEIRA, 2017; SOUSA *et al.*, 2017; XU *et al.*, 2015). No entanto, não obstante hajam muitos trabalhos publicados e diversas abordagens tenham sido propostas (CHHIPI-SHRESTHA; HEWAGE; SADIQ, 2015; JØRGENSEN *et al.*, 2008), a inserção das dimensões econômica e social à estrutura da ACV ainda está em estágio inicial de desenvolvimento (TROLDBORG; HESLOP; HOUGH, 2014; VAN HAASTER *et al.*, 2017). Além da ACV, há também estudos com abordagens metodológicas de análise da

viabilidade econômica dos projetos de aproveitamento energético da biomassa (ALMEIDA, *et al.*, 2017; CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010; DENNEHY *et al.*, 2017), mas os resultados são estritamente monetários.

Embora cada abordagem metodológica apresente vantagens e limitações, os modelos de análise multicritério geralmente são mais adequados para o desenvolvimento de estudos de análise da sustentabilidade de projetos de aproveitamento energético de resíduos por considerar aspectos ambientais, sociais e econômicos (MILUTINOVIĆ *et al.*, 2014). Os modelos de análise multicritério são inteligíveis, estruturados e apresentam flexibilidade (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014).

O Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental de Inovações Tecnológicas Agropecuárias (Sistema Ambitec Agro), inicialmente desenvolvido para a introdução de conceitos de sustentabilidade nas atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação da Embrapa, constitui um modelo de análise multicritério com abordagens nas dimensões ambiental, econômica e social a partir de informações coletadas junto aos produtores rurais (IRIAS *et al.*, 2004; RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003; RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2002, 2003). Foi desenvolvido por pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente para a avaliação de impactos de tecnologias desenvolvidas pela empresa (AVILA *et al.*, 2005), constituindo uma plataforma de análise de impactos socioeconômicos e ambientais prática, expedita, confiável e reproduzível para ampla gama de tecnologias agrícolas e atividades rurais (RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2003).

Nesse mesmo sentido, o Sistema Ambitec Agro vem sendo utilizado em estudos voltados à análise de impactos ambientais e socioeconômicos da implementação de tecnologias agropecuárias nas propriedades rurais, podendo ser destacadas pesquisas relacionados à conversão da produção de leite convencional para leite orgânico na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE- DF) (SOARES *et al.*, 2015) e no oeste do Paraná (CAMPOS, 2016), conversão da produção de carne convencional para carne orgânica em Campo Grande/MS (NEVES; SOARES; CARVALHO, 2016), integração lavoura-pecuária em área irrigada e de sequeiro em Santo Antônio de Goiás/GO (GALHARTE; CRESTANA, 2010), integração lavoura-pecuária-floresta em Unidades de Referência Tecnológica (URT) (RODRIGUES, GERALDO STACHETTI *et al.*, 2017), inovações tecnológicas utilizadas na colheita florestal (DE *et al.*, 2011), entre outras.

Há também derivações do Sistema Ambitec Agro, como o Ambitec Ciclo de Vida, desenvolvido para análise de inovações tecnológicas em agroindústrias (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010a, b), e o Sistema Ambitec Agroenergia ou Bioenergia, por pesquisadores da Embrapa

Meio Ambiente e Embrapa Agroenergia para a análise do desempenho ambiental e socioeconômico de inovações tecnológicas voltadas à produção de agroenergia ou bioenergia (SOUZA *et al.*, 2017). Este trabalho utilizará a denominação Sistema Ambitec Agroenergia, o qual será pormenorizado adiante.

6 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Esta pesquisa é classificada como aplicada, descritiva, exploratória e qualitativa-quantitativa (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006). Conforme procedimentos metodológicos descritos nas páginas seguintes, foi estruturada em duas partes: revisão sistemática de literatura e análise dos impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás no âmbito de um condomínio de agroenergia constituído por agricultores familiares.

6.1 Revisão Sistemática de Literatura

Com a finalidade de caracterizar o estado da arte das pesquisas brasileiras sobre a produção de biogás pela agricultura familiar, foi conduzida uma pesquisa de natureza aplicada, descritiva e exploratória, com utilização da abordagem qualitativa, por meio da técnica de revisão sistemática de literatura (NEWMAN, 2014; PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015; YIN, 2014). Tal procedimento técnico, conforme argumentam Cronin, Ryan e Coughlan, (2008), abrange as seguintes etapas: elaboração da questão da pesquisa; estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; seleção da literatura; verificação da qualidade da literatura incluída no estudo e análise, síntese e divulgação dos resultados. Foi utilizado o software Vantage Point® no processo de mineração de textos (do inglês *text mining*) do título, resumo, palavras-chave e de dados dos autores e instituições responsáveis pelas pesquisas. Dentre muitas possíveis aplicações, a mineração de textos permite a organização de grande volume de dados e a detecção de lacunas e tendências de pesquisa (BERRY, 2004; NASSIRTOUSSI *et al.*, 2014). As etapas que compõem o protocolo da revisão sistemática da literatura adotado neste estudo, encontram-se detalhadas, a seguir:

- a. **Elaboração da questão da pesquisa:** quais as principais abordagens e enfoques das publicações relacionadas com a produção de biogás pela agricultura familiar brasileira?
- b. **Estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão:** os critérios envolveram o período, o tipo e a qualidade das publicações, palavras-chave e operadores *booleanos*.

O período de publicação dos artigos foi de 2008 a 2017. A partir de pesquisa preliminar exploratória na base de dados *Web of Science*, foram testadas e posteriormente definidas as seguintes palavras-chave: biogás ou biometano ou GNVerde ou "GN Verde" e suas variações em inglês “*biogas*” ou “*biomethane*” ou “*green gas*” ou “*greengas*” ou “*digestated gas*” ou “*renewable natural gas*”. No primeiro momento, não foram utilizados filtros para a agricultura familiar por dois motivos: o primeiro tem relação com a amplitude de palavras e expressões utilizadas para designar a agricultura familiar e, o segundo, pela pretensão de apresentar uma visão geral sobre as publicações acadêmicas sobre a produção de biogás no Brasil. Foram escolhidos apenas artigos completos publicados em periódicos indexados na base de dados *Web of Science*, com pelo menos um autor vinculado a alguma instituição brasileira, tendo sido eliminadas as duplicatas e trabalhos cujo título, resumo (*Abstract*) ou palavras-chave (*keywords*) não estivessem relacionadas à produção de biogás.

- c. Seleção e acesso à literatura:** A pesquisa recuperou 362 artigos completos publicados em periódicos entre 2008 e 2017 relacionados à produção de biogás. Os 362 artigos foram submetidos à mineração de textos do título, resumo (*Abstract*) e palavras-chave (*Keywords*) pelo *software* Vantage Point® e, após isso, foram selecionados 15 artigos contendo palavras e expressões que pudessem ter correlação com a agricultura familiar. O *software* Vantage Point® permite a organização dos documentos por países, instituições, ano, autores, palavras-chave, áreas de pesquisa, etc.
- d. Verificação da qualidade da literatura incluída no estudo:** para a classificação dos trabalhos com maior relevância científica, foi calculado o Índice Ordinatío (InOrdinatio) dos 15 artigos selecionados, considerando o fator de impacto do periódico, o número de citações e o ano de publicação do artigo (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015). O InOrdinatio foi obtido pela equação:

$$\text{InOrdinatio} = (FI/1000) + \alpha * [10 - (\text{Ano da pesquisa} - \text{Ano da publicação})] + (\Sigma Ci)$$

Em que:

FI = Fator de impacto;

α = grau de importância do critério ano (varia de 1 a 10, e foi usado o valor 5);

Ano da pesquisa = ano de realização da pesquisa;

Ano da publicação = ano de publicação do artigo;

ΣCi = Número de citações do artigo.

Em seguida, com base na metodologia desenvolvida por Duarte e Thomé (2015), foram analisados o resumo (Abstract), a introdução e o enfoque teórico dos 15 artigos relacionados ao tema central do trabalho, tendo sido obtidos três grupos: enfoque direto – a pesquisa é desenvolvida com base na análise da produção de biogás pela agricultura familiar brasileira como tema central; enfoque geral – a produção de biogás pela agricultura familiar brasileira é tratada como um componente importante do contexto que envolve o tema central; enfoque indireto – a produção de biogás pela agricultura familiar brasileira é mencionada no texto como mais um componente relacionado ao tema central do estudo.

- e. Análise, síntese e divulgação dos resultados:** foram selecionados e analisados os artigos com enfoque direto e os artigos com enfoque geral sobre a produção de biogás pela agricultura familiar brasileira. Além disso, a partir da aplicação do processo de mineração e extração de dados dos textos do título, resumo (Abstract) e palavras-chave (Keywords) dos 362 artigos, é apresentada uma visão geral sobre as publicações de autores brasileiros relacionadas com a produção de biogás.

6.2 Análise de impactos ambientais e socioeconômicos do Condomínio Ajuricaba

6.2.1 Identificação e seleção dos produtores, localização e método de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada junto à agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba, localizado no município de Marechal Cândido Rondon (PR), na Bacia Hidrográfica do Paraná III. Caracterizado como um projeto piloto de produção coletiva de biogás em estabelecimentos familiares rurais, o condomínio foi implementado pela Itaipu Binacional em parceria com o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR), Embrapa Suínos e Aves, Companhia Paranaense de Energia (Copel), Prefeitura Municipal de Cândido Rondon, Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação (ITAI) e Movimento Nacional dos Pequenos Agricultores (MPA), sem ônus financeiro aos agricultores familiares. Além de iniciativas voltadas à redução do potencial de eutrofização do reservatório pela disposição inadequada de dejetos animais (BLEY JUNIOR, 2015), a Itaipu Binacional é responsável por uma série de

ações visando o desenvolvimento socioeconômico e a recuperação ambiental da Bacia Hidrográfica do Paraná III.

O condomínio de agroenergia foi concebido como uma unidade demonstrativa de produção de biogás em pequena escala e, inicialmente, foram idealizados dois diferentes conceitos: o primeiro relacionado ao transporte de biomassa das pequenas propriedades para uma planta de biodigestão anaeróbia e geração de energia de médio a grande porte e, o segundo, a instalação de biodigestores de pequeno porte nas propriedades e o transporte do biogás por gasodutos para uma central de geração de energia elétrica (BLEY JUNIOR, 2015). O primeiro conceito é similar às plantas comunitárias ou centralizadas implementadas na Índia (REDDY, 2004) e, em maior escala, na Dinamarca (GEELS; RAVEN, 2007), ou aos complexos de biodigestão anaeróbia e geração de energia estudados por acadêmicos brasileiros (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014; MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016).

A análise do desempenho ambiental e socioeconômico foi desenvolvida a partir do levantamento de dados primários junto a 14 agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba (Tabela 11). Para tanto, foi feita a aplicação do Sistema Ambitec Agroenergia e de um questionário tipo *survey* (Apêndice G). Também foram utilizados dados secundários extraídos do portal eletrônico de periódicos indexados à Web of Science disponibilizados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 2018), do Sistema de Monitoramento e Avaliação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (BRASIL, 2018c) e informações cedidas pelo CIBiogás (CIBIOGÁS, 2018b), instituição responsável pelo acompanhamento e monitoramento do Condomínio Ajuricaba.

Tabela 11 - Caracterização inicial dos agricultores familiares.

Agricultores familiares	Produção animal	Biodigestor
P1	Bovinos	B-20
P2	Bovinos e suínos	B-10
P3	Bovinos	B-40
P4	Suínos	Lagoa coberta - 360 m ³
P5	Bovinos e suínos	Lagoa coberta - 178,32 m ³
P6	Bovinos e suínos	Lagoa coberta - 360 m ³
P7	Bovinos e suínos	B-40
P8	Bovinos e suínos	B-05
P9	Bovinos	B-20
P10	Bovinos e suínos	Lagoa coberta - 360 m ³
P11	Suínos	B-20
P12	Bovinos e suínos	B-05
P13	Bovinos e suínos	269 m ³
P14	Bovinos	B-20

Fonte: CIBiogás (2018b).

6.2.2 Sistema Ambitec Agroenergia

O Sistema Ambitec Agroenergia (EMBRAPA, 2016), também denominado Sistema Ambitec Bioenergia (SOUZA *et al.*, 2017), é utilizado na análise de impactos ambientais e socioeconômicos da produção de agroenergia ou bioenergia. Apresenta adequações em relação ao Sistema Ambitec Agro, sendo constituído por 2 dimensões (Impactos Ambientais e Impactos Socioeconômicos), 7 aspectos de caracterização (Eficiência Tecnológica, Qualidade Ambiental, Processo Produtivo, Emprego, Renda, Saúde e Gestão e Administração) e 23 critérios (Figura 10) (SOUZA *et al.*, 2017), cujas definições são apresentadas pelo Anexos B e C. Os 23 critérios são formados por um conjunto de 123 indicadores, valorados por coeficientes de alteração que representam os efeitos da inovação tecnológica (Tabela 12).

Tabela 12 - Impacto da atividade e coeficientes de alteração.

Impacto da Atividade	Coeficientes de Alteração dos Indicadores
Grande aumento no indicador (> 25%)	+3
Moderado aumento no indicador (\leq 25%)	+1
Indicador inalterado	0
Moderada diminuição no indicador (\leq 25%)	-1
Grande diminuição no indicador (> 25%)	-3

Fonte: Rodrigues, Campanhola e Kitamura (2003).

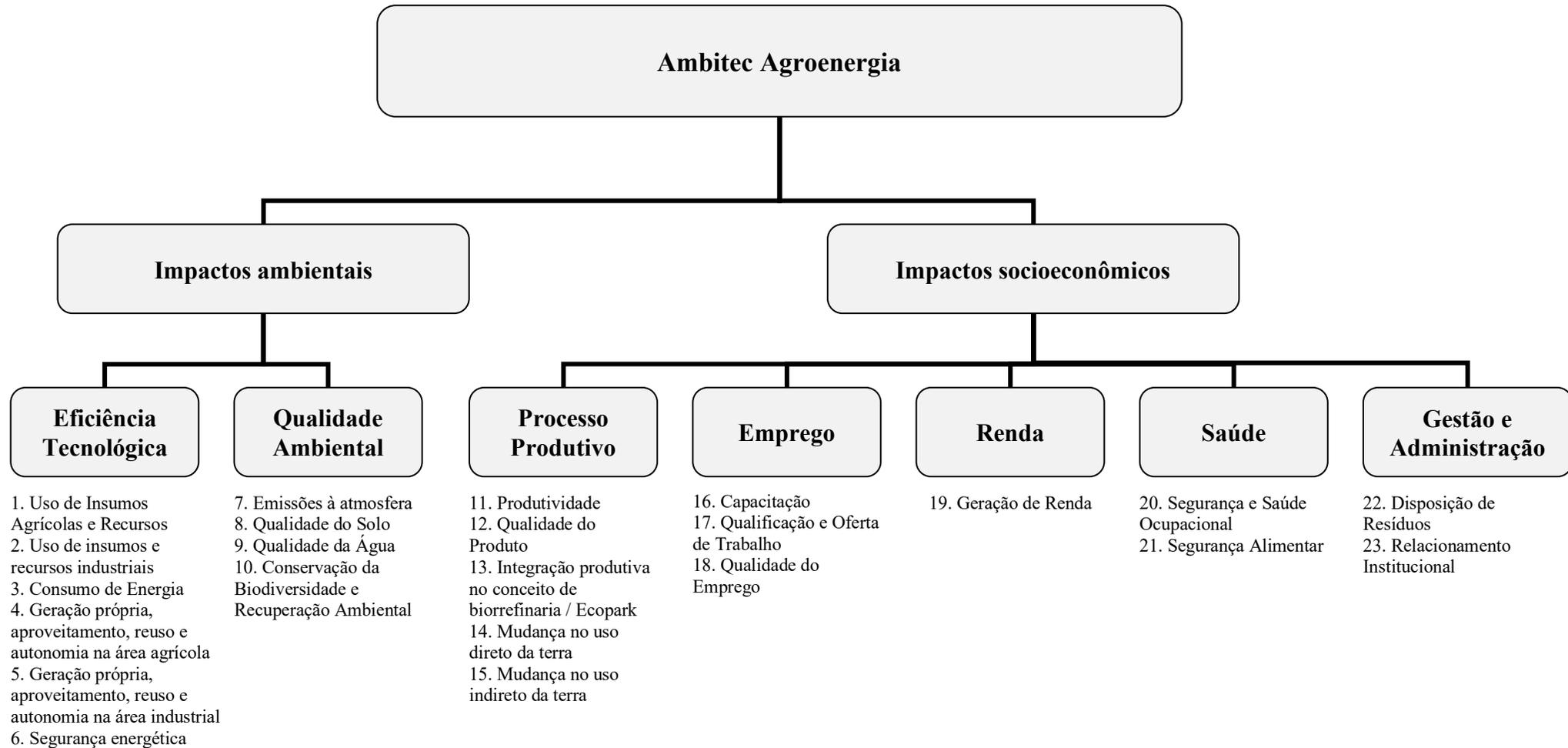
No Sistema Ambitec Agroenergia, enquanto os impactos ambientais das tecnologias de produção de agroenergia são considerados desde a utilização de insumos até os efeitos causados no ambiente ao longo do ciclo de produção, os impactos socioeconômicos consideram o desenvolvimento local sustentável e os processos produtivos e de gestão (SOUZA *et al.*, 2017). Além disso, a escala da ocorrência permite delimitar o espaço onde ocorre o impacto da inovação tecnológica, e implica a multiplicação dos coeficientes de alteração dos indicadores por fatores de ponderação predefinidos, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Fatores de ponderação relativos à escala da ocorrência dos impactos.

Escala Espacial de Ocorrência dos Impactos sobre os indicadores	Fatores de Ponderação
Pontual: campo cultivado ou recinto	1
Local: o estabelecimento rural ou agroindustrial	2
Entorno: além dos limites do estabelecimento	5

Fonte: Rodrigues, Campanhola e Kitamura (2003).

Figura 10 - Estrutura do Conjunto de Dimensões, Aspectos e Critérios do Sistema Ambitec Agroenergia.



Fonte: adaptado de Souza *et al.* (2017).

A Figura 11 exemplifica a matriz de ponderação utilizada na aplicação do Sistema Ambitec Agroenergia para os indicadores do critério geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola.

Figura 11 - Matriz de ponderação do Sistema Ambitec Agroenergia para o critério geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola.

Que alterações foram observadas na geração, aproveitamento e reuso de insumos e energia?								
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Agrícola			Variáveis de autonomia material e energética				Averiguação fatores de ponderação	
			(co) Geração motriz ou elétrica (solar, eólica, hidro, biogás)	Aproveitamento térmico (consumo energético evitado)	Adubo orgânico / esterco, estrume / compostagem / formulados organomine-rais	Adubo verde / fixação biológica N / inoculação micorrízica		Controle biológico / manejo ecológico de pragas e doenças
Fatores de ponderação k			0.3	0.15	0.25	0.15	0.15	1
Escala da ocorrência	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	1	0	3	3	0	0	
	Local	2						
	Entorno	5						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0.45	0.75	0	0	1.20

Fonte: Embrapa (2016).

Os índices de impacto ambiental e socioeconômico da tecnologia foram obtidos a partir da inserção dos coeficientes de alteração nas matrizes e nas planilhas das dimensões de impactos ambientais e socioeconômicos (Anexo A), enquanto o índice geral de impacto da atividade envolve a ponderação dos critérios de impacto da atividade de acordo com a importância de cada critério (Tabela 14).

Tabela 14 - Fatores de ponderação de importância dos critérios de impacto da atividade.

Crítérios de impacto da atividade	Importância do critério
Uso de Insumos Agrícolas e Recursos	0.04
Uso de Insumos e Recursos Industriais	0.05
Consumo de Energia	0.05
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Agrícola	0.04
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Industrial	0.04
Segurança energética	0.05
Emissões à Atmosfera	0.04
Qualidade do Solo	0.04
Qualidade da Água	0.05
Conservação da Biodiversidade e Recuperação Ambiental	0.05
Produtividade	0.04
Qualidade do Produto	0.04
Integração produtiva no conceito de biorrefinaria / Ecopark	0.04
Mudança no uso direto da terra	0.04
Mudança no uso indireto da terra	0.04
Capacitação	0.04
Qualificação e Oferta de Trabalho	0.04
Qualidade do Emprego	0.05
Geração de Renda	0.05
Segurança e Saúde Ocupacional	0.05
Segurança Alimentar	0.04
Disposição de Resíduos	0.04
Relacionamento Institucional	0.04

Fonte: Embrapa (2016).

6.2.3 Caracterização do local

Os dados de caracterização geral do município e dos agricultores familiares de Marechal Cândido Rondon/PR são apresentados pela Tabela 15.

Tabela 15 - Dados de caracterização geral do município e dos agricultores familiares de Marechal Cândido Rondon/PR.

Informações	Marechal Cândido Rondon/PR
População residente - 2010	46.819 pessoas
Área (2016)	748 km ²
Região Hidrográfica	Paraná
Bacia Hidrográfica	Rio Paraná III
Classificação climática (Köppen)	Clima subtropical úmido (Cfa)
Precipitação média anual	1600 a 1800 mm
Temperatura média anual	20,1°C
Mesorregião	Oeste Paranaense
Microrregião	Toledo
Agricultores familiares (DAP ativa)	1.436 pessoas
Empreendimentos familiares rurais	2.054 unidades
Área média (empreendimentos familiares rurais)	16,81 ha
Pronaf (safra 2017/2018)	2.032 contratos
Pronaf (safra 2017/2018) - montante	R\$ 73.458.633,68
Pronaf (safra 2017/2018) - valor médio dos contratos	R\$ 36.150,90
Pecuária (galináceos)	3.657.796 cabeças
Pecuária (suínos)	520.929 cabeças
Pecuária (bovinos)	47.995 cabeças
Pecuária (caprinos)	550 cabeças
Pecuária (ovinos)	2.700 cabeças
Dejetos animais	866.068 Toneladas/ano
PIB per capita a preços correntes (2014)	R\$ 35.739,55
Rendimento médio mensal dos domicílios - Rural	R\$ 2.625,14
Rendimento mensal per capita dos domicílios - Rural	R\$ 604,00
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - 2010	0,77 (alto)

Fonte: ANA (2017), BCB (2018b), Brasil (2017e), IAPAR (2017), IBGE (2016a, 2017a), Pontes (2014), Verslype *et al.* (2015).

6.2.4 Análise estatística dos dados

Os dados coletados a campo foram tratados estatisticamente, gerando informações para a análise e discussão sobre os impactos percebidos pelos agricultores familiares pela produção de biogás no Condomínio Ajuricaba. A análise e discussão dos resultados considerou as 2 dimensões (Impactos Ambientais e Impactos Socioeconômicos), 7 aspectos de caracterização (Eficiência Tecnológica, Qualidade Ambiental, Processo Produtivo, Emprego, Renda, Saúde e Gestão e Administração) e 23 critérios. Os impactos foram calculados pela variação nos índices das dimensões, nos indicadores agregados e nos coeficientes dos critérios.

Os resultados das médias ponderadas para cada momento analisado foram expressos em uma escala de ±15. Sendo assim, a alteração dos resultados entre os momentos analisados pode variar numa escala de ±30. Os impactos maiores que zero são considerados como favoráveis e menores que zero como deletérios.

As respostas de cada agricultor familiar resultaram em duas tabelas de resumo da análise de impacto geral, uma contendo os índices de impactos antes da alteração tecnológica e produtiva, e outra após a alteração tecnológica e produtiva. Os dados sobre as diferenças/variação de todos os agricultores familiares foram organizados em uma terceira tabela, para que fosse possível a obtenção das médias dos coeficientes e índices analisados para posterior análise estatística e descritiva.

A partir dessa tabela, foi calculado o Percentual de Impacto da Tecnologia individual por produtor (PIT) (SOARES *et al.*, 2015). Esta medida apresenta valores positivos ou negativos, indicando se o índice de impacto mensurado entre os dois momentos (antes e depois) foi crescente ou decrescente. Esta mesma medida também indica a intensidade ou magnitude relacionada a estes índices de impacto na mudança dos momentos. A fórmula utilizada para o cálculo está descrita abaixo:

$$PIT_i = \left(\frac{\mu_{2i} - \mu_{1i}}{AM} \right) \times 100$$

Onde:

PIT_i : Percentagem de Impacto da Tecnologia do indivíduo i , $i=1..n$;

μ_{2i} : Índice de impacto depois da introdução da tecnologia, referente ao indivíduo i ;

μ_{1i} : Índice de impacto antes da introdução da tecnologia, referente ao indivíduo i ;

AM : Amplitude máxima possível da escala Ambitec (= 30).

Para se obter a percentagem de impacto geral da tecnologia do grupo de produtores com n indivíduos participantes da amostra, procede-se da seguinte forma:

$$PIT = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \mu_{2i} - \sum_{i=1}^n \mu_{1i}}{n \cdot AM} \right) \times 100$$

Onde:

PIT: Percentagem de Impacto Geral da Tecnologia;

n : Número total de produtores;

$\sum_{i=1}^n \mu_{2i}$: Somatório dos índices de impacto referente ao momento após a introdução da tecnologia dos n indivíduos;

$\sum_{i=1}^n \mu_{1i}$: Somatório dos índices de impacto referente ao momento anterior à introdução da tecnologia dos n indivíduos;

AM : Amplitude máxima possível da escala Ambitec (= 30).

De forma semelhante ao PIT geral dos produtores, também foi calculado o PIT para cada uma das duas dimensões analisadas (PIT ambiental e PIT socioeconômico), utilizando somente os coeficientes dos critérios e pesos que compõem cada dimensão. Assim, foram calculados tanto o PIT geral, o PIT individual por produtor e o PIT das duas dimensões que compõem o Sistema Ambitec Agroenergia.

Além disso, foi aplicada a técnica de análise de agrupamento (cluster) (SOARES *et al.*, 2015) visando identificar as causas da semelhança nas respostas dadas pelos agricultores familiares, que foram agrupados de acordo com o resultado da variação dos coeficientes dos critérios e dos índices individuais de impacto do Sistema Ambitec Agroenergia. A medida de similaridade adotada foi a “Distância Euclidiana Quadrática” e o método aglomerativo utilizado foi o método hierárquico de ligação de “Ward”. Como houveram diferenças significativas entre os diferentes momentos questionados para cada critério que compõem as dimensões, foi realizado o teste não paramétrico de Wilcoxon, para amostras emparelhadas, ao nível de significância de 5%.

A análise de cluster e o teste não paramétrico de Wilcoxon foram realizados pelo programa de tratamento estatístico *R Project for Statistical Computing* versão 3.5.0. As análises estatísticas foram realizadas na Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, que dispõe do software citado.

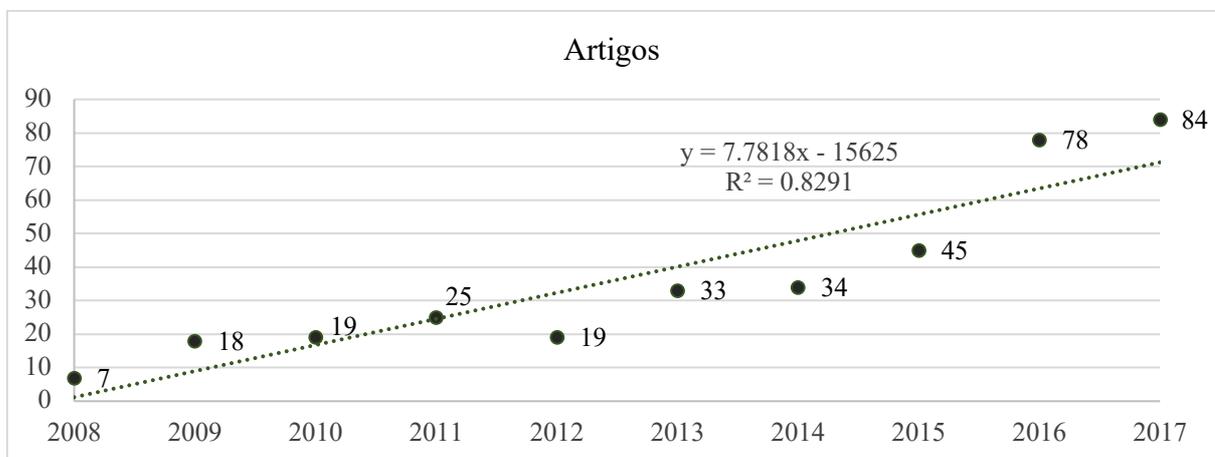
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Agricultura familiar e produção de biogás: estado da arte na academia brasileira

7.2.1 Visão geral sobre as publicações brasileiras relacionadas a produção de biogás

A pesquisa em periódicos indexados à base de dados *Web of Science* recuperou 362 artigos completos publicados de 2008 a 2017 com a participação de pelo menos um autor brasileiro, relacionados com a produção de biogás. Houve aumento de 28% ao ano no volume de publicações ao longo de todo o período (Figura 12), o que pode ter relação com as regulamentações da geração descentralizada de energia (ANEEL, 2012, 2015) e da produção e comercialização de biometano (ANP, 2015) e, em conjunto, com a implementação de novas plantas e aumentos na produção brasileira de biogás. Entre 2014 e 2017, as taxas médias anuais de crescimento das publicações acadêmicas e da oferta interna de energia do biogás publicadas pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2016a, b, 2018a, b) foram idênticas, de 38% ao ano. Na Europa, o crescimento no volume de publicações foi motivado por políticas públicas implementadas em resposta à crise energética do início dos anos 2000 (GRANDO *et al.*, 2017).

Figura 12 - Evolução do número de publicações brasileiras sobre biogás de 2008 a 2017.



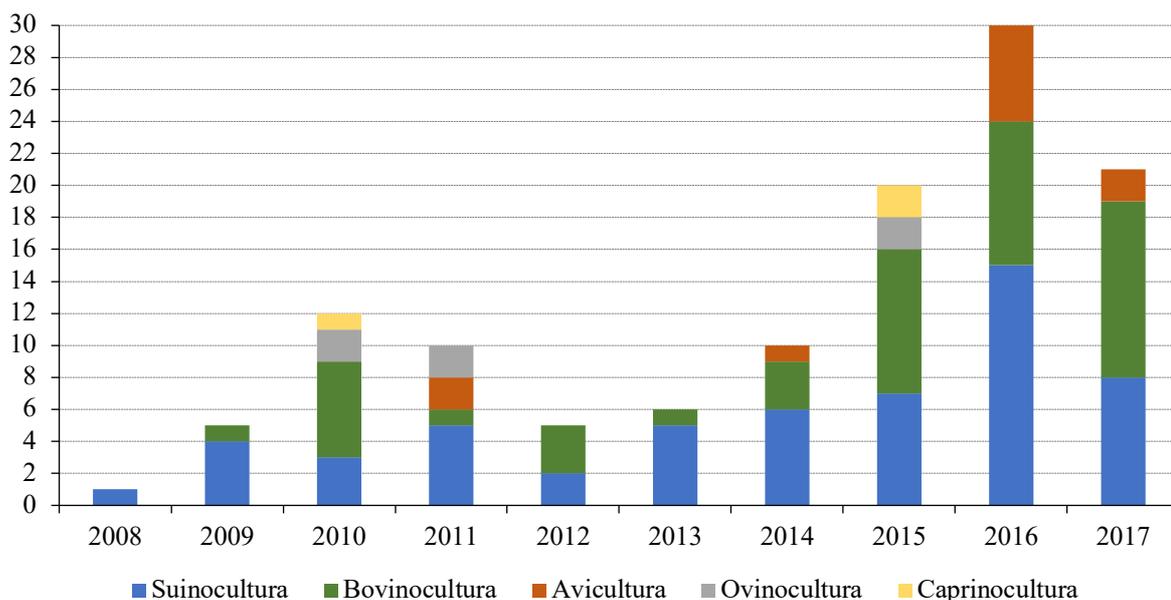
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos substratos estudados para a produção de biogás, os resultados da mineração de textos do título, resumo (*Abstract*) e palavras-chave (*Keywords*) pelo *software* Vantage Point® mostra que as publicações abordam pesquisas sobre a utilização de efluentes de agroindústrias (32% dos trabalhos), dejetos da produção animal (31%), esgoto doméstico (15%) e resíduos sólidos urbanos (13%). Alguns trabalhos abordam mais de um tipo de biomassa (*e.g.* Salomon & Lora, 2009). Em relação às tendências atuais de pesquisa, há estudos relacionados ao pré-tratamento da biomassa (8% - *e.g.* Carrere *et al.*, 2016), co-digestão (9% - *e.g.* Mazareli *et al.*, 2016) e utilização de microalgas (6% - *e.g.* Uggetti *et al.*, 2017).

As pesquisas sobre efluentes de agroindústrias (32%) abordam, em grande maioria, a utilização de vinhaça pelo setor sulcroatcooleiro (18%, *e.g.* Moraes; Zaiat; Bonomi, 2015), mas há também pesquisas sobre a utilização de glicerina pelas usinas de produção de biodiesel (6% - *e.g.* Robra *et al.*, 2010) e de resíduos da produção de fécula de mandioca (5% - *e.g.* Sánchez *et al.*, 2017).

Em relação à utilização de resíduos da produção animal (31%), há predomínio de pesquisas relacionadas ao manejo de dejetos da suinocultura (15% - *e.g.* Amaral *et al.*, 2016) e bovinocultura (12% - *e.g.* Costa *et al.*, 2016) e, em menor escala, da avicultura (3% - *e.g.* Dornelas, Schneider e Amaral, 2017), caprinocultura (2% - *e.g.* Borges Neto *et al.*, 2010) e ovinocultura (1%, *e.g.* Orrico e Orrico, 2015). A Figura 13 apresenta a distribuição do número absoluto de artigos publicados por ano.

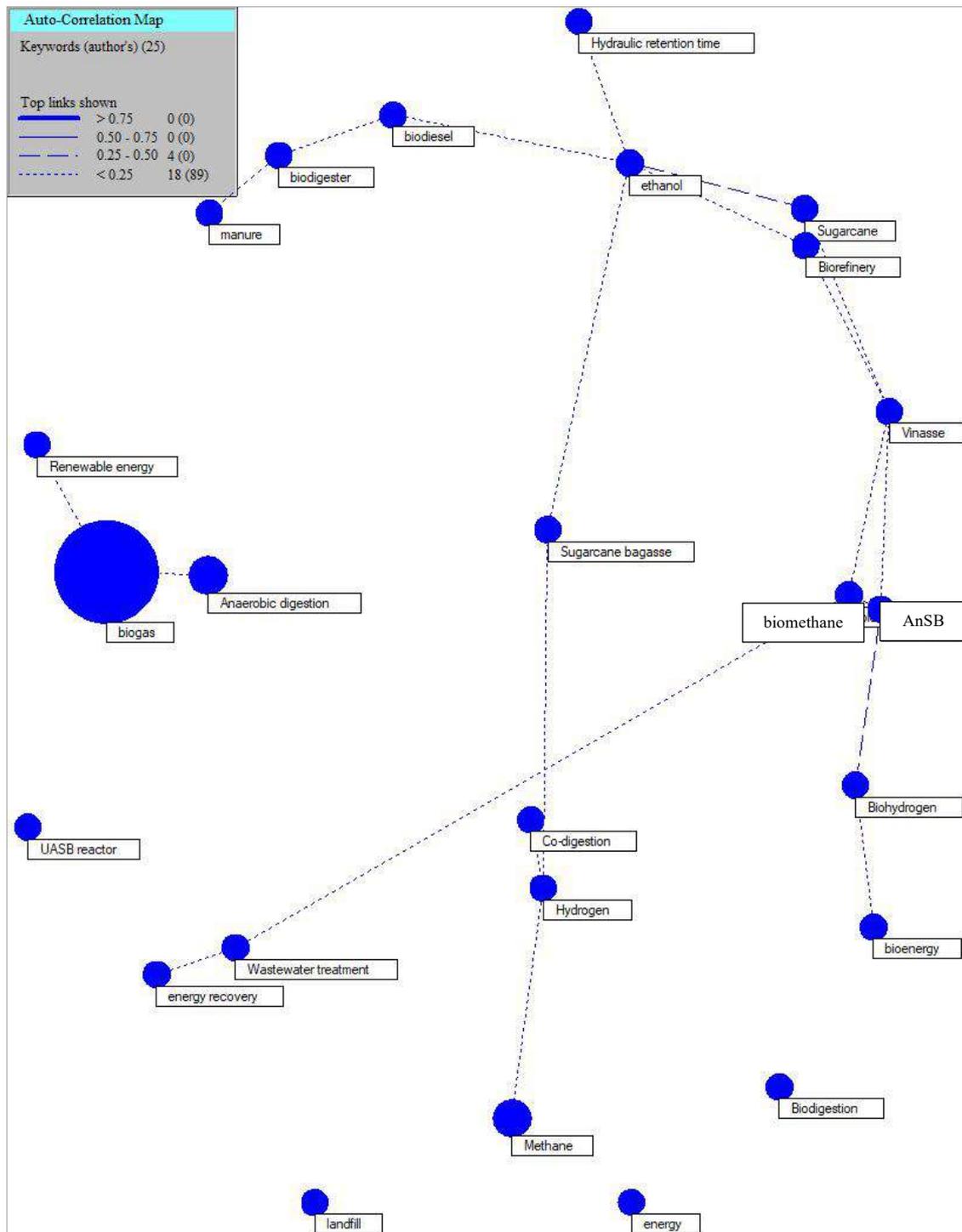
Figura 13 - Distribuição do número de publicações sobre a produção de biogás a partir de dejetos animais (2008 a 2017).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir a análise do grau de correlação entre as 25 palavras-chave mais utilizadas (presentes em 83% dos artigos), realizada pelo software Vantage Point®, é possível afirmar que há baixo grau de correlação (< 25) entre as pesquisas relacionadas aos principais resíduos com potencial de produção de biogás no âmbito do agronegócio (Figura 14).

Figura 14 - Correlação entre as 25 palavras-chave¹³ mais utilizadas pelos 362 artigos.



Fonte: Elaborado pelo autor. Imagem gerada pelo software Vantage Point® (2018) a partir das 25 palavras-chave mais utilizadas nos 362 artigos extraídos da base Web of Science.

¹³ *Anaerobic digestion*: digestão anaeróbia; *AnSBBR (anaerobic sequencing batch biofilm reactor)*: reator operado em bateladas seqüenciais com biofilme ou reator *AnSBBR*; *biodiesel*: biodiesel; *biodigestion*: biodigestão; *biodigester*: biodigestor; *bioenergy*: bioenergia; *biogas*: biogás; *biohydrogen*: biohidrogênio; *biorefinery*: biorrefinaria; *co-digestion*: co-digestão; *energy*: energia; *energy recovery*: recuperação de energia; *ethanol*: etanol; *hydraulic retention time*: tempo de retenção hidráulica; *hydrogen*: hidrogênio; *landfill*: aterro; *methane*: metano; *sugarcane*: cana-de-açúcar, *UASB (upflow anaerobic sludge blanket) reactor*: reator anaeróbio de fluxo ascendente ou reator UASB; *vinasse*: vinhaça; *wastewater treatment*: tratamento de resíduos líquidos.

Os maiores graus de correlação (0,25 a 0,50) foram observados entre pesquisas que utilizam as palavras-chave etanol e cana-e-açúcar e as palavras-chave biohidrogênio e reator AnSBBR. Ainda que haja um volume expressivo de publicações sobre purificação (12,2% - *e.g.* Leme e Seabra, 2017) e reforma do biogás (7,3% - *e.g.* Alves *et al.*, 2013), a Figura 14 mostra que esses estudos não apresentam correlação com pesquisas relacionadas ao uso de dejetos animais (31%).

7.2.2 Agricultura familiar, produção de biogás e formas alternativas de organização empresarial

A partir da mineração de textos do título, resumo (*Abstract*) e palavras-chave (*Keywords*) dos 362 artigos pelo *software* Vantage Point®, foram agrupados 15 artigos contendo palavras e expressões que possibilitassem correlacionar a agricultura familiar à produção de biogás (Tabela 16). Os 15 artigos foram classificados quanto ao enfoque teórico (DUARTE; THOMÉ, 2015) e quanto à relevância científica pelo Índice Ordinatio (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

Tabela 16 – Classificação dos artigos quanto ao enfoque teórico e relevância científica pelo Índice Ordinatio.

Título	Autor(es) / Ano	Periódico	FI ¹⁴	ΣCi ¹⁵	Índice Ordinatio	Enfoque
Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas	Borges Neto <i>et al.</i> (2010)	Energy Policy	4.039	55	65.004	Direto
Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries	Coelho & Goldemberg (2013)	Energy Policy	4.039	36	61.004	Indireto
Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy	Coimbra-Araújo <i>et al.</i> (2014)	Renewable & Sustainable Energy Reviews	9.184	28	58.009	Direto
Thermodynamic simulation model for predicting the performance of spark ignition engines using biogas as fuel	De Faria <i>et al.</i> (2017)	Energy Conversion and Management	6.377	9	54.006	Indireto

¹⁴ Foi atribuído o fator de impacto (FI) atribuído pelo *Journal Citation Reports* (JCR, 2018). Para as revistas não indexadas ao JCR, foi considerado o fator de impacto atribuído pelo CiteScore (SCOPUS, 2018). Já para as revistas não indexadas ao JCR ou CiteScore, foi utilizado o fator de impacto atribuído pelo Scimago (SCIMAGO, 2018).

¹⁵ O número de citações (ΣCi) foi obtido por meio de pesquisa no Google Acadêmico (GOOGLE, 2018).

Título	Autor(es) / Ano	Periódico	FI	ΣCi	Índice Ordinatio	Enfoque
Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing	Mayerle & Figueiredo (2016)	Renewable Energy	4.900	11	51.005	Direto
Biogas from poultry waste-production and energy potential	Dornelas <i>et al.</i> (2017)	Environmental Monitoring and Assessment	1.804	3	48.002	Geral
Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source	Souza <i>et al.</i> (2013)	Renewable & Sustainable Energy Reviews	9.184	21	46.009	Indireto
Analysis of the socio-economic feasibility of the implementation of an agro-energy condominium in western Parana - Brazil	Almeida <i>et al.</i> (2017)	Renewable & Sustainable Energy Reviews	9.184	1	46.009	Direto
A systemic approach for dimensioning and designing anaerobic bio-digestion/energy generation biomass supply networks	Figueiredo & Mayerle (2014)	Renewable Energy	4.900	12	42.005	Direto
Economic feasibility of biogas production in swine farms using time series analysis	Rockenbach <i>et al.</i> (2016)	Ciência Rural	0.525	0	40.001	Direto
Manure as a Resource: Livestock Waste Management from Anaerobic Digestion, Opportunities and Challenges for Brazil	Mathias (2014)	International Food and Agribusiness Management Review	0.545	9	39.001	Geral
Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Parana	Ribeiro & Raiher (2013)	Energy Policy	4.039	13	38.004	Geral
Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica	Cervi <i>et al.</i> (2010)	Engenharia Agrícola	0.387	5	15.000	Geral
Anaerobic digestion of goat and sheep wastes in a continuous reactor of flexible PVC	Quadros <i>et al.</i> (2010)	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	0.619	2	12.001	Direto
Planejamento energético rural assistido por computador	Borges Neto & Carvalho, (2009)	Engenharia Agrícola	0.387	0	5.000	Geral

Fonte: elaborado pelo autor.

A maioria dos estudos publicados apresentam enfoque direto (7) sobre a produção de biogás pela agricultura familiar, mas 5 estudos são caracterizados pelo enfoque geral e 3 indireto. Grande parte dos estudos foi realizada por autores vinculados a instituições situadas na região Sul, sendo 6 universidades públicas (UNIOESTE/PR, UFSC, UFTPR, UFPR, UFSM e UEPG/PR), o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) e o CIBiogás. Os demais estudos foram produzidos por instituições públicas localizadas nas regiões Sudeste (UFRJ, UNESP e USP) e Nordeste (EBDA/BA¹⁶, IFPE, UFC e UNEB). O artigo com a maior relevância científica (InOrdinatio = 65,004) trata do desenvolvimento de sistema híbrido de geração solar fotovoltaica e digestão anaeróbia abastecido por dejetos da caprinocultura (BORGES NETO *et al.*, 2010).

Como esperado, o subtema mais focalizado nas pesquisas analisadas foi o aproveitamento energético de dejetos da suinocultura, atividade altamente concentrada na região Sul. No terceiro trimestre de 2018, a região Sul respondeu por 66,1% do abate nacional de suínos, seguida pelas regiões Sudeste (18,4%), Centro-Oeste (14,6%), Nordeste (0,8%) e Norte (0,1%) (IBGE, 2018).

De forma geral, as publicações científicas sobre a produção de biogás pela agricultura familiar brasileira apresentam características variadas, mas foram verificadas convergências para pesquisas relacionadas a duas temáticas: análise de viabilidade econômica (CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010; ROCKENBACH; SOUZA; OLIVEIRA, 2016) e mecanismos de cooperação econômica, como condomínios de agroenergia (ALMEIDA *et al.*, 2017; COIMBRA-ARAÚJO *et al.*, 2014; RIBEIRO; RAIHER, 2013) e complexos de biodigestão anaeróbia e produção de energia (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014; MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016). Há um único artigo que trata das duas temáticas, apresentando resultados da análise da viabilidade econômica da implementação de um condomínio de agroenergia (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Um interessante estudo sobre análise da viabilidade econômica mostra que a produção de biogás constitui uma alternativa viável para a suinocultura de larga escala, tanto em simulações para sistemas produtivos de ciclo completo como terminação (ROCKENBACH; SOUZA; OLIVEIRA, 2016). Em vários cenários, os autores apontam que o período de retorno foi consideravelmente reduzido à medida em que houve aumento no rebanho. Como exemplo,

¹⁶ A Empresa Baiana de Desenvolvimento de Desenvolvimento Agrícola S.A (EBDA) foi extinta em 2015 e teve suas atribuições absorvidas pela Superintendência Baiana de Assistência Técnica e Extensão Rural - Bahiater e pela Secretaria de Desenvolvimento Rural - SDR (Bahia, 2015).

no cenário ciclo completo com geração de energia elétrica o período de retorno caiu de 180 meses, numa granja com 200 matrizes, para 50 meses, considerando uma granja com 750 matrizes.

A baixa economia de escala e competitividade constituem desvantagens organizacionais diretamente relacionadas com o aumento nos custos de transação (VALENTINOV, 2007) e, por conseguinte, à inviabilização de algumas atividades de pequeno escala desenvolvidas em estabelecimentos familiares rurais. Além disso, a escassez de informações e a liquidez dificultam a participação em segmentos com maior grau de especialização (WOLLNI; ZELLER, 2007).

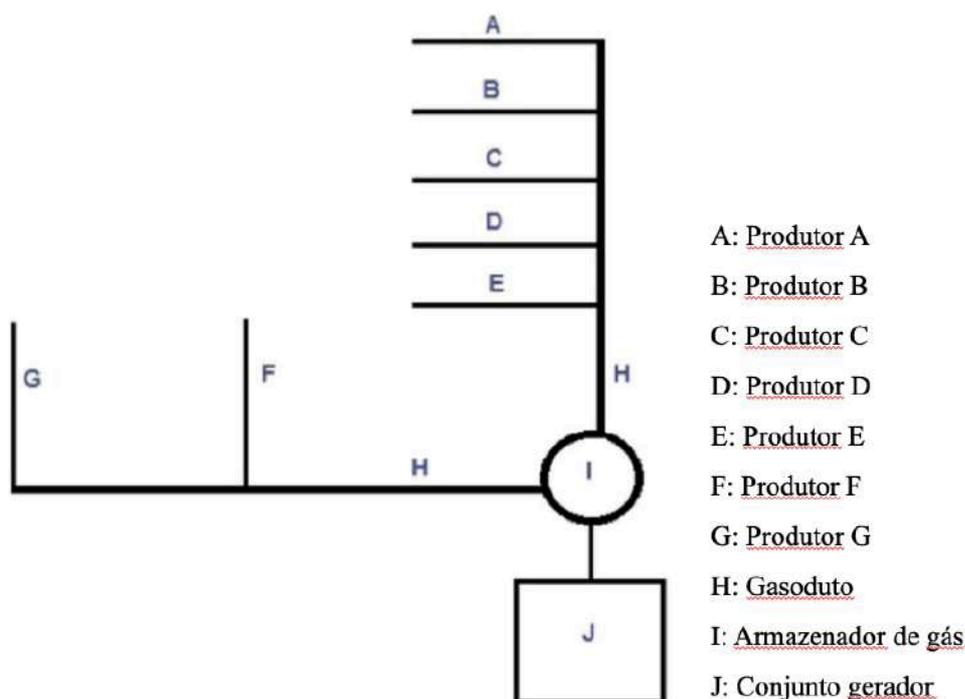
No entanto, formas alternativas de organização empresarial podem mitigar desvantagens competitivas inerentes à pequenos empreendimentos, sobretudo aqueles familiares (VALENTINOV, 2007). Ocorre que os agricultores familiares são facilmente excluídos das demandas provenientes da evolução do mercado (WOLLNI; ZELLER, 2007) e, independentemente da forma de cooperação, devem integrar mecanismos de cooperação econômica que permitam o desenvolvimento de novas atividades produtivas em nível competitivo. Em geral, o fato dos agricultores familiares integrarem cooperativas ou associações afeta positivamente a geração de renda (HERRERA *et al.*, 2018) dada a redução nos custos de transação (VALENTINOV, 2007).

Entretanto, como o cooperativismo é desenvolvido sob a égide do binômio atuação governamental eficiente e empreendimentos rurais competitivos, novas formas associativas e de cooperação econômica, como os condomínios rurais, poderiam ser mais adequados à uma fatia significativa da agricultura familiar (ANJOS; MOYANO-ESTRADA; CALDAS, 2011) (MOYANO-ESTRADA; ANJOS, 2001). Além de analisar o cooperativismo no sul do Brasil, esses estudos conceituam os condomínios como novos mecanismos de cooperação econômica iniciados por suinocultores nos anos 1980, no estado de Santa Catarina, fortemente orientados por interesses sociais e coletivos, mas regulados por aspectos legais, financeiros e contábeis mais simplificados que as demais formas de cooperação econômica.

Os resultados da análise da viabilidade econômica de um condomínio de agroenergia mostraram viabilidade na produção de biogás em estabelecimentos familiares rurais (ALMEIDA *et al.*, 2017). Nesse estudo, foram consideradas 7 pequenas propriedades, com a utilização de dejetos da bovinocultura (25 a 80 animais) e suinocultura (500 a 2050 animais em terminação) para o abastecimento dos biodigestores. Na simulação, considerou-se um biodigestor por propriedade, mas foi dimensionado um gasoduto para o transporte do excedente de biogás não utilizado nas propriedades para uma microcentral termoeletrica (Figura 15). Nos

4 cenários de geração de energia elétrica estudados, o período de retorno variou de 3,72 a 6,56 anos.

Figura 15 - Esquematização de um condomínio de agroenergia.



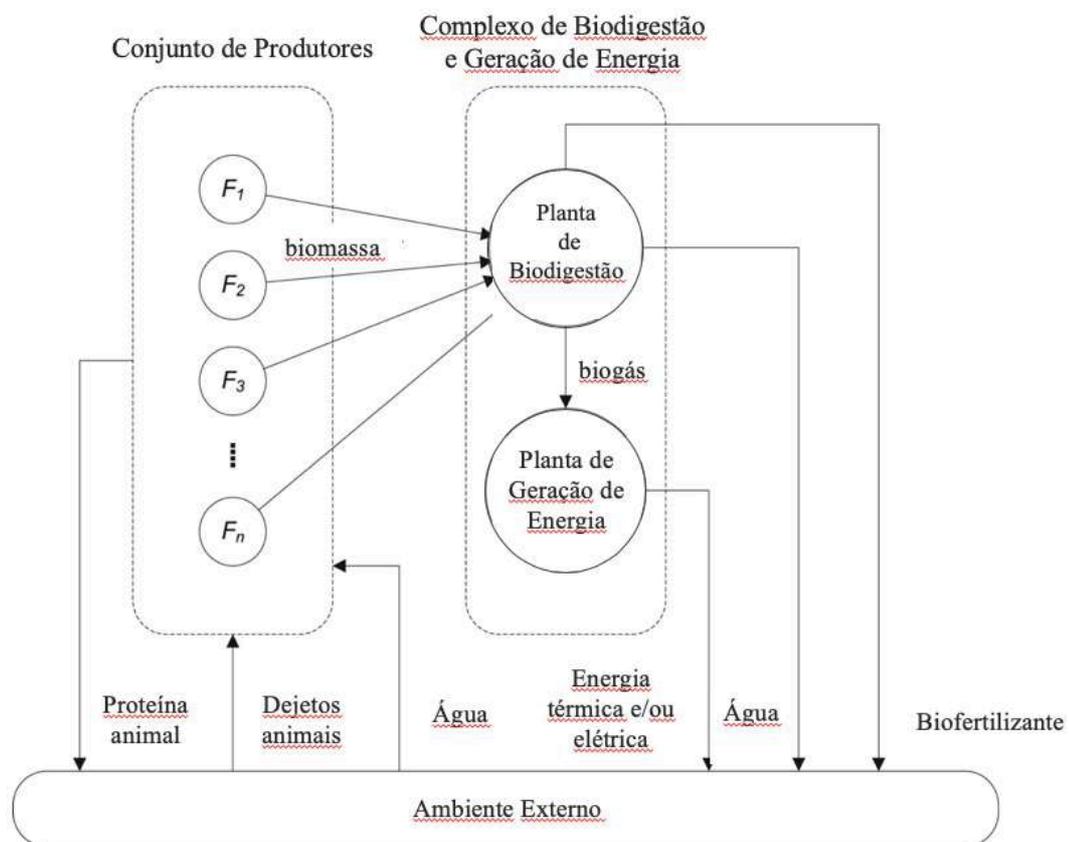
Fonte: Almeida *et al.* (2017).

Além da geração de energia para comercialização ou compensação da energia elétrica consumida no condomínio, o biogás pode ser utilizado na geração de energia térmica em fogões e secadores de grãos, ou comercializado para a geração de energia térmica em agroindústrias próximas ao condomínio (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Os complexos de biodigestão anaeróbia e produção de energia constituem outra concepção de projeto coletivo de produção de biogás, onde a biomassa é transportada das pequenas propriedades, por meio de caminhões ou tratores, para uma planta de digestão anaeróbia de médio a grande porte. Podem apresentar diferentes configurações, variáveis em função da localização e número de propriedades, já que os custos de transporte de dejetos são elevados e têm relação direta com a viabilidade dos projetos (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014). Diante disso, os estudos desenvolveram modelagens conceituais, matemáticas e analíticas de planejamento, visando otimizar o suprimento de dejetos animais provenientes de pequenas propriedades (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014; MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016).

Atualmente, há grande variação na terminologia utilizada para a classificação das plantas coletivas de produção de biogás (LINDKVIST; KARLSSON, 2018) e, portanto, os complexos de biodigestão anaeróbia e geração de energia (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014; MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016) apresentam estrutura (Figura 16) semelhante às plantas comunitárias ou centralizadas implementadas na Índia (REDDY, 2004) e Europa (VASCO-CORREA *et al.*, 2017).

Figura 16 - Esquematização de um complexo de biodigestão anaeróbia e geração de energia.



Fonte: Figueiredo e Mayerle (2014).

Os complexos de biodigestão anaeróbia e produção de energia podem apresentar diferentes configurações, variáveis em função da localização e número de propriedades, já que os custos de transporte de dejetos são elevados e têm relação direta com a viabilidade dos projetos (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014). Diante disso, os estudos desenvolveram modelagens conceituais, matemáticas e analíticas de planejamento, visando otimizar o suprimento de dejetos animais provenientes de pequenas propriedades (FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014; MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016). Embora haja diferença na terminologia, os complexos de biodigestão anaeróbia e geração de energia apresentam escopo

semelhante às plantas comunitárias ou centralizadas implementadas na Índia (Reddy, 2004) e Europa (VASCO-CORREA *et al.*, 2017). Há grande variação na terminologia utilizada para a classificação das plantas de biogás (LINDKVIST; KARLSSON, 2018).

No entanto, além da conceituação, é importante analisar os fatores que influenciam no processo de implementação desses projetos. Na Dinamarca, as plantas comunitárias foram impulsionadas por incentivos governamentais, inovações tecnológicas e ganhos de economia de escala em relação às plantas individuais e, para a estruturação organizacional, foram constituídas cooperativas contendo entre 5 e 100 produtores rurais (RAVEN; GREGERSEN, 2007). No mesmo sentido, algumas plantas comunitárias italianas de produção de biogás foram organizadas por meio de cooperativas, cuja emergência vem sendo motivada por características institucionais das comunidades (WIRTH, 2014). Considerando 'comunidade' uma categoria analítica, esse estudo sugere que três características institucionais vêm impulsionando o surgimento de cooperativas de biogás: espírito de comunidade, tradição cooperativa e normas de localidade e responsabilidade.

No Brasil, embora a implementação de mecanismos de cooperação econômica voltados à produção de biogás ainda seja incipiente, pode ser destacado o projeto piloto denominado Condomínio Ajuricaba. Ainda que sejam necessárias análises mais aprofundadas por diferentes abordagens teóricas e metodológicas, os estudos apontam que pode haver viabilidade econômica na implementação de condomínios de agroenergia (ALMEIDA *et al.*, 2017) e que a conexão das pequenas propriedades por gasodutos constitui uma tecnologia social rural que pode permitir a inclusão de empreendimentos familiares rurais à cadeia produtiva do biogás (COIMBRA-ARAÚJO *et al.*, 2014). Os próximos subitens apresentam resultados da análise de impactos ambientais e socioeconômicos percebidos pelos agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba.

7.2 Análise de impactos ambientais e socioeconômicos do Condomínio Ajuricaba

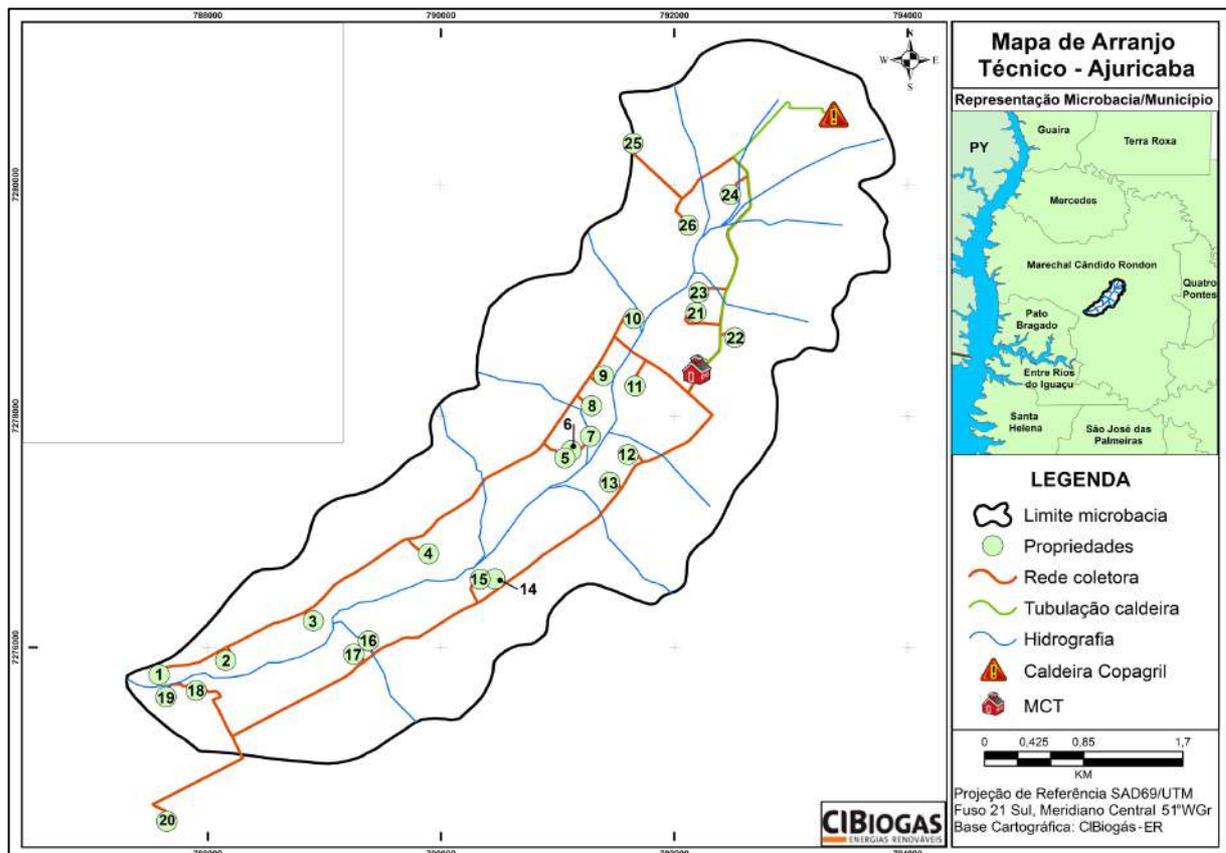
7.2.1 Dados gerais de caracterização

O Condomínio Ajuricaba foi implementado a partir de 2009, com a instalação de biodigestores visando o aproveitamento energético de dejetos da bovinocultura de leite e suinocultura em 33 estabelecimentos familiares rurais localizados na microbacia do Córrego Ajuricaba, na sub-bacia do Rio São Francisco Verdadeiro. Os biodigestores foram conectados a um gasoduto de 25,5 quilômetros para o transporte do excedente de biogás - não utilizado nos fogões das propriedades - para uma central de armazenamento, visando a alimentação de um

secador de grãos comunitário e a geração de energia elétrica em uma microcentral termelétrica. Como o projeto constitui um piloto, foram feitas adequações motivadas por aspectos técnicos, econômicos e mudanças no ambiente institucional.

Atualmente, o Condomínio Ajuricaba é constituído por 25 agricultores familiares (Figura 17) e o excedente de biogás vem sendo comercializado junto à Cooperativa Agroindustrial Copagril (Copagril) por meio de um gasoduto que conecta a central de armazenamento de biogás do condomínio à Unidade Industrial de Aves da cooperativa. A Copagril, que vem utilizando o biogás para a alimentação de caldeiras, apresenta mais de 60% (2.247) de agricultores familiares com DAP ativa e, por isso, é reconhecida como uma Cooperativa Singular da Agricultura Familiar (BRASIL, 2018b, d). Conforme mostrado adiante, alguns agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba também são associados à Copagril.

Figura 17 - Mapa do Condomínio Ajuricaba.



Fonte: CIBiogás (2018b).

Atualmente, o Condomínio Ajuricaba apresenta uma média mensal de produção de cerca de 4 mil metros cúbicos (m^3) de biogás. Dentre os 25 produtores que compõem o condomínio, há 19 produzindo biogás regularmente. Foram coletados e analisados os dados em

14 propriedades, sendo 13 produtoras regulares de biogás (Tabela 17). A maior fatia do biogás (89%) é produzida em 4 propriedades, que também apresentam o maior plantel de suínos (93%). A área média das propriedades do Condomínio Ajuricaba é de 17,45 ha, valor próximo à médias geral do município de Marechal Cândido Rondon/PR (16,81 ha) e superior à media geral (14,03 ha) do estado do Paraná (IBGE, 2006). Também é superior à área média dos estabelecimentos familiares rurais localizados na região sul (15,51 ha), mas inferior à média brasileira (19,06 ha) (HERRERA *et al.*, 2017).

Tabela 17. Dados gerais da produção de biogás no Condomínio Ajuricaba.

Agricultores familiares	Área total (ha)	Bovinocultura		Suinocultura			Produção média mensal de biogás (m ³ /mês)	Biodigestor
		Vacas de leite	Outros bovinos	Creche	Terminação	Ciclo Completo		
P1	7,50	19	29				99,35	B-20
P2	37,00	27	15			2	32,33	B-10
P3	14,40	28	21				73,86	B-40
P4	12,10				820		773,75	Lagoa coberta - 360 m ³
P5	11,00	1	3	3700			242,45	Lagoa coberta - 178,32 m ³
P6	12,10		4		600		544,86	Lagoa coberta - 360 m ³
P7	21,78	38	50			9	0,00	B-40
P8	12,10	5				1	21,11	B-05
P9	6,05	19	9				54,89	B-20
P10	24,20	7	11		650		1.959,67	Lagoa coberta - 360 m ³
P11	31,46					26	42,65	B-20
P12	7,74	14	15		6		51,56	B-05
P13	30,25	2	1		380		21,01	Lagoa coberta - 269 m ³
P14	16,70	35	31				29,71	B-20
Total	244,38	195	189	3.700	2.456	38	3.947,20	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do *Survey* e CIBiogás (2018b).

Há 53 pessoas vivendo nas propriedades e, destas, 35 diretamente envolvidas nas atividades agrícolas. É importante lembrar que embora as atividades agrícolas constituam os maiores grupos de trabalhadores nos espaços rurais brasileiros, tais ocupações apresentaram queda a partir dos anos 90, enquanto as ocupações não agrícolas cresceram significativamente no mesmo período (DEL GROSSI; GRAZIANO DA SILVA, 2002). A presença significativa das atividades não agrícolas também foi constatada em estudos sobre o meio rural gaúcho, onde quase metade das famílias foram categorizadas como pluriativas pela combinação de atividades agrícolas e não agrícolas (SCHNEIDER *et al.*, 2006). Embora apresentem contribuição para a

elevação e estabilidade de renda (DEL GROSSI; GRAZIANO DA SILVA, 2002) e impacto positivo na produtividade (HERRERA *et al.*, 2018), a pluriatividade e as ocupações rurais não-agrícolas devem estar concatenadas com políticas públicas de acesso à terra, mercados, assistência técnica e de crédito rural (SCHNEIDER *et al.*, 2006).

Atualmente, 12 agricultores dispõem da Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) ativa (Tabela 18). No entanto, todos os 14 produtores já acessaram pelo menos uma vez as linhas de crédito de custeio ou investimento Pronaf, sendo que 9 afirmaram terem acessado os créditos da linha de investimento Pronaf Mais Alimentos e 1 a linha Pronaf Eco, visando a implantação de um projeto de geração de energia solar fotovoltaica. Em geral, o acesso ao Pronaf é expressivo no município de Marechal Cândido Rondon/PR, onde há 2.054 estabelecimentos familiares rurais (IBGE, 2006) e, na safra 2017/2018, foram celebrados 2.032 contratos no valor total de cerca de R\$ 73,5 milhões (BCB, 2018c). Há 1.271 agricultores familiares com DAP ativa em Marechal Cândido Rondon/PR (BRASIL, 2018e).

Tabela 18 - Dados gerais dos agricultores familiares.

Agricultor	DAP - Validade	Órgão Emissor (DAP)	Cooperativa
P1	Inativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Não cooperado
P2	Ativa	Sindicato Rural de Marechal Cândido Rondon/PR	Cooperativa Agroindustrial Copagril (Copagril)
P3	Ativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Não cooperado
P4	Ativa	Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Marechal Cândido Rondon/PR	Não cooperado
P5	Ativa	Sindicato Rural de Marechal Cândido Rondon/PR	Cooperativa Agroindustrial Copagril (Copagril)
P6	Ativa	Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Marechal Cândido Rondon/PR	Cooperativa Agroindustrial Copagril (Copagril)
P7	Ativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Não cooperado
P8	Ativa	Sindicato Rural de Marechal Cândido Rondon/PR	Cooperativa Agroindustrial Copagril (Copagril)
P9	Ativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Não cooperado
P10	Inativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Não cooperado
P11	Ativa	Sindicato Rural de Marechal Cândido Rondon/PR	Não cooperado
P12	Ativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Cooperativa Agroindustrial Copagril (Copagril)
P13	Ativa	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR)	Não cooperado
P14	Ativa	Sindicato Rural de Marechal Cândido Rondon/PR	Não cooperado

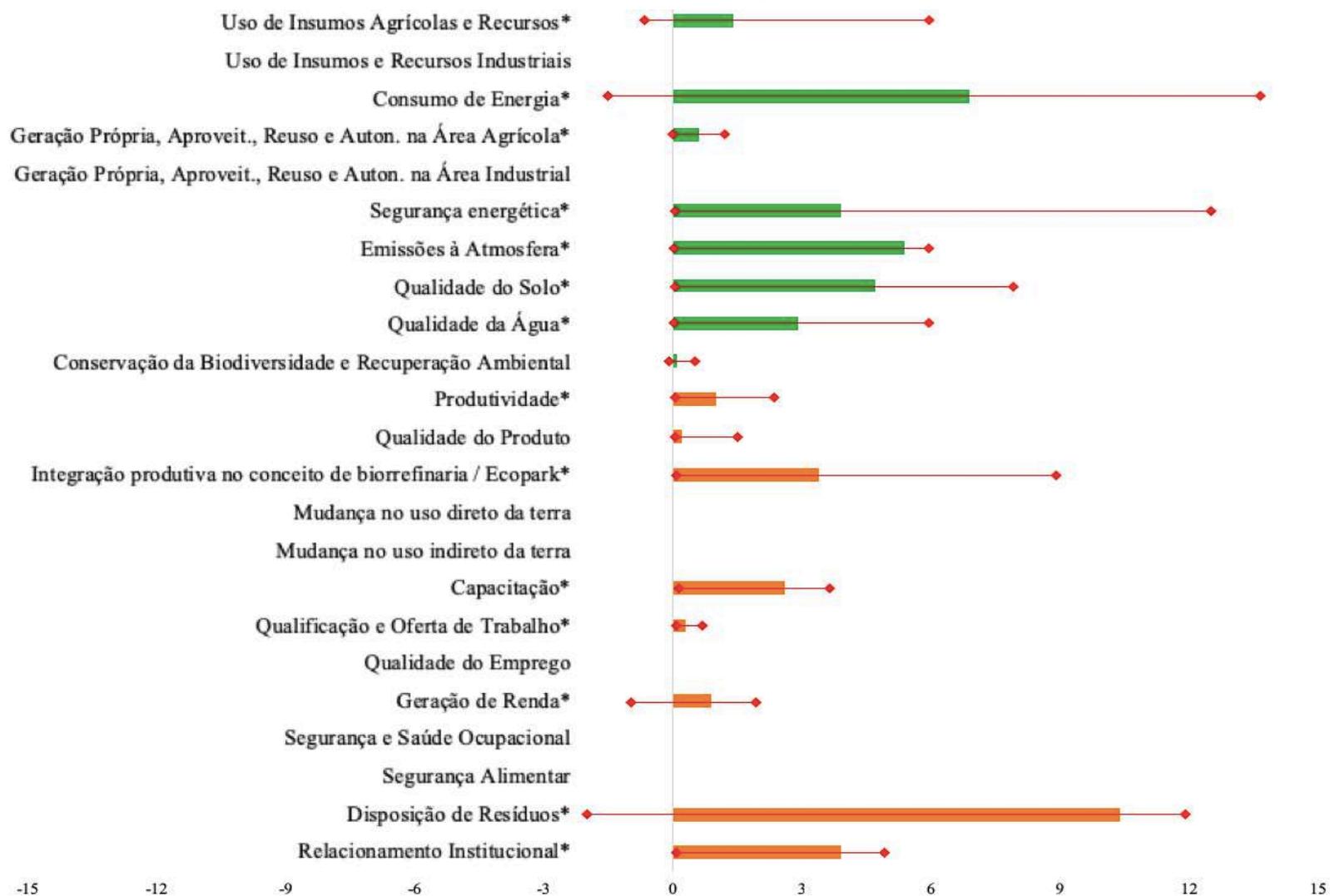
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do *Survey* e Brasil (2018b).

Além da orientação técnica permanente sobre a produção de biogás fornecida pelo CIBiogás, há 5 produtores cooperados e assistidos pela Coopagril (Tabela 18). Embora as cooperativas apresentem impacto positivo na orientação técnica recebida pelos agricultores (IBGE, 2006), somente 5% dos agricultores familiares brasileiros participam de cooperativas (HERRERA *et al.*, 2017). Em menor frequência, as propriedades também recebem orientação técnica do Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater/PR).

7.2.2 Análise de Impactos Ambientais e Socioeconômicos

A análise dos impactos ambientais e socioeconômicos foi realizada a partir da aplicação do Sistema Ambitec Agroenergia, formado por 123 indicadores organizados em 23 critérios, 7 aspectos e 2 dimensões (SOUZA *et al.*, 2017). Na fase de coleta de dados primários, foram entrevistados 14 agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba, os quais atribuíram notas para os indicadores que compõem o Sistema Ambitec Agroenergia, considerando o tempo transcorrido desde a implementação do projeto de produção de biogás. Os resultados mostraram diferenças nos resultados individuais dos produtores e desempenho ambiental e socioeconômico estatisticamente significativos - ao nível de 5% de probabilidade no teste de Wilcoxon - para 14 critérios, sendo 7 de cada dimensão: ambiental e socioeconômica (Figura 18). As diferenças entre os resultados individuais produtores é decorrente dos contextos diversos de produção e peculiaridades das atividades desenvolvidas em cada uma das propriedades.

Figura 18 - Índices agregados de desempenho ambiental e socioeconômico das 14 propriedades do Condomínio Ajuricaba - Sistema Ambitec Agroenergia.



Fonte: Elaborado pelo autor. (*) Índices com diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Wilcoxon.

A partir dos dados obtidos pelo Sistema Ambitec Agroenergia, foram calculados o índice geral de impacto da atividade e o percentual de impacto da tecnologia geral (PIT geral) considerando as duas dimensões - ambiental e socioeconômica -, conforme metodologia desenvolvida por Soares *et al.* (2015) para análises de dados do Sistema Ambitec Agro (RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2002, 2003; RODRIGUES *et al.*, 2010). Foi obtido o índice geral de impacto da atividade de 3,4 em escala multicritério ± 15 e PIT geral de 7,1% (Tabela 19).

Tabela 19 – Índice Geral de Impacto da Atividade, PIT geral e resultados resultados gerados pelo Sistema Ambitec Agroenergia.

Critérios Ambientais e Socioeconômicos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	Média
Uso de Insumos Agrícolas e Recursos*	6.0	2.0	4.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	2.0	3.0	1.4
Uso de Insumos e Recursos Industriais	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Consumo de Energia*	13.5	8.5	13.5	13.5	0.0	-1.5	0.0	8.5	8.5	8.5	8.5	0.0	7.0	8.5	6.9
Geração Própria, Aprov., Reuso e Auton - Área Agrícola*	1.0	0.5	1.2	0.5	0.3	0.5	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	0.6
Geração Própria, Aprov., Reuso e Auton. - Área Industrial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segurança energética*	7.5	5.0	12.5	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	10.0	3.9
Emissões à Atmosfera*	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.4
Qualidade do Solo*	8.0	8.0	8.0	8.0	4.0	6.0	0.0	2.0	4.0	0.0	2.0	8.0	2.0	6.0	4.7
Qualidade da Água*	6.0	6.0	6.0	6.0	4.0	-2.0	0.0	0.0	6.0	0.0	4.0	2.0	3.0	0.0	2.9
Conservação da Biodiversidade e Recuperação Ambiental	0.3	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.1
Produtividade*	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	2.3	0.0	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	2.3	2.3	1.0
Qualidade do Produto	0.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Integração produtiva no conceito de biorrefinaria / Ecopark*	6.0	6.0	6.0	6.0	2.0	3.0	0.0	1.0	3.0	0.0	5.0	0.0	1.0	9.0	3.4
Mudança no uso direto da terra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mudança no uso indireto da terra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Capacitação*	3.8	3.8	3.8	3.8	1.3	1.3	3.8	3.8	1.3	0.0	3.8	1.3	1.3	3.8	2.6
Qualificação e Oferta de Trabalho*	0.6	0.6	0.6	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3
Qualidade do Emprego	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Geração de Renda*	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	2.0	-1.0	0.0	2.0	0.9
Segurança e Saúde Ocupacional	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segurança Alimentar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Disposição de Resíduos*	12.0	4.0	12.0	12.0	12.0	12.0	-2.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	10.4
Relacionamento Institucional*	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	5.0	3.9
Índice Geral de Impacto da Atividade	3.4	2.5	3.6	3.1	1.5	1.4	0.1	1.9	2.3	1.2	2.4	1.2	1.8	3.0	2.1
PIT Geral (%)	11.4%	8.4%	12.0%	10.2%	5.1%	5.1%	0.3%	6.3%	7.7%	4.0%	8.0%	4.2%	6.2%	10.0%	7.1%

Fonte: elaborado pelo autor. (*) Critérios com diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Wilcoxon

7.2.2.1 Análise de Impactos Ambientais

A dimensão ambiental aborda os impactos da produção de biogás no meio ambiente, sendo considerados 2 aspectos: eficiência tecnológica (seis critérios) e desempenho ambiental (quatro critérios). Os resultados dos índices ambientais do Condomínio Ajuricaba foram estatisticamente significativos ao nível de 5% de probabilidade no teste de Wilcoxon para quatro critérios pertencentes ao aspecto eficiência tecnológica: uso de insumos agrícolas e recursos; consumo de energia e geração própria, aproveitamento, reuso; autonomia na área agrícola e segurança energética. Também foram obtidos resultados estatisticamente significativos para três critérios agrupados no aspecto desempenho ambiental: emissões à atmosfera; qualidade do solo e qualidade da água (Tabela 20).

A partir das notas atribuídas pelos produtores para os indicadores pertencentes à dimensão impactos ambientais, também foram calculados o índice de impacto ambiental e o percentual de impacto ambiental da tecnologia (PIT ambiental), conforme metodologia desenvolvida por Soares *et al.* (2015). A dimensão ambiental apresentou índice de impacto ambiental médio de 2,6 em escala multicritério ± 15 e PIT ambiental médio de 9% (Tabela 20), valor superior ao índice de impacto ambiental médio (0,58) observado no trabalho de análise conjunta do impacto *ex ante* de 10 tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Agroenergia (SOUZA *et al.*, 2017). O desempenho ambiental positivo mostrado pelo Sistema Ambitec Agroenergia corrobora os resultados encontrados por Pasqual *et al.* (2018) a partir da análise de dados obtidos por matrizes de impacto cruzado - multiplicação aplicada à classificação (MICMAC), sobretudo na percepção dos agricultores quanto à redução das emissões à atmosfera e melhora na qualidade da água.

O uso de insumos agrícolas e recursos (índice médio 1,4 em escala multicritério ± 15) apresentou impacto significativamente positivo pelo uso do digestato em substituição à fertilizantes minerais, embora algumas propriedades não tenham mostrado alteração nesse indicador. Segundo alguns produtores, a falta de implementos agrícolas constitui um fator limitante à aplicação do digestato nas áreas de lavoura. Esse mesmo problema também foi limitante ao sucesso dos milhares de projetos de digestão anaeróbia implementados nas décadas de 1970 e 1980 (KUNZ; OLIVEIRA, 2006) tendo em vista que o aproveitamento do digestato é considerado fundamental à sustentabilidade dos projetos de produção de biogás (INSAM; GÓMEZ-BRANDÓN; ASCHER, 2015).

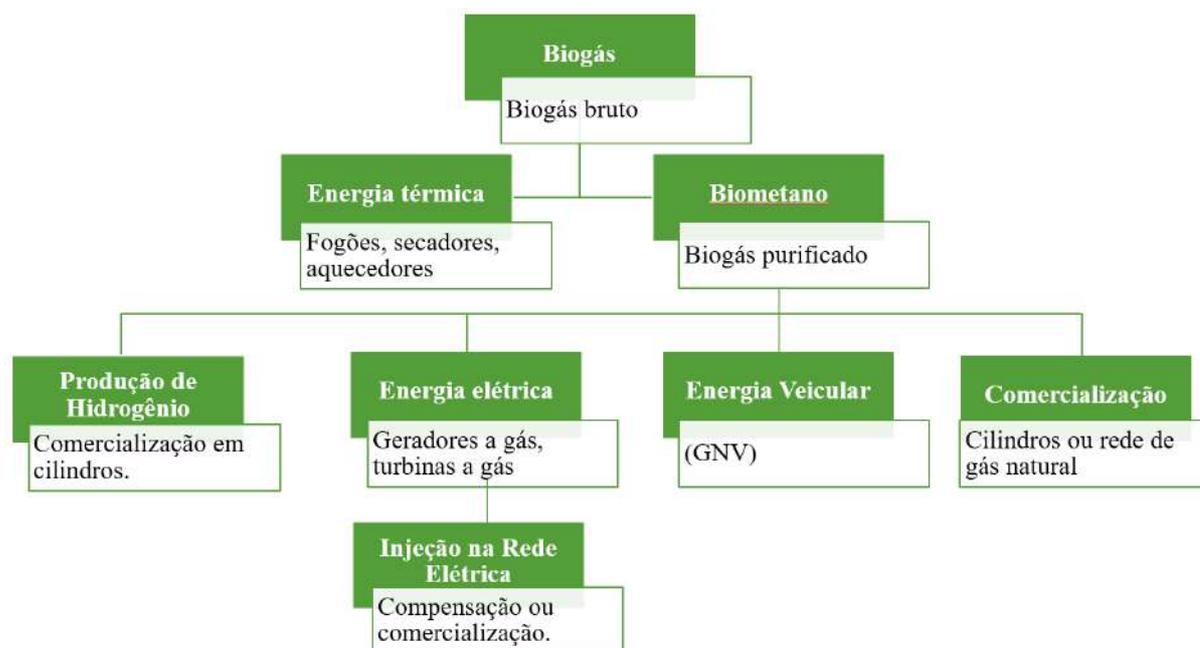
Tabela 20 – Índices de Impacto Ambiental, PIT ambiental e resultados resultados gerados pelo Sistema Ambitec Agroenergia.

Dimensão Ambiental	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	Média
Uso de Insumos Agrícolas e Recursos*	6.0	2.0	4.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	2.0	3.0	1.4
Uso de Insumos e Recursos Industriais	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Consumo de Energia*	13.5	8.5	13.5	13.5	0.0	-1.5	0.0	8.5	8.5	8.5	8.5	0.0	7.0	8.5	6.9
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Agrícola*	1.0	0.5	1.2	0.5	0.3	0.5	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	0.6
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Industrial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segurança energética*	7.5	5.0	12.5	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	10.0	3.9
Eficiência Tecnológica	1.3	0.8	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.5	0.7	0.0	0.5	1.1	0.6
Emissões à Atmosfera*	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.4
Qualidade do Solo*	8.0	8.0	8.0	8.0	4.0	6.0	0.0	2.0	4.0	0.0	2.0	8.0	2.0	6.0	4.7
Qualidade da Água*	6.0	6.0	6.0	6.0	4.0	-2.0	0.0	0.0	6.0	0.0	4.0	2.0	3.0	0.0	2.9
Conservação da Biodiversidade e Recuperação Ambiental	0.3	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.1
Qualidade Ambiental	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.4	0.0	0.2	0.7	0.2	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6
Índice de Impacto Ambiental da Atividade	4.8	3.6	5.1	4.0	1.4	1.1	0.0	2.0	3.0	1.6	2.7	1.6	2.1	3.5	2.6
PIT Ambiental (%)	16%	12%	17%	13%	5%	4%	0%	7%	10%	5%	9%	5%	7%	12%	9%

Fonte: elaborado pelo autor. (*) Critérios com diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Wilcoxon.

O resultado satisfatório do consumo de energia (índice médio 6,9) foi provocado pelo indicador consumo de combustíveis fósseis, já que em quase todas as propriedades o consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) foi totalmente substituído pelo biogás. A substituição do uso de combustíveis fósseis como o GLP pelo biogás constitui um desafio de locais com elevada concentração de animais (KUNZ; OLIVEIRA, 2006). Além disso, ainda que devam ser observados aspectos técnicos e econômicos, existem outras rotas tecnológicas de utilização do biogás que poderiam contribuir para a melhora do critério consumo de energia (Figura 19). Embora a purificação do biogás e uso do biometano para abastecimento veicular em escala comercial ainda seja restrita a alguns países desenvolvidos (SCARLAT; DALLEMAND; FAHL, 2018), experiências brasileiras como o projeto desenvolvido pela Cooperativa dos Citricultores Ecológicos do Vale do Caí Ltda (Ecocitrus¹⁷) em parceria com a empresa Naturovos, onde o biometano é utilizado no abastecimento das respectivas frotas de veículos (ECOCITRUS, 2018; ENGEL; ALMEIDA; DEPONTI, 2017), sustentam previsões de que futuramente o biometano poderá ser largamente utilizado no abastecimento da frota brasileira de veículos, tratores e máquinas agrícolas, além da reforma de hidrogênio para alimentação de células de combustível (COIMBRA-ARAÚJO *et al.*, 2014).

Figura 19 - Rotas tecnológicas de utilização do biogás e do biometano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹⁷ A Ecocitrus apresenta mais de 60% (62) de agricultores familiares com DAP ativa na sua composição total e, por isso, é reconhecida como uma Cooperativa Singular da Agricultura Familiar (BRASIL, 2018d, b)

O critério geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola (índice médio 0,6), que apresenta indicadores de autonomia produtiva de insumos e de recursos energéticos, também apresentou resultados significativos pela produção do biogás e aproveitamento do digestato como fertilizante orgânico. Entretanto, assim como no critério insumos agrícolas e recursos (índice médio 1,4), a quantidade insuficiente de implementos agrícolas para aproveitamento do digestato como fertilizante orgânico líquido também pode ter impactado negativamente este critério.

Ainda no aspecto eficiência tecnológica, o critério segurança energética (índice médio 3,9), que tem como indicadores a garantia de fornecimento de energia, a quantidade disponível, a diversidade de fontes de energia e a qualidade das fontes, apresentou desempenho satisfatório dada a oferta contínua e abundante de biogás para a geração de energia térmica. Tanto os conceitos emergentes quanto as concepções tradicionais de segurança energética estão diretamente relacionadas com a disponibilidade de fontes de energia acessíveis, confiáveis, ambientalmente corretas e socialmente aceitáveis pelos usuários (SOVACOOOL *et al.*, 2012). No balanço final, o índice de desempenho ambiental do aspecto eficiência tecnológica apresentou resultado positivo (índice agregado 0,6).

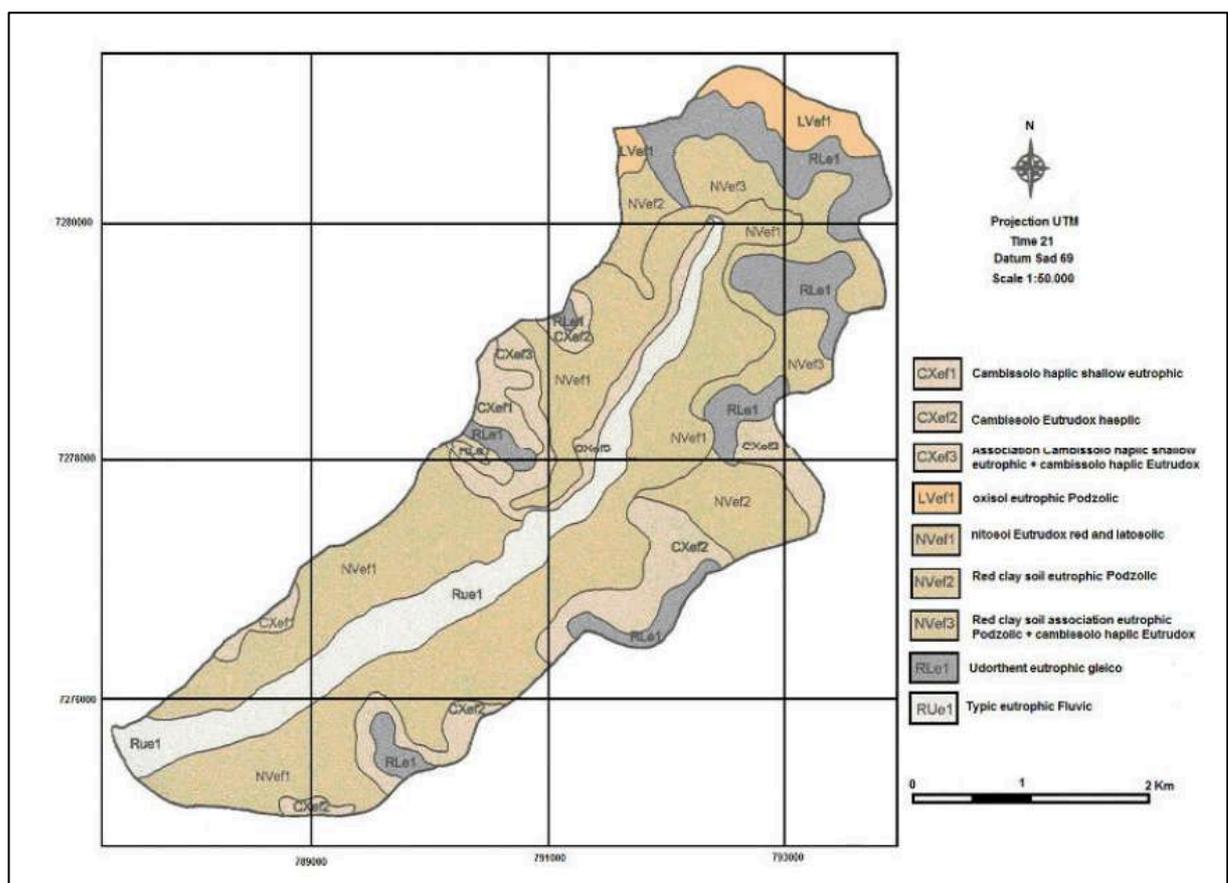
O critério emissões à atmosfera (índice médio 5,4) mostra que o projeto contribui para a redução nas emissões de gases à atmosfera. Segundo os produtores, houve grande redução nos odores e na emissão de gases de efeito estufa em relação ao manejo de dejetos em esterqueiras ou lagoas de estabilização. A digestão anaeróbia em biodigestores constitui o método de tratamento de dejetos mais efetivo na redução das emissões de gases à atmosfera (AMON *et al.*, 2006; CHERUBINI *et al.*, 2015; LIN *et al.*, 2018).

Os produtores acreditam que houve melhora na qualidade do solo (índice médio 4,7) pela utilização do digestato. O digestato vem sendo utilizado como fertilizante orgânico para a adubação de pastagens e áreas de cultivo de grãos, sobretudo milho e soja. Além da mineralização de alguns macro e micronutrientes (MÖLLER; MÜLLER, 2012), a digestão anaeróbia reduz pela metade a concentração de carbono e o teor de matéria seca dos dejetos animais (AMON *et al.*, 2006). Ainda que haja grande volume de publicações sobre os efeitos da utilização prolongada do digestato em solos de clima temperado (ALBURQUERQUE *et al.*, 2012; BACHMANN; GROPP; EICHLER-LÖBERMANN, 2014; INSAM; GÓMEZ-BRANDÓN; ASCHER, 2015; NKOA, 2014), há escassez de informações científicas sobre o impacto nas características químicas, físicas e biológicas de solos tropicais.

Pesquisas sobre o uso sucessivo de dejetos de suínos apontam que podem ocorrer acúmulo de minerais nas camadas superficiais ou ao longo do perfil do solo (DA ROSA *et al.*,

2018), sobretudo em Neossolos, Cambissolos e Latossolos (SCHERER; NESI; MASSOTTI, 2010). De acordo com o mapa de solos da microbacia do Córrego Ajuricaba (Figura 20), há predomínio de Cambissolos (CEef1, CXef2, CXef3), pequenas áreas de Latossolos (LVef1) e outras classes de solos. No estado do Paraná, o uso agrícola do digestato tem como parâmetros agrônômicos os limites de minerais pouco móveis - cobre (Cu) e zinco (Zn) -, pH, relação C/N, matéria orgânica total, carbono total, fósforo e potássio do digestato e as recomendações de adubação requeridas pelas culturas (IAP, 2009). Em Santa Catarina, nas recomendações agrônômicas de adubação devem ser considerados os limites de fósforo ou nitrogênio do digestato e os valores requeridos pelas culturas (FATMA, 2014). Além do acúmulo ao longo do perfil do solo, o excesso de nutrientes pode ser carreado e poluir corpos d'água (FERNANDES *et al.*, 2012).

Figura 20 - Mapa de solos da microbacia do Córrego Ajuricaba.



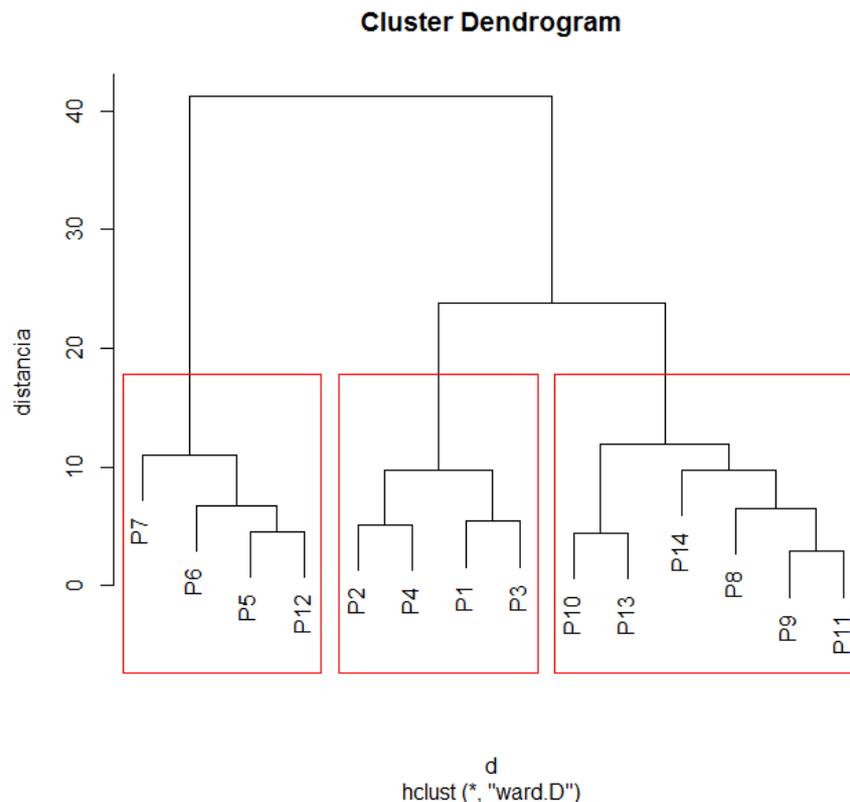
Fonte: Corseuil e Campos (2015).

Houve melhora na qualidade da água (índice médio 2,9) do Córrego Ajuricaba desde a implementação do condomínio de agroenergia, embora o córrego passe por muitas outras propriedades rurais não participantes do projeto de produção de biogás. Os agricultores

acreditam que a tecnologia de tratamento dos dejetos em biodigestores gera efluentes (digestato) com menor potencial poluidor para corpos d'água. No entanto, embora haja redução da carga orgânica, DBO e DQO, o digestato apresenta elevada concentração de fósforo e nitrogênio (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009) e, por conseguinte, deve ser armazenado e utilizado de forma adequada pois ainda apresenta potencial poluidor (KUNZ; OLIVEIRA, 2006). Há em curso uma série de estudos acadêmicos brasileiros voltados à remoção de fósforo e nitrogênio de efluentes de biodigestores (GIONGO *et al.*, 2018; KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009; MORES, RUBIA *et al.*, 2016; SUZIN *et al.*, 2018).

Ao final, assim como o aspecto eficiência tecnológica, o índice de desempenho do aspecto qualidade ambiental apresentou resultado positivo (índice agregado 0,6). Os resultados dos critérios de desempenho ambiental de cada produtor foram submetidos à análise de agrupamento (cluster) (SOARES *et al.*, 2015), considerando a “Distância Euclidiana Quadrática” como medida de similaridade e o método hierárquico de ligação de “Ward” como método aglomerativo. Foram constituídos 3 agrupamentos contendo propriedades com padrões de similaridade no desempenho ambiental (Figura 21).

Figura 21 - Agrupamento dos produtores com similaridade nos critérios ambientais (Sistema Ambitec Agroenergia).



Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação ao PIT Ambiental, o primeiro agrupamento (P5, P6, P7 e P12) apresentou variação entre 12% e 17%, seguido pelo terceiro agrupamento (P8, P9, P10, P11, P13 e P14), com variação de 5% a 12% e, pelo segundo (P1, P2, P3 e P4), com resultados variando entre 0% e 5%. O primeiro agrupamento (P5, P6, P7 e P12) apresentou padrões de similaridade em relação aos índices atribuídos ao aspecto eficiência tecnologia, não alterado a partir da implementação da tecnologia (índices agregados 0,0). A diferença nos resultados do aspecto eficiência tecnológica em comparação às demais propriedades é atribuída aos critérios consumo de energia e segurança energética, em grande parte pela não utilização do biogás em substituição ao GLP. Nesses casos, alguns produtores informaram que os biodigestores ficam distantes das residências e, dado o custo elevado, não foi construída a tubulação necessária ao transporte e uso do biogás nas propriedades. Já as propriedades do terceiro agrupamento (P8, P9, P10, P11, P13 e P14) apresentaram variação em relação aos aspectos da dimensão desempenho ambiental, mas foi observada certa similaridade nos resultados atribuídos ao critério emissões à atmosfera. Por fim, as propriedades pertencentes ao segundo agrupamento (P1, P2, P3 e P4) mostraram padrões de similaridade em relação aos índices atribuídos ao aspecto qualidade ambiental (índices agregados 0,9), cujos resultados positivos são função da melhora nos critérios emissões à atmosfera, qualidade do solo e qualidade da água.

7.2.2.2 Análise de Impactos Socioeconômicos

A dimensão socioeconômica aborda a contribuição produção de biogás para o desenvolvimento local sustentável, tendo sido analisados cinco aspectos de caracterização de impactos sociais e econômicos: processo produtivo (cinco critérios), emprego (três critérios), renda (um critério), saúde (dois critérios) e gestão e administração (dois critérios). Os resultados dos índices socioeconômicos apresentaram impacto estatisticamente significativo - ao nível de 5% de probabilidade no teste de Wilcoxon - para dois critérios pertencentes aos aspecto processo produtivo (produtividade e integração produtiva no conceito de biorrefinaria / ecopark), dois critérios do aspecto emprego (capacitação e qualificação e oferta de trabalho), o critério que constitui o aspecto renda (geração de renda) e dois critérios que compõem o aspecto gestão e administração (disposição de resíduos e relacionamento institucional) (Tabela 21).

Tabela 21 - Índices de Impacto Socioeconômico, PIT Socioeconômico e resultados gerados pelo Sistema Ambitec Agroenergia.

Dimensão Socioeconômica	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	Média
Produtividade*	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	2.3	0.0	0.8	0.8	0.0	0.8	0.8	2.3	2.3	1.0
Qualidade do Produto	0.5	0.0	1.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Integração produtiva no conceito de biorrefinaria / Ecopark*	6.0	6.0	6.0	6.0	2.0	3.0	0.0	1.0	3.0	0.0	5.0	0.0	1.0	9.0	3.4
Mudança no uso direto da terra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mudança no uso indireto da terra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Processo Produtivo	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.5	0.2
Capacitação*	3.8	3.8	3.8	3.8	1.3	1.3	3.8	3.8	1.3	0.0	3.8	1.3	1.3	3.8	2.6
Qualificação e Oferta de Trabalho*	0.6	0.6	0.6	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3
Qualidade do Emprego	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Emprego	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
Geração de Renda*	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	2.0	-1.0	0.0	2.0	0.9
Renda	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0
Segurança e Saúde Ocupacional	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segurança Alimentar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Saúde	0.0														
Disposição de Resíduos*	12.0	4.0	12.0	12.0	12.0	12.0	-2.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	10.4
Relacionamento Institucional*	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	5.0	3.9
Gestão e Administração	0.7	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	-0.1	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7	0.6
Índice de Impacto Socioeconômico da Atividade	2.4	1.7	2.4	2.3	1.6	1.9	0.2	1.8	1.8	0.9	2.2	1.0	1.7	2.7	1.7
PIT Socioeconômico (%)	7.9%	5.7%	8.1%	7.7%	5.5%	6.2%	0.5%	6.1%	6.0%	3.1%	7.4%	3.4%	5.6%	8.9%	5.8%

Fonte: elaborado pelo autor. (*) Critérios com diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Wilcoxon.

Além do teste de Wilcoxon, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Soares *et al.* (2015) para a análise dos resultados socioeconômicos, tendo sido calculados o índice de impacto socioeconômico e o percentual de impacto socioeconômico da tecnologia (PIT socioeconômico). A dimensão socioeconômica apresentou o índice de impacto socioeconômico de 1,7 em escala multicritério ± 15 e o PIT socioeconômico de 5,8% (Tabela 21). Em trabalho de análise conjunta do impacto *ex ante* de 10 tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Agroenergia, a dimensão socioeconômica apresentou índice de impacto socioeconômico = 1,52 (SOUZA *et al.*, 2017).

O critério produtividade (índice médio 1,0 em escala multicritério ± 15), que mensura o grau de correlação entre produção, lucratividade e fatores de produção - trabalho, capital e terra -, apresentou resultado estatisticamente positivo pela melhora no indicador produção por trabalhador. A produtividade foi melhorada pelo tratamento adequado dos dejetos e pela produção de mais um produto (biogás) na propriedade, sem a necessidade de contratação de mão-de-obra adicional. Ocorre que as inovações devem ter como fundamento a otimização recursos, tanto poupando como ampliando a capacidade de produção dos fatores terra e trabalho (ALVES, 2007).

Com relação ao critério integração produtiva no conceito de biorrefinaria / ecopark, que apresenta conceitos de ecologia industrial como a flexibilidade do uso da biomassa, diversidade de produtos gerados, diversidade de processos de transformação, nível de integração tecnológica e integração de processos produtivos entre empreendimentos parceiros, foi obtido o índice médio de 3,4. A adoção de concepções de ecologia industrial, normalmente associada às indústrias petroquímica e química, apresenta como desafios a necessidade de estabelecimento de novas formas de relacionamento entre produtores e consumidores, mecanismos alternativos de organização e novos modelos de negócio voltados à valorização de resíduos agrícolas (GONTARD *et al.*, 2018). A implementação do condomínio de agroenergia apresenta como premissas conceitos básicos de simbiose industrial, parte da ecologia industrial que têm como fatores chave a colaboração e possibilidades de sinergia advindas da proximidade geográfica dos empreendimentos (CHERTOW, 2000).

Em relação ao critério capacitação (índice médio 2,6), referente à eventos de treinamento local de curta duração, especialização e educação formal, a leve melhora é decorrente de treinamentos realizados nas fases iniciais de implementação do Condomínio Ajuricaba. O grau de escolaridade das pessoas entrevistadas apresentou variação de ensino fundamental incompleto (36%), ensino fundamental completo (14%), ensino médio incompleto (29%) a ensino médio completo (21%). No Brasil, a maior parte dos agricultores familiares

apresenta baixo grau de escolaridade, com variação entre o ensino fundamental incompleto e completo (HERRERA *et al.*, 2017). O critério qualificação e oferta de trabalho (índice médio 0,3) apresentou leve alteração decorrente dos eventos de capacitação dos agricultores familiares, tendo em vista que a operacionalização dos biodigestores demandou a qualificação da mão-de-obra para no mínimo braçal especializado.

O incremento na geração de renda (índice médio 0,9) tem relação com a economicidade propiciada pela utilização do biogás e digestato em detrimento do GLP e de fertilizantes minerais. Assim como no Sistema Ambitec, os resultados da análise de dados obtidos por matrizes de impacto cruzado e multiplicação aplicada à classificação (MICMAC) mostram economicidade pelo uso do digestato e do biogás (PASQUAL *et al.*, 2018). No mesmo sentido, análises sobre projetos de digestão anaeróbia de pequeno porte implementados em áreas rurais na Colômbia indicam que essa substituição pode reduzir em até 80 % as despesas para aquisição de GLP e fertilizantes minerais (GARFÍ *et al.*, 2019). No entanto, assim como em critérios da dimensão ambiental, a quantidade insuficiente de implementos agrícolas para uso do digestato em substituição a fertilizantes químicos pode ter reduzido a economicidade e impactado negativamente a geração de renda.

Além disso, é importante esclarecer que embora os agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba estivessem comercializando o excedente de biogás junto à Copagrill, os pagamentos ainda não haviam sido iniciados no momento da aplicação do Sistema Ambitec Agroenergia. Logicamente, a partir do início dos repasses financeiros poderá haver mudança na percepção dos agricultores quanto à geração de renda e, portanto, o critério poderá ser melhorado. Os repasses também poderão reduzir frustrações e trazer motivação adicional aos produtores, tendo em vista que na implementação do projeto havia grande expectativa de que a produção de biogás elevaria substancialmente a geração de renda. Segundo dados obtidos pela aplicação do *survey* (Apêndice G), a renda média bruta dos estabelecimentos familiares rurais é de R\$ 84 mil, variando de R\$ 60 mil a R\$ 120 mil. Embora a bovinocultura de leite e a suinocultura constituam as principais fontes de renda, os produtores também cultivam grãos, sobretudo soja e milho, e eucalipto e, em alguns casos, desempenham ocupações não-agrícolas.

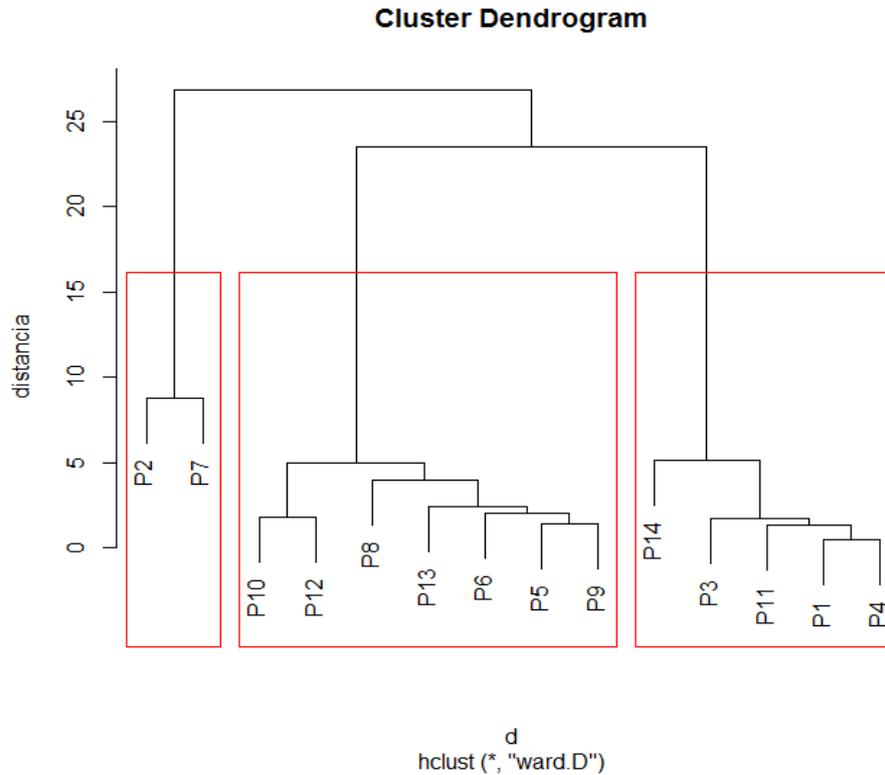
O critério disposição de resíduos apresentou o índice médio (10,4) mais elevado. Embora também apresente impacto em critérios pertencentes à dimensão ambiental, o critério disposição de resíduos pertence à dimensão socioeconômica por apresentar indicadores relacionados à conscientização dos agricultores quanto à adoção de procedimentos para o tratamento e disposição adequada de resíduos. Nesse mesmo sentido, os agricultores acreditam

que a alteração tecnológica promoveu melhora no tratamento de efluentes e disposição sanitária de dejetos animais.

O relacionamento institucional (índice médio 3,9) teve desempenho positivo pela melhora nos indicadores de utilização de assistência técnica e de associativismo e cooperativismo. Embora os agricultores familiares do Condomínio Ajuricaba apresentem experiência em relação à operacionalização dos biodigestores, a produção de biogás constitui uma atividade com elevado grau de especialização e, por conseguinte, demanda assessoria técnica permanente. Os agricultores informaram que a assessoria e a manutenção corretiva nos biodigestores, equipamentos e tubulação é realizada por técnicos disponibilizados pelo CIBiogás. Esses resultados corroboram os estudos de análise de dados obtidos por matrizes de impacto cruzado - multiplicação aplicada à classificação (MICMAC), em que os agricultores afirmaram o suporte técnico oferecido pelo projeto foi fundamental à participação no condomínio de agroenergia (PASQUAL *et al.*, 2018). Assim como nas décadas de 1970 e 1980 (KUNZ; OLIVEIRA, 2006), o suporte técnico permanente ainda constitui fator limitante ao sucesso da digestão anaeróbia e, por isso, deve ser considerado como um dos principais requisitos à concepção dos projetos.

Assim como a análise dimensão ambiental, os resultados dos critérios de desempenho socioeconômico de cada produtor foram submetidos à análise de agrupamento (cluster) (SOARES *et al.*, 2015), considerando a “Distância Euclidiana Quadrática” como medida de similaridade e o método hierárquico de ligação de “Ward” como método aglomerativo. Foram constituídos 3 agrupamentos contendo propriedades com padrões de similaridade no desempenho socioeconômico (Figura 22).

Figura 22 - Agrupamento dos produtores com similaridade nos critérios socioeconômicos (Sistema Ambitec Agroenergia).



Fonte: elaborado pelo autor.

O primeiro agrupamento (P2 e P7) apresentou padrões de similaridade na percepção dos agricultores quanto ao critério disposição de resíduos, pertencente ao aspecto gestão e administração. Ocorre que foram obtidos resultados abaixo do índice médio atribuído à disposição de resíduos (índice médio 10,4 em escala multicritério ± 15) somente nas propriedades que compõem o primeiro agrupamento. Além de terem apresentado valor superior ao índice médio do critério disposição de resíduos, as propriedades pertencentes ao segundo agrupamento (P5, P6, P8, P9, P10, P12 e P13) mostraram padrões de similaridade em relação aos índices de impacto socioeconômico, com variação entre 1,0 e 1,9 em escala multicritério ± 15 . As propriedades do terceiro agrupamento (P1, P3, P4, P11 e P14) também apresentaram similaridade em relação ao índice médio observado para os critérios que compõem a dimensão socioeconômica. Nesse agrupamento, o índice de impacto socioeconômico apresentou variação entre 2,2 e 2,7 em escala multicritério ± 15 .

8 CONCLUSÕES

A inclusão de iniciativas e conceitos ligados à sustentabilidade devem ser tratados estrategicamente como ferramentas capazes de promover ganhos de produtividade pelas cadeias produtivas do agronegócio brasileiro. Neste mesmo sentido, a implementação de projetos voltados ao aproveitamento energético de resíduos agrossilvopastoris pode trazer vantagens competitivas e contribuir para agregar valor às cadeias de produção da agricultura familiar brasileira, tanto pelo incremento de renda como pela mitigação de impactos ambientais.

A revisão sistemática mostrou que entre 2008 e 2017 houve crescimento no número de publicações acadêmicas sobre a produção de biogás. Há predomínio de publicações sobre a utilização de efluentes de agroindústrias (32%) e dejetos da produção animal (31%). Em grande maioria, os estudos sobre efluentes de agroindústrias abordam a produção de biogás a partir da vinhaça gerada pelo setor sulcroalcooleiro (18%), mas também há pesquisas sobre a utilização de glicerina oriunda de usinas de biodiesel (6%) e de resíduos produzidos pelas agroindústrias de fécula de mandioca (5%). Em relação à utilização de resíduos da produção animal, há predomínio de pesquisas relacionadas ao manejo de dejetos da suinocultura (15%) e bovinocultura (12%), avicultura (3%), caprinocultura (2%) e ovinocultura (1%). Há também pesquisas sobre tendências atuais de pesquisa, como pré-tratamento (8%) co-digestão (9%), microalgas (6%), purificação (12,2%) e reforma do biogás (7,3%).

Embora apresentem características variadas, as publicações científicas sobre a produção de biogás pela agricultura familiar brasileira apontam convergências para duas temáticas: análise de viabilidade econômica e mecanismos alternativos de cooperação econômica, como condomínios de agroenergia e complexos de biodigestão anaeróbia e produção de energia. Os resultados mostram que projetos individuais de produção de biogás apresentam melhor desempenho econômico em propriedades de médio a grande porte. Em outra direção, aponta que condomínios de agroenergia podem trazer ganhos de economia de escala e viabilizar a inserção de pequenos empreendimentos da agricultura familiar à cadeia produtiva do biogás.

Em relação à análise dos impactos ambientais e socioeconômicos da produção de biogás no Condomínio Ajuricaba (PIT Geral 7,1%), os resultados apontam que a produção de biogás no âmbito do condomínio de agroenergia pode representar uma alternativa sustentável, levando-se em conta as diferentes dimensões que compõem esse termo. Foram observados resultados estatisticamente positivos para 7 critérios da dimensão ambiental (índice de impacto ambiental = 2,6 em escala multicritério ± 15): uso de insumos agrícolas e recursos; consumo de energia; geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola; segurança

energética; emissões à atmosfera; qualidade do solo e qualidade da água. Já na dimensão socioeconômica (índice de impacto socioeconômico = 1,7 em escala multicritério ± 15), foram encontrados resultados estatisticamente positivos para os critérios: produtividade; integração produtiva no conceito de biorrefinaria/Ecopark; capacitação; qualificação e oferta de trabalho; geração de renda; disposição de resíduos e relacionamento institucional.

Ainda que tenham sido observados resultados estatisticamente positivos, há espaço para melhora em alguns indicadores, sobretudo pela disponibilização de quantidade suficiente implementos agrícolas para aplicação do digestato como fertilizante orgânico nas áreas de lavoura e, além disso, pela construção de tubulação necessária ao uso do biogás em todas as propriedades integrantes do projeto. A disponibilização de número adequado de implementos agrícolas para o uso do digestato como fertilizante orgânico poderá melhorar a percepção dos agricultores em relação a pelo menos quatro critérios: uso de insumos agrícolas e recursos; geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola; qualidade do solo e geração de renda. No mesmo sentido, a substituição do consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) em todas as propriedades pode melhorar a percepção dos agricultores em relação à implementação do projeto, sobretudo pela melhora nos indicadores de renda e de autonomia energética: consumo de energia; geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola; segurança energética e geração de renda.

Ainda que os objetivos tenham sido devidamente investigados e compreendidos, esta pesquisa apresenta limitações que devem ser pontuadas. Ocorre que o estado da arte da literatura brasileira limitou-se a artigos publicados em periódicos indexados à base de dados *Web of Science* e, portanto, pesquisas nas demais bases de dados poderão gerar resultados distintos. Além disso, limitações de tempo e recursos permitiram que a aplicação do Sistema Ambitec Agroenergia fosse realizada em 14 das 25 propriedades do Condomínio Ajuricaba.

Em suma, o presente estudo traz contribuições acadêmicas sobre a produção de biogás no âmbito de mecanismos alternativos de cooperação econômica constituídos por agricultores familiares, mas também mostra que o tema ainda é superficial no ambiente acadêmico brasileiro e carece de uma agenda de pesquisa que considere a importância estratégica desses projetos coletivos para o desenvolvimento sustentável do meio rural do país.

Diante das lacunas de informações científicas que envolvem a temática central deste trabalho, três recomendações para pesquisas futuras são apresentadas: primeiro, são necessários estudos aprofundados relacionados ao efeito do uso contínuo do digestato como fertilizante orgânico em solos tropicais. Segundo, são fundamentais pesquisas sobre os níveis de subsídios e incentivos governamentais necessários à implementação de projetos coletivos de produção de

biogás. Além disso, sugere-se a realização de estudos acerca do desempenho ambiental e socioeconômico de plantas centralizadas de produção de biogás abastecidas por pequenas propriedades adjacentes.

REFERÊNCIAS

- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. *Relatório Anual da ABPA*, p. 134, 2017. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_reduzido.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2018.
- AGROINCONE. Iniciativa para o uso da Terra (INPUT). *Oportunidades para florestas energéticas na geração de energia no Brasil*, p. 59, 2015. Disponível em: <<http://www.inputbrasil.org/publicacoes/opportunidades-para-florestas-energeticas-na-geracao-de-energia-no-brasil/>>. Acesso em: 9 out. 2017.
- AGUIAR, L. DE C.; DELGROSSI, M. E.; THOMÉ, K. M. Short food supply chain: characteristics of a family farm. *Ciência Rural*, v. 48, n. 5, p. 1–8, 2018.
- ALBURQUERQUE, J. A. *et al.* Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*, v. 40, p. 181–189, 2012.
- ALMEIDA, D.; PERES, R. B.; FIGUEIREDO, A. N. Rural environmental planning in a family farm: education, extension and sustainability. *Ciência Rural*, v. 46, n. 11, p. 2070–2076, 2016.
- ALMEIDA, C. DE *et al.* Analysis of the socio-economic feasibility of the implementation of an agro-energy condominium in western Paraná - Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 75, p. 601–608, 2017.
- ALVES, E. Inovações Na Agricultura. In: BUANAIN, A. M. ET AL (Org.). *Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil: características, desafios e obstáculos*. Editora da ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2007. p. 213–236.
- ALVES, H. J. *et al.* Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 38, n. 13, p. 5215–5225, maio 2013.
- AMARAL, A. C. DO *et al.* Influence of solid–liquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system. *Journal of Environmental Management*, v. 168, p. 229–235, 2016.
- AMON, B. *et al.* Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 112, n. 2–3, p. 153–162, 2006.
- ANA. Agência Nacional das Águas. *Bacias Hidrográficas*, 2017. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/default.aspx>>. Acesso em: 3 nov. 2017.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*, p. 236, 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012*, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 5 jul. 2017.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015*, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

ANJOS, F. S.; MOYANO-ESTRADA, E.; CALDAS, N. V. Family farming and economic cooperation: the emergence and decline of agrarian condominiums in Southern Brazil. *Journal of Rural Social Sciences*, v. 26, n. 2, p. 30–51, 2011.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Resolução ANP Nº 08/2015*, 2015. Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biometano>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2017*, p. 2–6, 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017#Seção 4>>. Acesso em: 8 jan. 2017.

ANSELMO FILHO, P.; BADR, O. Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. *Applied Energy*, v. 77, n. 1, p. 51–67, 2004.

APPELS, L. *et al.* Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 9, p. 4295–4301, 2011.

AVILA, A. F. D. *et al.* sociais e ambientais dos investimentos na Embrapa. *Revista Política Agrícola*, v. Ano XIV, n. 4, p. 86–101, 2005.

BACHMANN, S.; GROPP, M.; EICHLER-LÖBERMANN, B. Phosphorus availability and soil microbial activity in a 3 year field experiment amended with digested dairy slurry. *Biomass and Bioenergy*, v. 70, p. 429–439, 2014.

BAHIA. Governo do Estado da Bahia. *Decreto Estadual nº 16.469, de 15/12/2015*, 2015. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

BARCHMANN, T. *et al.* Expanding the flexibility of biogas plants – substrate management , schedule synthesis and economic assessment. *Landtechnik*, v. 71, n. December, p. 233–251, 2016.

BARICHELLO, R. *et al.* O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região Noroeste do Rio Grande do Sul. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 8, n. 2, p. 333–355, 2015.

BARRERA, P. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural*. São Paulo: Ícone, 1993.

BATSTONE, D. J. *et al.* The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Science and Technology*, v. 45, n. 10, p. 65–73, 2002.

BCB. Banco Central do Brasil. *Manual de Crédito Rural*, 2018a. Disponível em: <<http://www3.bcb.gov.br/mcr>>. Acesso em: 1 out. 2018.

BCB. Banco Central do Brasil. *Matriz de dados do crédito rural*, 2018b. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?relrural2010>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

BCB. Banco Central do Brasil. *Matriz de Dados do Crédito Rural*, 2018c. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/en/#!/c/MICRRURAL/>>. Acesso em: 18 jan. 2018.

BEBBINGTON, J.; BROWN, J.; FRAME, B. Accounting technologies and sustainability assessment models. *Ecological Economics*, v. 61, p. 224–236, 2007.

BERNAL, A. P. *et al.* Vinasse biogas for energy generation in Brazil An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. *Journal of Cleaner*

Production, v. 151, p. 260–271, 2017.

BERRY, M. W. *Survey of Text Mining: Clustering, Classification, and Retrieval*. New York: Springer, 2004. v. 11.

BLEY JUNIOR, C. J. *Biogás: A Energia Invisível*. 2ª ed. [S.l.]: São Paulo: CIBiogás; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2015.

BOND, T.; TEMPLETON, M. R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, v. 15, n. 4, p. 347–354, 2011.

BORGES NETO, M. R. *et al.* Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas. *Energy Policy*, v. 38, n. 8, p. 4497–4506, 2010.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M. Planejamento energético rural assistido por computador. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 2, p. 172–184, 2009.

BRASIL. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2004a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm>. Acesso em: 10 out. 2018.

BRASIL. Decreto nº 5.297, de 6 de dezembro de 2004. Dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, sobre os termos e as condições para a utilização das a. *Diário Oficial da União*, 2004b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5297.htm>. Acesso em: 10 out. 2018.

BRASIL. Decreto nº 8.252, de 26 de maio de 2014. Institui o serviço social autônomo denominado Agência Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural - Anater. *Diário Oficial da União*, 2014. Disponível em: <http://impresanacional.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/30055848/do1-2014-05-27-decreto-n-8-252-de-26-de-maio-de-2014-30055834>. Acesso em: 12 out. 2018.

BRASIL. Decreto nº 1.946, de 28 de junho de 1996. Cria o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D1946.htm>. Acesso em: 5 abr. 2017.

BRASIL. Decreto nº 87.079, de 2 de Abril de 1982. Aprova as Diretrizes para o Programa de Mobilização Energética. *Diário Oficial da União*, 1982. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-87079-2-abril-1982-436644-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 19 out. 2017.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Disposições sobre a comercialização de energia elétrica. *Diário Oficial da União*, 2004c. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848compilado.htm>. Acesso em: 12 ago. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. *Diário Oficial da União*, 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11326.htm>. Acesso em: 13 ago. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária - PNATER e o Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar. *Diário Oficial da União*, 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm>. Acesso em: 12 jun. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 7 out. 2017.

BRASIL. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. *Diário Oficial da União*, 2016a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13263.htm>. Acesso em: 17 ago. 2017.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2017a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm>. Acesso em: 14 jan. 2018.

BRASIL. Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979. Altera o disposto nos arts. 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1970-1979/L6746.htm>. Acesso em: 11 set. 2017.

BRASIL. Lei nº 13.648, de 11 de abril de 2018. Dispõe sobre a produção de polpa e suco de frutas artesanais em estabelecimento familiar rural. *Diário Oficial da União*, 2018a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Lei/L13648.htm>. Acesso em: 19 jul. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC*, v. 4, n. 6, p. 176, 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>. Acesso em: 1 out. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Projeções do agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27 (Projeções de longo prazo)*, p. 103, 2017b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-2017-finalizado.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*, 2016b. Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publicação_210x297mm_FINAL_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd>. Acesso em: 6 jan. 2018.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC)*, p. 6, 2015. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de*

Expansão de Energia, 2017c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário da Casa Civil da Presidência da República. Portaria nº 523, de 24 de agosto de 2018. *Diário Oficial da União*, 2018b. Disponível em: <[http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_1754/PORTARIA Nº 523%20 DE 24 DE AGOSTO DE 2018 - Diário Oficial da União - Imprensa Nacional_0.pdf](http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_1754/PORTARIA%20N%20523%20DE%2024%20DE%20AGOSTO%20DE%202018%20-%20Di%20rio%20Oficial%20da%20Uniao%20-%20Imprensa%20Nacional_0.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2018.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário da Casa Civil da Presidência da República. *Balanco do Selo Combustível Social*, 2017d. Disponível em: <[http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_1754/SCS - Balanco_2016_Para Publicação.pdf](http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_img_1754/SCS - Balanco_2016_Para Publicacao.pdf)>. Acesso em: 8 jan. 2018.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário da Casa Civil da Presidência da República. *Sistema de Monitoramento e Avaliação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (SMAP)*, 2017e. Disponível em: <<http://smap14.mda.gov.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário da Casa Civil da Presidência da República. *Sistema de Monitoramento e Avaliação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (SMAP)*, 2018c. Disponível em: <<http://smap14.mda.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário da Casa Civil da Presidência da República. *Sistema de Monitoramento e Avaliação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (SMAP)*, 2018d. Disponível em: <<http://smap14.mda.gov.br/>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

BRASIL. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário da Casa Civil da Presidência da República. *Sistema de Monitoramento e Avaliação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (SMAP)*, 2018e. Disponível em: <<http://smap14.mda.gov.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BRUMMER, V. Community energy – benefits and barriers: A comparative literature review of Community Energy in the UK, Germany and the USA, the benefits it provides for society and the barriers it faces. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 94, n. June, p. 187–196, 2018.

CALDEIRA-PIRES, A. *et al.* Implications of removing straw from soil for bioenergy: An LCA of ethanol production using total sugarcane biomass. *Journal of Cleaner Production*, v. 181, p. 249–259, 2018.

CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J. A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 3, p. 69–101, 2001.

CAMPOS, M. B. N. *Impactos sociais, ambientais e econômico da conversão para produção orgânica: o caso dos produtores de leite da bacia do Rio Paraná III*. 2016. 175 f. Universidade de Brasília, 2016.

CANTRELL, K. B. *et al.* Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 17, p. 7941–7953, 2008.

CAPES. *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*. Disponível em:

<<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

CARDOSO, M.; OLIVEIRA, É. D. DE; PASSOS, M. L. Chemical composition and physical properties of black liquors and their effects on liquor recovery operation in Brazilian pulp mills. *Fuel*, v. 88, n. 4, p. 756–763, 2009.

CARPENTER, S. R. *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v. 8, n. 1998, p. 559–568, 1998.

CARRERE, H. *et al.* Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application. *Bioresource Technology*, v. 199, p. 386–397, jan. 2016.

CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. Agricultura familiar, assistência técnica e extensão rural e a política nacional de Ater. *Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*, v. 1, p. 48, 2017. Disponível em:

<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8114/1/td_2343.PDF>. Acesso em: 5 jun. 2018.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. D. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suínica para geração de energia elétrica. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 5, p. 831–844, 2010.

CHASNYK, O.; SOŁOWSKI, G.; SHKARUPA, O. Historical, technical and economic aspects of biogas development: Case of Poland and Ukraine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 227–239, 2015.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: Literature and Taxonomy. *Industrial symbiosis*, v. 25, p. 313–337, 2000.

CHERUBINI, E. *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: A comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, n. C, p. 68–77, 2015.

CHHIPI-SHRESTHA, G. K.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. “Socializing” sustainability: a critical review on current development status of social life cycle impact assessment method. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 17, n. 3, p. 579–596, 2015.

CIBIOGÁS. Centro Intenacional de Energias Renováveis. *Curso de atualização em energias do biogás*, v. 2, n. 1, p. 1–35, 2016.

CIBIOGÁS. *Centro Internacional de Energias Renováveis*. Disponível em: <<http://mapbiogas.cibiogas.org/>>. Acesso em: 12 mar. 2018a.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás. *Pesquisas da Rede BiogásFert serão exemplos para produtores*, p. 1–3, 2015. Disponível em: <<https://cibiogas.org/producao-biogas-produtores>>. Acesso em: 1 nov. 2017.

CIBIOGÁS. Mapa e dados de monitoramento da produção mensal de biogás no Condomínio Ajuricaba (mensagem pessoal). *Mensagem recebida por <brunocrespoporto@gmail.com> em 30 mai. 2018*, 2018b.

CINELLI, M.; COLES, S. R.; KIRWAN, K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, v. 46, p. 138–148, 2014.

CIPRANDI, O.; FERT NETO, J. *As perspectivas da pequena produção familiar na*

agricultura. Ciência Rural. [S.l: s.n.], 1996

COELHO, J. M. Impactos da participação do biogás e do biometano na matriz energética brasileira. 2017, São Paulo: ABIOGÁS, 2017. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-244/topico-257/EPE_IV FORUM BIOGAS_JOSE MAURO_2017_1710.pdf#search=biogás>.

COELHO, S. T.; GOLDEMBERG, J. Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. *Energy Policy*, Scopus - Small Scale, v. 61, 2013.

COIMBRA-ARAÚJO, C. H. *et al.* Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 40, p. 826–839, 2014.

COLLET, P. *et al.* Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology. *Applied Energy*, v. 192, p. 282–295, 2017.

COMASTRI FILHO, J. A. Biogás - Independência Energética do Pantanal Matogrossense. *Circular Técnica n° 9 EMBRAPA*, p. 53, 1981. Disponível em: <<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar (Safra 2017/2018)*, v. 4, n. 4, p. 73, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/17026_e0504d08aca77ee13e86c2e7e7f43424>. Acesso em: 30 out. 2018.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *RESOLUÇÃO CONAMA N° 001, de 23 de janeiro de 1986*, n. D, p. 1–6, 1986. Disponível em: <<http://portal.impresanacional.gov.br/consulta>>.

CÓRDOBA, D. *et al.* Family farming, agribusiness and the state: Building consent around oil palm expansion in post-neoliberal Brazil. *Journal of Rural Studies*, v. 57, n. December 2017, p. 147–156, 2018.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. Definition of priority areas for fitness use of land through the analysis multicriteria. *Revista Energia na Agricultura*, v. 30, n. 4, p. 395–401, 2015.

COSTA, M. S. S. DE M. *et al.* A highly concentrated diet increases biogas production and the agronomic value of young bull's manure. *Waste Management*, v. 48, p. 521–527, fev. 2016.

CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a Literature Review. *British Journal of Nursing*, v. 17, n. 1, p. 38–43, 2008.

CURRY, N.; PILLAY, P. Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment. *Renewable Energy*, v. 41, p. 200–209, 2012.

DA ROSA, G. M. *et al.* Behavior of copper and zinc metals in soil profile, submitted to different sources of fertilization. *Environmental Quality Management*, p. 89–93, 2018.

DE CASTRO, E. R.; TEIXEIRA, E. C. Rural credit and agricultural supply in Brazil. *Agricultural Economics*, v. 43, n. 3, p. 293–302, 2012.

DE FARIA, M. M. N. *et al.* Thermodynamic simulation model for predicting the performance of spark ignition engines using biogas as fuel. *Energy Conversion and Management*, v. 149, p. 1096–1108, 2017.

DE, L. C. *et al.* Avaliação ambiental do processo de inovação tecnológica na colheita

florestal. *Revista Árvore*, v. 35, n. 2, p. 329–339, 2011.

DE MELO, C. A.; JANNUZZI, G. D. M.; BAJAY, S. V. Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 61, p. 222–234, 2016.

DEGANUTTI, R. *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. 2002, Bauru: Encontro de Energia no Meio Rural, 2002. p. 1–5. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzv02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2017.

DEL GROSSI, M. E.; GRAZIANO DA SILVA, J. *O Novo Rural: Uma Abordagem Ilustrada*. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2002. v. II.

DELGADO, G. *Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA)*. Disponível em: <https://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1025.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

DELGROSSI, M. E.; MARQUES, V. P. M. DE A.; FRANÇA, C. G. Os Censos Agropecuários e as possibilidades para o desenvolvimento rural. In: SENRA, N. DE C. (Org.). *O Censo entra em campo - O IBGE e a história dos Recenseamentos Agropecuários*. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. p. 235–263. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv91157.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

DENNEHY, C. *et al.* Economic viability of farm-based co-digestion of pig manure and food waste. *Applied Energy*, v. 205, n. June, p. 1–10, 2017.

DORNELAS, K. C.; SCHNEIDER, R. M.; AMARAL, A. G. Biogas from poultry waste—production and energy potential. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 8, 2017.

DUARTE, S. C. DE L. D.; THOMÉ, K. M. Short Food Supply Chain Estado Da Arte Na Academia Brasileira. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 23, n. 2, p. 315–340, 2015.

ECOCITRUS. *Cooperativa dos Citricultores Ecológicos do Vale do Caí*. Disponível em: <<http://www.ecocitrus.com.br/index.php/sobre-a-ecocitrus/usina-de-biogas-4>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

ELOY, E. *et al.* Energy productivity of forest species in short rotation plantings. *Ciência Florestal*, v. 45, n. 0103-8478, p. 1424–1431, 2015.

EMBRAPA. Embrapa Meio Ambiente. *Curso Avaliação de impactos e indicadores de sustentabilidade para gestão ambiental de atividades rurais (Registro: 2719-8707)*, 2016.

EMBRAPA. Embrapa Suínos e Aves. *Workshop da Rede BiogásFert - A relação do biogás com a agricultura, pecuária e agroindústria*, p. 22–24, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/suinos-e-aves/transferencia-de-tecnologia/workshop-rede-biogasfert>>. Acesso em: 4 nov. 2017.

ENGEL, V.; ALMEIDA, G. G. F. DE; DEPONTI, C. M. Agricultura familiar no contexto das cooperativas rurais: o caso da ecocitrus. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 34, n. 1, p. 59–81, 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Estudos da Demanda de Energia - Nota Técnica DEA 13/14 - Demanda de Energia 2050*, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 8 out. 2017.

- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional - Relatório Síntese*, 2016a. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final_2016_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2016_Web.pdf)>. Acesso em: 8 out. 2017.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional*, p. 292, 2016b. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 8 out. 2017.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Estudos da Demanda de Energia - Nota Técnica DEA 13/15 - Demanda de Energia 2050*, v. 76, n. 1, p. 1–244, 2016c.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*, p. 267, 2016d. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 8 out. 2017.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional - Relatório Síntese*, 2018a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relatório Síntese 2018-ab 2017vff.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-397/Relatório%20Síntese%202018-ab%202017vff.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanco Energético Nacional*, 2018b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *International Year of Family Farming 2014: Master Plan*, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/iyff/docs/Final_Master_Plan_IYFF_2014_30-05.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of Food and Agriculture: inovating in family farming.*, p. 139, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4040e.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2017.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *An in-depth review of the evolution of integrated public policies to strengthen family farms in Brazil, by Mauro Eduardo Del Grossi and Vicente P.M. de Azevedo Marques*, n. ESA Working Paper No. 15-01, p. 59, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21814/1/TrabalhoTecnico_AnInDepthReviewEvolution.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- FATMA. Fundação do Meio Ambiente. Governo do Estado de Santa Catarina. *Instrução Normativa nº 11, de outubro de 2014. Define a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais para implantação de atividades relacionadas à suinocultura.*, 2014. Disponível em: <[http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/arquivos/ins/11/IN 11 Suinocultura.pdf](http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/arquivos/ins/11/IN%2011%20Suinocultura.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2018.
- FERNANDES, G. W. *et al.* Chemical phosphorus removal: A clean strategy for piggery wastewater management in Brazil. *Environmental Technology (United Kingdom)*, v. 33, n. 14, p. 1677–1683, 2012.
- FERNANDES, L. A. DE O.; WOODHOUSE, P. J. Family farm sustainability in southern Brazil: An application of agri-environmental indicators. *Ecological Economics*, v. 66, n. 2–3, p. 243–257, 2008.
- FERREIRA, E. T. D. F.; BALESTIERI, J. A. P. Black liquor gasification combined cycle

with CO₂ capture - Technical and economic analysis. *Applied Thermal Engineering*, v. 75, p. 371–383, 2015.

FERREIRA, L. R. A. *et al.* Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. In Press, n. June, p. 440–455, 2018.

FIGUEIREDO, J. N. DE; MAYERLE, S. F. A systemic approach for dimensioning and designing anaerobic bio-digestion/energy generation biomass supply networks. *Renewable Energy*, v. 71, p. 690–694, 2014.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. DE *et al.* Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations-part 1: Ambitec-Life Cycle, a methodological approach for considering life cycle thinking. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 14, p. 1366–1375, 2010a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.012>>.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. DE *et al.* Environmental performance evaluation of agro-industrial innovations-Part 2: Methodological approach for performing vulnerability analysis of watersheds. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 14, p. 1376–1385, 2010b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.013>>.

FIGUEIREDO, E.; MAZZUCO, H.; HENN, J. D. *Produção e Mercado. Os ovos que consumimos*. [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1083165/1/final8480.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

FLEXOR, G.; GRISA, C. Contention, ideas, and rules: The institutionalization of family farm policy in Brazil. *Canadian Journal of Latin American and Caribbean Studies*, v. 41, n. 1, p. 23–37, 2016.

FUESS, L. T. *et al.* Designing full-scale biodigestion plants for the treatment of vinasse in sugarcane biorefineries: How phase separation and alkalization impact biogas and electricity production costs? *Chemical Engineering Research and Design*, v. 119, p. 209–220, 2017.

GAHB. Grupo Ad Hoc de Biocombustíveis do Mercosul. *Relatório de Biogás e Biometano do Mercosul*, 2017. Disponível em: <<https://online.flippingbook.com/view/973123/>>. Acesso em: 15 out. 2017.

GALHARTE, C. A; CRESTANA, S. Avaliação do impacto ambiental da integração lavoura-pecuária : Aspecto conservação ambiental no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 11, p. 1202–1209, 2010.

GALLAGHER, C.; MURPHY, J. D. Is it better to produce biomethane via thermochemical or biological routes ? An energy balance perspective. n. 6, p. 273–281, 2013.

GALVÃO, R. R. DE A. O biogás do agronegócio: transformando o passivo energético e aumentando a competitividade do setor. *Boletim Energético (FGV Energia)*, p. 4–6, 2017.

GARCIA, E. A. C. Análise econômica do biodigestor modelo indiano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, n. 9, p. 999–1013, 1985.

GARFÍ, M. *et al.* Evaluating environmental benefits of low-cost biogas digesters in small-scale farms in Colombia: a life cycle assessment. *Bioresource Technology*, v. 274, n. December 2018, p. 541–548, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418316511?dgcid=rss_sd_all>.

- GEELS, F. W.; RAVEN, R. P. J. M. Socio-cognitive evolution and co-evolution in competing technical trajectories: Biogas development in denmark (1970–2002). *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, v. 14, n. 1, p. 63–77, 2007.
- GEYER, W. A. Biomass production in the Central Great Plains USA under various coppice regimes. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n. 8–9, p. 778–783, 2006.
- GEYER, W. A. Biomass yield potential of short-rotation hardwoods in the great plains. *Biomass*, v. 20, n. 3–4, p. 167–175, 1989.
- GHINOI, S.; WESZ JUNIOR, V. J.; PIRAS, S. Political debates and agricultural policies: Discourse coalitions behind the creation of Brazil’s Pronaf. *Land Use Policy*, v. 76, n. April, p. 68–80, 2018.
- GIONGO, A. *et al.* Swine wastewater nitrogen removal at different C/N ratios using the modified Ludzack-Ettinger process. *Engenharia Agrícola*, v. 38, n. 6, p. 968–977, 2018.
- GONÇALVES, F. A.; SANTOS, E. S. DOS; MACEDO, G. R. DE. Use of cultivars of low cost, agroindustrial and urban waste in the production of cellulosic ethanol in Brazil: A proposal to utilization of microdistillery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 50, p. 1287–1303, 2015.
- GONTARD, N. *et al.* A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 48, n. 6, p. 614–654, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1471957>>.
- GOOGLE. *Google Acadêmico*. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.
- GRAEUB, B. E. *et al.* The State of Family Farms in the World. *World Development*, v. 87, p. 1–15, 2016.
- GRANDO, R. L. *et al.* Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 80, n. May 2016, p. 44–53, 2017.
- GRISA, C. *et al.* Capacidades estatais para o desenvolvimento rural no Brasil: análise das políticas públicas para a agricultura familiar. *Sociedade e Cultura*, v. 20, n. 1, p. 13–38, 2017.
- GRISA, C.; SCHNEIDER, S. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e Estado no Brasil. In: GRISA, C.; SCHNEIDER, S. (Org.). *Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil*. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 19–50.
- GUANZIROLI, C. E.; DI SABBATO, A. Existe na agricultura brasileira um setor que corresponde ao “Family Farming” Americano? *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 52, p. 85–104, 2014.
- GUJER, W.; ZEHNDER, A. J. B. Conversion Processes in Anaerobic Digestion. *Water Science and Technology*, v. 15, p. 127–167, 1983.
- GUSMÃO, J. O. *et al.* Total mixed ration silage containing elephant grass for small-scale dairy farms. *Grass and Forage Science*, v. 73, n. 3, p. 717–726, 2018.
- HALL, J. *et al.* Brazilian biofuels and social exclusion: established and concentrated ethanol versus emerging and dispersed biodiesel. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. SUPPL. 1,

2009.

HE, P. J. Anaerobic digestion: An intriguing long history in China. *Waste Management*, v. 30, n. 4, p. 549–550, 2010.

HELFAND, S. M. The distribution of subsidized agricultural credit in Brazil: do interest groups matter? *Development and change*, v. 32, n. 3, p. 465–490, 2001.

HERRERA, G. P. *et al.* Econometric analysis of income, productivity and diversification among smallholders in Brazil. *Land Use Policy*, v. 76, n. February, p. 455–459, 2018.

HERRERA, G. P. *et al.* Smallholder farming in Brazil: An overview for 2014. *African Journal of Agricultural Research*, v. 12, n. 17, p. 1424–1429, 2017.

HIJAZI, O. *et al.* Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 54, p. 1291–1300, 2016.

HOSTIOU, N. *et al.* Work organization on smallholder dairy farms: a process unique to each farm. *Tropical Animal Health and Production*, v. 47, n. 7, p. 1271–1278, 2015.

IAP. Instituto Paraná Ambiental. Governo do Estado do Paraná. *Instrução Normativa IAP/DIRAM 105.006, de 23 de junho de 2009. Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Suinocultura.*, 2009. Disponível em:

<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/Instrucao_normativa/IN_105_006_SUINOS_VERSAO23JUN2009.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2018.

IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná. *Cartas Climáticas do Paraná*, 2017. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acesso em: 4 nov. 2017.

IBGE. Indicadores IBGE. *Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária*, p. 50, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2018_3tri.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 2006 - Agricultura Familiar*, 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em: 5 set. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) - Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) 2016*, p. 1–5, 2016a. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2016>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da Pecuária Municipal 2016, 2016b*. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=21>. Acesso em: 6 set. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *IBGE Cidades*, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

ILBERY, B.; MAYE, D. Food supply chains and sustainability: Evidence from specialist food producers in the Scottish/English borders. *Land Use Policy*, v. 22, n. 4, p. 331–344, 2005.

INSAM, H.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; ASCHER, J. Manure-based biogas fermentation residues - Friend or foe of soil fertility? *Soil Biology and Biochemistry*, v. 84, p. 1–14, 2015.

- IRENA. International Renewable Energy Agency. *Renewable Energy in Latin America 2015: An Overview of Policies*, 2015. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_RE_Latin_America_Policies/IRENA_RE_Latin_America_Policies_2015.pdf>. Acesso em: 9 maio 2017.
- IRIAS, L. J. M. *et al.* Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária - aplicação do sistema Ambitec. *Agricultura em São Paulo*, v. 51, n. 1, p. 23–39, 2004.
- JCR. *Journal Citation Reports (Clarivate Analytics)*. Disponível em: <<https://clarivate.com/products/journal-citation-reports/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- JENSEN, E. S. *et al.* Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 32, n. 2, p. 329–364, 2012.
- JØRGENSEN, A. *et al.* Methodologies for social life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 13, n. 2, p. 96–103, 2008.
- JÚNIOR, E. C. DA S. *et al.* Comércio justo e gestão ambiental para a sustentabilidade: o caso de uma comunidade que sustenta a agricultura (CSA). *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 35, n. 1, p. 11–36, 2018.
- KAGEYAMA, A. Desenvolvimento Rural: Conceito e Medida. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 21, n. 3, p. 379–408, 2004.
- KELLEHER, B. P. *et al.* Advances in poultry litter disposal technology--a review. *Bioresource Technology*, v. 83, n. 1, p. 27–36, 2002.
- KHALID, A. *et al.* The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, v. 31, n. 8, p. 1737–1744, 2011.
- KINYUA, M. N.; ROWSE, L. E.; ERGAS, S. J. Review of small-scale tubular anaerobic digesters treating livestock waste in the developing world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 896–910, 2016.
- KLAVON, K. H. *et al.* Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States. *Biomass and Bioenergy*, v. 54, p. 36–45, 2013.
- KOHLER, P. A.; KOHLER, P. M. *Conjunto extravasor interno de biodigestor. Fundação Parque Tecnológico Itaipu - Brasil (BR/PR)*. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <<http://revistas.inpi.gov.br/pdf/PATENTES2147.pdf>>. , 2009
- KOMILIS, D. *et al.* A state of the art literature review on anaerobic digestion of food waste: influential operating parameters on methane yield. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, p. 1–14, 2017.
- KUNZ, A. *Contribuição da Embrapa à cadeia do biogás*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Painel+4.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- KUNZ, A.; ENCARNAÇÃO, R. Tratamento de Dejetos Animais. In: GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. (Org.). *Gestão Ambiental na Agropecuária*. Embrapa In ed. Brasília, DF: [s.n.], 2007. p. 169–191.
- KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 22, p. 5485–5489, 2009. Disponível em: <y>.
- KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de

biogás. *Revista de Política Agrícola*, n. 3, p. 28–35, 2006.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. Reunião Técnica sobre Biodigestores para Tratamento de Dejetos de Suínos e Uso de Biogás. 2006, Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2006. p. 1–54. Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/443193/1/doc106.pdf>>.

LAMAS, W. DE Q.; GIACAGLIA, G. E. O. The Brazilian energy matrix: Evolution analysis and its impact on farming. *Energy Policy*, v. 63, p. 321–327, 2013.

LEBUHN, M.; MUNK, B.; EFFENBERGER, M. Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics. *Energy, Sustainability and Society*, v. 4, n. 1, p. 10, 2014.

LEE, C. W.; ZHONG, J. Top down strategy for renewable energy investment: Conceptual framework and implementation. *Renewable Energy*, v. 68, p. 761–773, 2014.

LEITE, S. A. F. *et al.* Application of cleaner production methodology to evaluate the generation of Bioenergy in a small swine farm. *Chemical Engineering Transactions*, v. 39, n. Special Issue, p. 589–594, 2014.

LEME, R. M.; SEABRA, J. E. A. Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry. *Energy*, v. 119, p. 754–766, jan. 2017.

LIN, L. *et al.* Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 89, n. February, p. 151–167, 2018.

LINDKVIST, E.; KARLSSON, M. Biogas production plants; existing classifications and proposed categories. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 1588–1597, 2018.

LOWDER, S. K.; SKOET, J.; RANEY, T. The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Development*, v. 87, p. 16–29, 2016.

MACCARI, A. P. *et al.* Ecotoxicological effects of pig manure on *Folsomia candida* in subtropical Brazilian soils. *Journal of Hazardous Materials*, v. 314, p. 113–120, 2016.

MAO, C. *et al.* Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 540–555, 2015.

MARI, A. G. *et al.* Performance of up-flow anaerobic digester in solids removal and biogas production. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, v. 12, n. 2, p. 1135–1139, 2014.

MAROUN, M. R.; LA ROVERE, E. L. Ethanol and food production by family smallholdings in rural Brazil: Economic and socio-environmental analysis of micro distilleries in the State of Rio Grande do Sul. *Biomass and Bioenergy*, v. 63, p. 140–155, 2014.

MARTINELLI, L. A. *et al.* A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, p. 323–330, 2010.

MATA-ALVAREZ, J. *et al.* A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 36, p. 412–427, 2014.

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, v.

74, n. 1, p. 3–16, 2000.

MATHIAS, J. F. C. M. Manure as a resource: Livestock waste management from anaerobic digestion, opportunities and challenges for Brazil. *International Food and Agribusiness Management Review*, v. 17, n. 4, p. 87–110, 2014.

MATTESON, G. C.; JENKINS, B. M. Food and processing residues in California: Resource assessment and potential for power generation. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 16, p. 3098–3105, 2007.

MATTOS, L. C. *Manual do Biodigestor Sertanejo*. Recife/PE: Projeto Dom Helder Camara, 2011. Disponível em: <https://www.projetodomhelder.gov.br/site/images/PDHC/Artigos_e_Publicacoes/Biodigestor/Biodigestor_Portugues.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

MAYER, F. D. *et al.* Why small-scale fuel ethanol production in Brazil does not take off? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cited By 11, v. 43, p. 687–701, 2015.

MAYERLE, S. F.; FIGUEIREDO, J. N. DE. Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing. *Renewable Energy*, v. 90, p. 46–54, 2016.

MAZARELI, R. C. DA S. *et al.* Anaerobic co-digestion of vegetable waste and swine wastewater in high-rate horizontal reactors with fixed bed. *Waste Management*, v. 52, p. 112–121, 2016.

MCAULIFFE, G. A.; CHAPMAN, D. V.; SAGE, C. L. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 56, p. 12–22, 2016.

MEDINA, G. *et al.* Development Conditions for Family Farming: Lessons From Brazil. *World Development*, v. 74, p. 386–396, 2015.

MENEZES, B. R. DA S. *et al.* Combining ability in elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) for energy biomass production. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, n. 9, p. 1297–1305, 2016.

MILUTINOVIĆ, B. *et al.* Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, v. 74, n. C, p. 190–201, 2014.

MITCHELL, C. P. Ecophysiology of short rotation forest crops. *Biomass and Bioenergy*, v. 2, n. 1–6, p. 25–37, 1992.

MÖLLER, K.; MÜLLER, T. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, v. 12, n. 3, p. 242–257, 2012.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 44, p. 888–903, 2015.

MORAIS, R. F. DE *et al.* Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 2, p. 133–140, 2009.

MORES, R. *et al.* Remove of phosphorous and turbidity of swine wastewater using electrocoagulation under continuous flow. *SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY*, v. 171, p. 112–117, out. 2016.

MOYANO-ESTRADA, E.; ANJOS, F. S. DOS. New Forms of Economic Cooperation in

- Family Agriculture: The Case of Condomínios in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Rural Cooperation*, v. 29, n. 1, 2001.
- NASSIRTOUSSI, A. K. *et al.* Text mining for market prediction: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, v. 41, n. 16, p. 7653–7670, 2014.
- NEVES, D. A. L.; SOARES, J. P. G.; CARVALHO, J. M. Produção de carne bovina orgânica: Uma avaliação dos impactos socioeconômicos na região do pantanal do Brasil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 9, n. 1, p. 71–92, 2016.
- NEWMAN, W. L. *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. 7ª ed. Harlow: Pearson Education, 2014.
- NKOA, R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 34, n. 2, p. 473–492, 2014.
- NOGUEIRA, C. E. C. *et al.* Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 300–305, 2015.
- OECD/FAO. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024*. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4738e.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2017.
- OLIVEIRA, P. A. V. DE. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia: Embrapa - CNPSA, 1993.
- OLIVEIRA, S. V. W. B. *et al.* Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 7, p. 2608–2618, 2011.
- ONU. Organização das Nações Unidas. *Sustainable Development Goals*, 2015. Disponível em: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/brochure/SDGs_Booklet_Web_En.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.
- ORRICO, M. A. J. P.; ORRICO, A. C. A. Quantification, characterization, and anaerobic digestion of sheep manure: The influence of diet and addition of crude glycerin. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 34, n. 4, p. 1038–1043, 2015.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.
- PALMA-ROJAS, S.; CALDEIRA-PIRES, A.; NOGUEIRA, J. M. Environmental and economic hybrid life cycle assessment of bagasse-derived ethanol produced in Brazil. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, n. 3, p. 317–327, 2017.
- PASQUAL, J. C. *et al.* Assessment of Collective Production of Biomethane from Livestock Waste for Urban Transportation Mobility in Brazil and the United States. *Energies*, v. 11, n. 4, abr. 2018.
- PATHAK, H. *et al.* Global warming mitigation potential of biogas plants in India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 157, n. 1–4, p. 407–418, 2009.
- PAVLOSTATHIS, S. G.; GIRALDO-GOMEZ, E. Kinetics of anaerobic treatment – a critical review. *Critical Reviews in Environmental Control*, v. 21, n. January 2013, p. 411–490, 1991.
- PEIXOTO, M. Mudanças e desafios da extensão rural no Brasil e no mundo. In: BUAINAIN, A. M. *et al.* (Org.). *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão*

- agrário e agrícola. Brasília: Embrapa, 2014. p. 891–924.
- PETRINI, M. A.; ROCHA, J. V.; BROWN, J. C. Mismatches between mill-cultivated sugarcane and smallholding farming in Brazil: Environmental and socioeconomic impacts. *Journal of Rural Studies*, v. 50, p. 218–227, 2017.
- PONTES, E. T. M. *A convivência com o semiárido no contexto sulamericano: segurança hídrica em Afogados da Ingazeira (Pernambuco, Brasil) e Graneros (Tucumán, Argentina)*. 2014. 2-246 f. Universidade Federal de Pernambuco, 2014.
- POPE, J. *et al.* Reconceptualising sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 62, p. 205–215, 2017.
- POPE, J.; ANNANDALE, D.; MORRISON-SAUNDERS, A. Conceptualising sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 24, n. 6, p. 595–616, 2004.
- QUESADA, D. M. *et al.* *Parâmetros Qualitativos de Genótipos de Capim Elefante (Pennisetum purpureum Schum.) estudados para a produção de energia através da Biomassa*. Seropédica: Embrapa, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/system/files/cit008.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017.
- RÁCZ, V. J.; VESTERGAARD, N. Productivity and efficiency measurement of the Danish centralized biogas power sector. *Renewable Energy*, v. 92, p. 397–404, 2016.
- RADA, N.; HELFAND, S.; MAGALHÃES, M. Agricultural productivity growth in Brazil: Large and small farms excel. *Food Policy*, n. xxxx, p. 0–1, 2018.
- RAVEN, R. P. J. M.; GREGERSEN, K. H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 11, n. 1, p. 116–132, 2007.
- REDDY, A. K. N. Lessons from the Pura community biogas project. *Energy for Sustainable Development*, v. 8, n. 3, p. 68–73, 2004.
- RENTING, H.; MARSDEN, T. K.; BANKS, J. Understanding alternative food networks: Exploring the role of short food supply chains in rural development. *Environment and Planning A*, v. 35, n. 3, p. 393–411, 2003.
- RIBEIRO, E. M. *et al.* GHG avoided emissions and economic analysis by power generation potential in pasture aviaries in Brazil. *Renewable Energy*, v. 120, p. 524–535, 2018.
- RIBEIRO, M. F. S.; RAIHER, A. P. Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Paraná. *Energy Policy*, v. 60, p. 208–216, 2013.
- ROBINSON, J. Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development. *Ecological Economics*, v. 48, n. 4, p. 369–384, 2004.
- ROBRA, S. *et al.* Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 9, p. 1330–1335, set. 2010.
- ROCKENBACH, F. L.; SOUZA, A. M.; OLIVEIRA, J. H. R. DE. Economic feasibility of biogas production in swine farms using time series analysis. *Ciência Rural*, v. 46, n. 7, p. 1295–1300, 2016.
- RODRIGUES, G. S. *et al.* An Environmental Impact Assessment System for Agricultural Research and Development II : Institutional Learning Experience at Embrapa. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 5, n. 4, 2010.

- RODRIGUES, G. S. *et al.* *Avaliação de Impactos Ambientais de Sistemas de Integração Lavoura- Pecuária-Floresta Conforme Contexto de Adoção*. Embrapa Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160581/1/2017DC01.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 38, n. 4, p. 445–451, 2003.
- RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 23, n. 2, p. 219–244, 2003.
- RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, p. 349–375, 2002.
- ROMERO-RUBIO, C.; DE ANDRÉS DÍAZ, J. R. Sustainable energy communities: A study contrasting Spain and Germany. *Energy Policy*, v. 85, p. 397–409, 2015.
- ROSA, S. E. S.; GARCIA, J. L. F. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. *Revista do BNDES*, v. 32, p. 117–156, 2009.
- ROUSSET, P. *et al.* LCA of eucalyptus wood charcoal briquettes. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 14, p. 1647–1653, 2011.
- RUSSO, V.; VON BLOTTNITZ, H. Potentialities of biogas installation in South African meat value chain for environmental impacts reduction. *Journal of Cleaner Production*, v. 153, p. 465–473, 2017.
- SALA, S.; CIUFFO, B.; NIJKAMP, P. A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, v. 119, p. 314–325, 2015.
- SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 9, p. 1101–1107, 2009.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. DEL P. B. *Metodologia de Pesquisa*. 3. ed. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 2006.
- SÁNCHEZ, A. S. *et al.* Waste bio-refineries for the cassava starch industry: New trends and review of alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, n. February 2016, p. 1265–1275, 2017.
- SANTOS, P. S. B. DO. *et al.* Characterisation of Kraft lignin separated by gradient acid precipitation. *Industrial Crops and Products*, v. 55, p. 149–154, 2014.
- SARDÁ, L. G. *et al.* Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 9, p. 1008–1013, 2010.
- SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; FAHL, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, v. 129, p. 457–472, 2018.
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 3, p. 1375–1383, 2010.

- SCHNEIDER, S. A importância da pluriatividade para as políticas públicas. *Revista de Política Agrícola*, v. 16, n. 3, p. 15–34, 2007.
- SCHNEIDER, S. *et al.* A pluriatividade e as condições de vida dos agricultores familiares do Rio Grande do Sul. *A diversidade da agricultura familiar*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006. p. 137–165.
- SCHOLL, A. L. *et al.* Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) pretreated via steam explosion as a carbon source for cellulases and xylanases in submerged cultivation. *Industrial Crops and Products*, v. 70, p. 280–291, 2015.
- SCIMAGO. *Scimago Journal & Country Rank*. Disponível em: <<https://www-scimagojr.ez54.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- SCOPUS. *CiteScore*. Disponível em: <<https://www-scopus.ez54.periodicos.capes.gov.br/customer/authenticate/loginfull.uri>>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- SEGAT, J. C. *et al.* Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 122, p. 91–97, 2015.
- SENAI/PR. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Paraná. *Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná*, v. 1, p. 144, 2016. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/observatorios/download---oportunidades-da-cadeia-produtiva-de-biogas-para-o-estado-do-parana-1-19295-319478.shtml>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- SENGER, I.; BORGES, J. A. R.; MACHADO, J. A. D. Using the theory of planned behavior to understand the intention of small farmers in diversifying their agricultural production. *Journal of Rural Studies*, v. 49, p. 32–40, 2017.
- SIEGMUND-SCHULTZE, M. *et al.* Cattle are cash generating assets for mixed smallholder farms in the Eastern Amazon. *Agricultural Systems*, v. 94, n. 3, p. 738–749, 2007.
- SILVA, A. F. *et al.* Coturnicultura como alternativa para aumento de renda do pequeno produtor. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 70, n. 3, p. 913–920, 2018.
- SILVA DOS SANTOS, I. F. *et al.* Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 131, n. May 2017, p. 54–63, 2018.
- SILVA, R. S. *et al.* Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 3, p. 397–405, 2016.
- SIMIONI, F. J. *et al.* Forest biomass chain of production: Challenges of small-scale forest production in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 889–898, 2018.
- SINGH, R. K. *et al.* An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, v. 15, n. 1, p. 281–299, 2012.
- SMITH, M. T.; SCHROENN GOEBEL, J.; BLIGNAUT, J. N. The financial and economic feasibility of rural household biodigesters for poor communities in South Africa. *Waste Management*, v. 34, n. 2, p. 352–362, 2014.
- SOARES, J. P. G. *et al.* Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa Cerrados). *Impactos Ambientais da Transição entre a Produção de Leite Bovino Convencional para Orgânico na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE/DF)*, 2015.

- SOUSA, V. M. Z. *et al.* Life cycle assessment of biodiesel production from beef tallow in Brazil. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, n. 11, p. 1837–1850, 2017.
- SOUZA, D. T. DE *et al.* *Avaliação de impacto socioeconômico e ambiental de inovações tecnológicas no contexto de biorrefinarias: o Sistema Ambitec-Bioenergia*. Brasília-DF: Embrapa Agroenergia, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165383/1/DOC-23-CNPAAE.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2017.
- SOUZAA, S. N. M. DE *et al.* Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 28, p. 385–391, 2013.
- SOVACOOOL, B. K. *et al.* Exploring propositions about perceptions of energy security: An international survey. *Environmental Science and Policy*, v. 16, p. 44–64, 2012.
- SPOLODOR, H. F. (DEAS/ESALQ/USP); MELO, F. H. (FEA/USP). O Mercado De Crédito E a Experiência Brasileira De Financiamento Da Agricultura. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 41, n. 3, p. 9–28, 2003.
- STILPEN, M. R.; STILPEN, D. V. DE S.; MARIANI, L. F. Análise do Programa Renovabio no âmbito do setor de biogás e biometano no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v. 24, n. 4, p. 7–18, 2018.
- STREZOV, V.; EVANS, T. J.; HAYMAN, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 17, p. 8394–8399, 2008.
- SUZIN, L. *et al.* Chemical Removal of Phosphorus from Swine Effluent : the Impact of Previous Effluent Treatment Technologies on Process Efficiency. *Water, Air & Soil Pollution*, p. 229–341, 2018.
- SZARKA, N. *et al.* Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 1222–1233, 2017.
- TROLDBORG, M.; HESLOP, S.; HOUGH, R. L. Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 1173–1184, 2014.
- UGGETTI, E. *et al.* Recent Achievements in the Production of Biogas from Microalgae. *Waste and Biomass Valorization*, v. 8, n. 1, p. 129–139, jan. 2017.
- VALENTINOV, V. Why are cooperatives important in agriculture? An organizational economics perspective. *Journal of Institutional Economics*, v. 3, n. 01, p. 55, 2007.
- VAN DER PLOEG, J. D. O modo de produção camponês revisitado. *A diversidade da agricultura familiar*, n. 2, p. 13–56, 2009.
- VAN HAASTER, B. *et al.* Development of a methodological framework for social life-cycle assessment of novel technologies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, n. 3, p. 423–440, 2017.
- VASCO-CORREA, J. *et al.* Anaerobic digestion for bioenergy production: global status, environmental and techno-economic implications, and government policies. *Bioresource Technology*, n. August, p. 0–1, 2017.

- VERSLYPE, N. I. *et al.* Potencial para o cultivo do girassol na Microrregião do Pajeú através do modelo digital do terreno. *Revista Geama*, p. 279–292, 2015.
- WARD, A. J. *et al.* Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 17, p. 7928–7940, 2008.
- WBA. World Bioenergy Association. *WBA Global Bioenergy Statistics 2017*, 2017. Disponível em: <http://worldbioenergy.org/uploads/WBA_GBS_2017_hq.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- WCED. World Commission on Environment and Development. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future - (Brundtland Report)*, v. Report of, p. 247, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>.
- WEILAND, P. Biomass digestion in agriculture: A successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. *Engineering in Life Sciences*, v. 6, n. 3, p. 302–309, 2006.
- WHITE, A. J.; KIRK, D. W.; GRAYDON, J. W. Analysis of small-scale biogas utilization systems on Ontario cattle farms. *Renewable Energy*, v. 36, n. 3, p. 1019–1025, 2011.
- WILKINSON, K. G. A comparison of the drivers influencing adoption of on-farm anaerobic digestion in Germany and Australia. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 5, p. 1613–1622, 2011.
- WINCKLER, S. T.; RENK, A.; LESSA, L. Impactos socioambientais da suinocultura no oeste catarinense e a iniciativa de implantação de biodigestores pelo Projeto Alto Uruguai. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 41, p. 237–251, 2017.
- WIRTH, S. Communities matter: Institutional preconditions for community renewable energy. *Energy Policy*, v. 70, p. 236–246, 2014.
- WOLLNI, M.; ZELLER, M. Do farmers benefit from participating in specialty markets and cooperatives? The case of coffee marketing in Costa Rica. *Agricultural Economics*, v. 37, n. 2–3, p. 243–248, 2007.
- WONG, B. T. *et al.* Carbon balance of anaerobic granulation process: Carbon credit. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 5, p. 1734–1739, 2009.
- XU, C. *et al.* Life cycle assessment of food waste-based biogas generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p. 169–177, 2015.
- YILDIZ, Ö. *et al.* Renewable energy cooperatives as gatekeepers or facilitators? Recent developments in Germany and a multidisciplinary research agenda. *Energy Research and Social Science*, v. 6, p. 59–73, 2015.
- YIN, R. K. *Estudo de Caso: planejamento e métodos*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos da avicultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião brasileira, em 2016.

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	AVES (milhões) – PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm ³ /ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Brasil	676,1	37,0	444,23	54,63
Oeste Paranaense (PR)	53,5	2,9	35,14	4,32
Oeste Catarinense (SC)	51,8	2,8	34,02	4,18
Norte Central Paranaense (PR)	29,6	1,6	19,46	2,39
Sul Goiano (GO)	23,5	1,3	15,43	1,90
Norte Mato-grossense (MT)	23,2	1,3	15,22	1,87
Noroeste Paranaense (PR)	22,7	1,2	14,92	1,83
Sudoeste Paranaense (PR)	21,6	1,2	14,21	1,75
Campinas (SP)	21,3	1,2	13,99	1,72
Nordeste Rio-grandense (RS)	21,0	1,2	13,81	1,70
Noroeste Rio-grandense (RS)	20,4	1,1	13,39	1,65
Centro Oriental Rio-grandense (RS)	16,1	0,9	10,60	1,30
Itapetininga (SP)	16,1	0,9	10,58	1,30
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	15,1	0,8	9,92	1,22
Metropolitana de Belo Horizonte (MG)	14,0	0,8	9,22	1,13
Central Espírito-santense (ES)	12,9	0,7	8,49	1,04
Agreste Pernambucano (PE)	12,3	0,7	8,05	0,99
Norte Pioneiro Paranaense (PR)	12,1	0,7	7,97	0,98
Metropolitana de Porto Alegre (RS)	10,3	0,6	6,78	0,83
Marília (SP)	10,2	0,6	6,71	0,83
Sul Catarinense (SC)	10,2	0,6	6,69	0,82
Centro Ocidental Paranaense (PR)	9,9	0,5	6,53	0,80
Piracicaba (SP)	9,3	0,5	6,12	0,75
Oeste de Minas (MG)	9,1	0,5	5,96	0,73
São José do Rio Preto (SP)	8,7	0,5	5,74	0,71
Centro Goiano (GO)	8,2	0,4	5,36	0,66
Centro Oriental Paranaense (PR)	7,9	0,4	5,18	0,64
Distrito Federal (DF)	7,8	0,4	5,15	0,63
Bauru (SP)	7,8	0,4	5,13	0,63
Centro Norte Baiano (BA)	7,8	0,4	5,11	0,63
Macro Metropolitana Paulista (SP)	7,5	0,4	4,92	0,60
Metropolitana de Belém (PA)	7,1	0,4	4,64	0,57
Sul/Sudoeste de Minas (MG)	7,0	0,4	4,57	0,56
Metropolitana de Curitiba (PR)	6,4	0,4	4,22	0,52
Ocidental do Tocantins (TO)	6,4	0,4	4,20	0,52
Ribeirão Preto (SP)	6,4	0,3	4,19	0,52
Sudoeste de Mato Grosso do Sul (MS)	6,3	0,3	4,13	0,51
Zona da Mata (MG)	5,4	0,3	3,56	0,44
Extremo Oeste Baiano (BA)	4,8	0,3	3,14	0,39
Norte Cearense (CE)	4,6	0,3	3,02	0,37
Centro Norte de Mato Grosso do Sul (MS)	4,5	0,2	2,95	0,36
Sudeste Mato-grossense (MT)	4,3	0,2	2,82	0,35
Campo das Vertentes (MG)	4,0	0,2	2,66	0,33
Araraquara (SP)	3,9	0,2	2,54	0,31
Nordeste Paraense (PA)	3,8	0,2	2,47	0,30
Presidente Prudente (SP)	3,6	0,2	2,34	0,29
Norte Catarinense (SC)	3,3	0,2	2,17	0,27
Metropolitana de Salvador (BA)	3,3	0,2	2,16	0,27
Centro-Norte Piauiense (PI)	3,1	0,2	2,06	0,25

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	AVES (milhões) – PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Metropolitana de Fortaleza (CE)	3,1	0,2	2,04	0,25
Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ)	2,9	0,2	1,91	0,24
Nordeste Baiano (BA)	2,8	0,2	1,86	0,23
Sertões Cearenses (CE)	2,7	0,2	1,80	0,22
Norte de Minas (MG)	2,5	0,1	1,65	0,20
Mata Pernambucana (PE)	2,5	0,1	1,61	0,20
Agreste Paraibano (PB)	2,4	0,1	1,55	0,19
Centro-Sul Mato-grossense (MT)	2,3	0,1	1,53	0,19
Agreste Alagoano (AL)	2,2	0,1	1,45	0,18
Centro-Sul Paranaense (PR)	2,2	0,1	1,44	0,18
Centro Sul Baiano (BA)	2,2	0,1	1,42	0,17
Vale do Itajaí (SC)	2,1	0,1	1,38	0,17
Centro Amazonense (AM)	2,0	0,1	1,34	0,16
Araçatuba (SP)	2,0	0,1	1,28	0,16
Sul Fluminense (RJ)	1,9	0,1	1,24	0,15
Sudoeste Mato-grossense (MT)	1,8	0,1	1,15	0,14
Leste Alagoano (AL)	1,7	0,1	1,12	0,14
Serrana (SC)	1,7	0,1	1,12	0,14
Agreste Sergipano (SE)	1,6	0,1	1,08	0,13
Noroeste Cearense (CE)	1,6	0,1	1,08	0,13
Leste Goiano (GO)	1,6	0,1	1,05	0,13
Leste Sergipano (SE)	1,6	0,1	1,05	0,13
Sudeste Paranaense (PR)	1,5	0,1	1,01	0,12
Mata Paraibana (PB)	1,5	0,1	1,00	0,12
Litoral Norte Espírito-santense (ES)	1,4	0,1	0,90	0,11
Leste Rondoniense (RO)	1,3	0,1	0,83	0,10
Central Mineira (MG)	1,2	0,1	0,78	0,10
Leste de Mato Grosso do Sul (MS)	1,2	0,1	0,78	0,10
Centro Maranhense (MA)	1,1	0,1	0,72	0,09
Centro Fluminense (RJ)	1,1	0,1	0,71	0,09
Sul Cearense (CE)	1,1	0,1	0,71	0,09
Vale do Acre (AC)	1,1	0,1	0,70	0,09
Leste Maranhense (MA)	1,0	0,1	0,67	0,08
Sudeste Paraense (PA)	1,0	0,1	0,67	0,08
Sul Baiano (BA)	1,0	0,1	0,66	0,08
Grande Florianópolis (SC)	1,0	0,1	0,66	0,08
Metropolitana de Recife (PE)	1,0	0,1	0,65	0,08
Baixo Amazonas (PA)	1,0	0,1	0,65	0,08
Sul Maranhense (MA)	1,0	0,1	0,65	0,08
Vale do Rio Doce (MG)	1,0	0,1	0,65	0,08
Norte Maranhense (MA)	0,9	0,1	0,61	0,08
Leste Potiguar (RN)	0,9	0,1	0,60	0,07
Metropolitana de São Paulo (SP)	0,9	0,0	0,58	0,07
Sertão Pernambucano (PE)	0,9	0,0	0,57	0,07
Assis (SP)	0,8	0,0	0,54	0,07
Oeste Potiguar (RN)	0,8	0,0	0,51	0,06
Sertão Sergipano (SE)	0,8	0,0	0,51	0,06
Sudoeste Piauiense (PI)	0,7	0,0	0,47	0,06
Noroeste Goiano (GO)	0,7	0,0	0,46	0,06
Oeste Maranhense (MA)	0,7	0,0	0,44	0,05
Norte Piauiense (PI)	0,7	0,0	0,43	0,05
Sertão Paraibano (PB)	0,6	0,0	0,39	0,05
Centro-Sul Cearense (CE)	0,6	0,0	0,36	0,04
Vale São-Franciscano da Bahia (BA)	0,5	0,0	0,36	0,04

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	AVES (milhões) – PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Noroeste de Minas (MG)	0,5	0,0	0,31	0,04
Jequitinhonha (MG)	0,4	0,0	0,29	0,04
Norte Goiano (GO)	0,4	0,0	0,28	0,04
Oriental do Tocantins (TO)	0,4	0,0	0,27	0,03
Sudeste Piauiense (PI)	0,4	0,0	0,26	0,03
Jaguaribe (CE)	0,4	0,0	0,26	0,03
Pantanaís Sul Mato-grossense (MS)	0,4	0,0	0,26	0,03
Vale do Juruá (AC)	0,4	0,0	0,25	0,03
Borborema (PB)	0,3	0,0	0,23	0,03
Central Potiguar (RN)	0,3	0,0	0,22	0,03
Sudeste Rio-grandense (RS)	0,3	0,0	0,22	0,03
Vale do Paraíba Paulista (SP)	0,3	0,0	0,21	0,03
Sudoeste Paraense (PA)	0,3	0,0	0,20	0,02
Sertão Alagoano (AL)	0,3	0,0	0,20	0,02
Sudoeste Rio-grandense (RS)	0,3	0,0	0,18	0,02
Nordeste Mato-grossense (MT)	0,3	0,0	0,18	0,02
Madeira-Guaporé (RO)	0,2	0,0	0,16	0,02
Agreste Potiguar (RN)	0,2	0,0	0,16	0,02
Centro Ocidental Rio-grandense (RS)	0,2	0,0	0,15	0,02
Vale do Mucuri (MG)	0,2	0,0	0,13	0,02
Sul Espírito-santense (ES)	0,2	0,0	0,12	0,02
Norte de Roraima (RR)	0,2	0,0	0,12	0,02
São Francisco Pernambucano (PE)	0,2	0,0	0,11	0,01
Noroeste Espírito-santense (ES)	0,2	0,0	0,10	0,01
Noroeste Fluminense (RJ)	0,1	0,0	0,07	0,01
Sudoeste Amazonense (AM)	0,1	0,0	0,06	0,01
Sul Amazonense (AM)	0,1	0,0	0,05	0,01
Marajó (PA)	0,1	0,0	0,05	0,01
Sul de Roraima (RR)	0,1	0,0	0,04	0,01
Norte Fluminense (RJ)	0,1	0,0	0,04	0,01
Baixadas (RJ)	0,1	0,0	0,04	0,00
Sul do Amapá (AP)	0,0	0,0	0,01	0,00
Litoral Sul Paulista (SP)	0,0	0,0	0,01	0,00
Norte Amazonense (AM)	0,0	0,0	0,01	0,00
Norte do Amapá (AP)	0,0	0,0	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

APÊNDICE B - Potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos da bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais por mesorregião brasileira em 2016.

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	VACAS (mil) – PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Brasil	11.413,7	89,8	818,84	100,70
Demais Mesorregiões	6.305,7	49,6	452,38	55,63
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	651,2	5,1	46,72	5,75
Sul Goiano (GO)	520,6	4,1	37,35	4,59
Noroeste Rio-grandense (RS)	505,4	4,0	36,26	4,46
Sul/Sudoeste de Minas (MG)	448,7	3,5	32,19	3,96
Oeste Catarinense (SC)	435,6	3,4	31,25	3,84
Centro Goiano (GO)	432,4	3,4	31,02	3,82
Vale do Rio Doce (MG)	298,4	2,3	21,41	2,63
Sudeste Paraense (PA)	287,1	2,3	20,60	2,53
Leste Rondoniense (RO)	272,8	2,1	19,57	2,41
Zona da Mata (MG)	246,7	1,9	17,70	2,18
Ocidental do Tocantins (TO)	239,4	1,9	17,17	2,11
Oeste de Minas (MG)	213,8	1,7	15,34	1,89
Central Mineira (MG)	187,1	1,5	13,43	1,65
Norte de Minas (MG)	184,5	1,5	13,24	1,63
Metropolitana de Belo Horizonte (MG)	184,1	1,4	13,21	1,62
Sudoeste Paraense (PR)	179,8	1,4	12,90	1,59
São José do Rio Preto (SP)	179,4	1,4	12,87	1,58
Agreste Pernambucano (PE)	177,2	1,4	12,71	1,56
Oeste Maranhense (MA)	166,3	1,3	11,93	1,47
Oeste Paraense (PR)	165,2	1,3	11,85	1,46
Centro Sul Baiano (BA)	156,9	1,2	11,25	1,38
Noroeste de Minas (MG)	133,9	1,1	9,61	1,18
Vale do Mucuri (MG)	133,1	1,0	9,55	1,17
Leste Goiano (GO)	130,1	1,0	9,33	1,15
Noroeste Goiano (GO)	127,5	1,0	9,15	1,13
Centro-Sul Paraense (PR)	125,3	1,0	8,99	1,11
Norte Mato-grossense (MT)	122,5	1,0	8,79	1,08
Noroeste Paraense (PR)	111,5	0,9	8,00	0,98
Jequitinhonha (MG)	111,2	0,9	7,98	0,98
Sul Baiano (BA)	102,0	0,8	7,32	0,90
Vale do Paraíba Paulista (SP)	99,9	0,8	7,17	0,88
Norte Central Paraense (PR)	93,0	0,7	6,67	0,82
Campo das Vertentes (MG)	92,3	0,7	6,62	0,81
Nordeste Baiano (BA)	91,2	0,7	6,54	0,80
Nordeste Rio-grandense (RS)	90,4	0,7	6,48	0,80
Norte Goiano (GO)	87,3	0,7	6,26	0,77
Centro Norte Baiano (BA)	83,7	0,7	6,00	0,74
Centro Maranhense (MA)	82,9	0,7	5,95	0,73
Sertões Cearenses (CE)	82,9	0,7	5,95	0,73
Norte Pioneiro Paraense (PR)	81,9	0,6	5,88	0,72
Noroeste Fluminense (RJ)	79,0	0,6	5,66	0,70
Vale do Itajaí (SC)	78,9	0,6	5,66	0,70
Centro Oriental Rio-grandense (RS)	76,5	0,6	5,49	0,67
Presidente Prudente (SP)	75,5	0,6	5,42	0,67
Madeira-Guaporé (RO)	75,2	0,6	5,40	0,66
Sertão Paraibano (PB)	72,0	0,6	5,17	0,64
Sudoeste Mato-grossense (MT)	69,8	0,5	5,01	0,62

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	VACAS (mil) – PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Centro Oriental Paranaense (PR)	67,4	0,5	4,83	0,59
Oriental do Tocantins (TO)	66,9	0,5	4,80	0,59
Sudoeste de Mato Grosso do Sul (MS)	64,4	0,5	4,62	0,57
Jaguaribe (CE)	63,4	0,5	4,55	0,56
Sertão Sergipano (SE)	63,1	0,5	4,52	0,56
Sudeste Mato-grossense (MT)	60,6	0,5	4,35	0,53
Baixo Amazonas (PA)	60,5	0,5	4,34	0,53
Sertão Pernambucano (PE)	60,2	0,5	4,32	0,53
Sul Espírito-santense (ES)	56,8	0,4	4,08	0,50
Sertão Alagoano (AL)	54,1	0,4	3,88	0,48
Norte Fluminense (RJ)	52,9	0,4	3,80	0,47
Metropolitana de Porto Alegre (RS)	51,6	0,4	3,70	0,46
Centro Ocidental Paranaense (PR)	50,3	0,4	3,61	0,44
Campinas (SP)	50,2	0,4	3,60	0,44
Sul Catarinense (SC)	48,7	0,4	3,49	0,43
Sudoeste Rio-grandense (RS)	48,5	0,4	3,48	0,43
Noroeste Cearense (CE)	48,1	0,4	3,45	0,42
Sul Fluminense (RJ)	46,9	0,4	3,37	0,41
Extremo Oeste Baiano (BA)	46,1	0,4	3,30	0,41
Nordeste Mato-grossense (MT)	45,4	0,4	3,25	0,40
Araçatuba (SP)	44,9	0,4	3,22	0,40
Noroeste Espírito-santense (ES)	44,3	0,3	3,18	0,39
Central Potiguar (RN)	43,8	0,3	3,14	0,39
Sudeste Rio-grandense (RS)	43,5	0,3	3,12	0,38
Sul Maranhense (MA)	43,5	0,3	3,12	0,38
Leste de Mato Grosso do Sul (MS)	41,5	0,3	2,98	0,37
Bauru (SP)	40,0	0,3	2,87	0,35
Vale do Acre (AC)	39,9	0,3	2,87	0,35
Itapetininga (SP)	39,2	0,3	2,81	0,35
Ribeirão Preto (SP)	38,9	0,3	2,79	0,34
Centro Fluminense (RJ)	38,9	0,3	2,79	0,34
Centro Amazonense (AM)	38,8	0,3	2,78	0,34
Sudeste Paranaense (PR)	38,4	0,3	2,76	0,34
Agreste Alagoano (AL)	38,4	0,3	2,76	0,34
Centro-Sul Cearense (CE)	38,4	0,3	2,76	0,34
Agreste Potiguar (RN)	37,2	0,3	2,67	0,33
Sudoeste Paraense (PA)	36,1	0,3	2,59	0,32
Oeste Potiguar (RN)	35,7	0,3	2,56	0,31
Agreste Sergipano (SE)	35,4	0,3	2,54	0,31
Centro Norte de Mato Grosso do Sul (MS)	34,5	0,3	2,47	0,30
Sul Cearense (CE)	33,3	0,3	2,39	0,29
Centro Ocidental Rio-grandense (RS)	31,7	0,2	2,28	0,28
Agreste Paraíba (PB)	30,9	0,2	2,22	0,27
Serrana (SC)	30,4	0,2	2,18	0,27
Litoral Norte Espírito-santense (ES)	30,4	0,2	2,18	0,27
Grande Florianópolis (SC)	29,7	0,2	2,13	0,26
Leste Sergipano (SE)	28,4	0,2	2,04	0,25
Sudoeste Piauiense (PI)	28,3	0,2	2,03	0,25
Metropolitana de Curitiba (PR)	27,7	0,2	1,99	0,24
Norte Cearense (CE)	27,6	0,2	1,98	0,24
Assis (SP)	27,4	0,2	1,96	0,24
Leste Potiguar (RN)	27,0	0,2	1,94	0,24
Central Espírito-santense (ES)	26,7	0,2	1,92	0,24
Leste Maranhense (MA)	26,2	0,2	1,88	0,23

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	VACAS (mil) – PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Norte Catarinense (SC)	24,6	0,2	1,76	0,22
Norte Maranhense (MA)	24,2	0,2	1,74	0,21
Nordeste Paraense (PA)	23,5	0,2	1,68	0,21
São Francisco Pernambucano (PE)	23,0	0,2	1,65	0,20
Borborema (PB)	22,9	0,2	1,64	0,20
Centro-Sul Mato-grossense (MT)	22,5	0,2	1,61	0,20
Macro Metropolitana Paulista (SP)	22,5	0,2	1,61	0,20
Vale São-Franciscano da Bahia (BA)	22,4	0,2	1,61	0,20
Mata Pernambucana (PE)	19,9	0,2	1,43	0,18
Sudeste Piauiense (PI)	19,1	0,2	1,37	0,17
Leste Alagoano (AL)	19,0	0,1	1,36	0,17
Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ)	18,5	0,1	1,33	0,16
Centro-Norte Piauiense (PI)	17,5	0,1	1,26	0,15
Piracicaba (SP)	17,4	0,1	1,25	0,15
Marília (SP)	16,5	0,1	1,18	0,15
Metropolitana de Fortaleza (CE)	16,2	0,1	1,16	0,14
Sul Amazonense (AM)	16,0	0,1	1,15	0,14
Marajó (PA)	12,5	0,1	0,90	0,11
Sul de Roraima (RR)	11,8	0,1	0,84	0,10
Distrito Federal (DF)	10,9	0,1	0,78	0,10
Norte de Roraima (RR)	10,2	0,1	0,73	0,09
Norte Piauiense (PI)	10,1	0,1	0,73	0,09
Pantaneis Sul Mato-grossense (MS)	9,8	0,1	0,70	0,09
Araraquara (SP)	8,5	0,1	0,61	0,08
Metropolitana de Salvador (BA)	8,3	0,1	0,59	0,07
Vale do Juruá (AC)	7,2	0,1	0,52	0,06
Metropolitana de São Paulo (SP)	5,8	0,0	0,42	0,05
Metropolitana de Belém (PA)	5,4	0,0	0,39	0,05
Litoral Sul Paulista (SP)	5,0	0,0	0,36	0,04
Baixadas (RJ)	4,8	0,0	0,34	0,04
Mata Paraibana (PB)	3,4	0,0	0,24	0,03
Metropolitana de Recife (PE)	3,2	0,0	0,23	0,03
Sul do Amapá (AP)	2,0	0,0	0,14	0,02
Norte do Amapá (AP)	1,9	0,0	0,14	0,02
Sudoeste Amazonense (AM)	1,5	0,0	0,11	0,01
Norte Amazonense (AM)	0,1	0,0	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

APÊNDICE C - Potencial de produção de biogás e energia a partir de dejetos da suinocultura em empreendimentos familiares rurais, por mesorregião brasileira, em 2016.

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	SUÍNOS (mil) - PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Brasil	23.570,7	20,2	383,33	47,14
Oeste Catarinense (SC)	2.863,9	2,5	46,58	5,73
Oeste Paranaense (PR)	2.675,5	2,3	43,51	5,35
Noroeste Rio-grandense (RS)	2.052,9	1,8	33,39	4,11
Norte Mato-grossense (MT)	1.213,3	1,0	19,73	2,43
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	1.090,5	0,9	17,73	2,18
Sul Goiano (GO)	817,9	0,7	13,30	1,64
Zona da Mata (MG)	701,9	0,6	11,41	1,40
Centro Oriental Rio-grandense (RS)	660,5	0,6	10,74	1,32
Sul Catarinense (SC)	596,3	0,5	9,70	1,19
Centro Oriental Paranaense (PR)	491,8	0,4	8,00	0,98
Sudoeste de Mato Grosso do Sul (MS)	407,9	0,3	6,63	0,82
Nordeste Rio-grandense (RS)	400,9	0,3	6,52	0,80
Norte Maranhense (MA)	304,4	0,3	4,95	0,61
Vale do Itajaí (SC)	300,6	0,3	4,89	0,60
Sudoeste Paranaense (PR)	290,9	0,2	4,73	0,58
Noroeste Cearense (CE)	287,2	0,2	4,67	0,57
Metropolitana de Belo Horizonte (MG)	259,2	0,2	4,22	0,52
Metropolitana de Porto Alegre (RS)	244,4	0,2	3,97	0,49
Centro Sul Baiano (BA)	229,3	0,2	3,73	0,46
Centro Norte de Mato Grosso do Sul (MS)	220,3	0,2	3,58	0,44
Agreste Pernambucano (PE)	211,1	0,2	3,43	0,42
Centro Goiano (GO)	196,4	0,2	3,19	0,39
Sul/Sudoeste de Minas (MG)	193,0	0,2	3,14	0,39
Leste Maranhense (MA)	186,7	0,2	3,04	0,37
Centro-Norte Piauiense (PI)	181,5	0,2	2,95	0,36
Sudeste Paranaense (PR)	176,2	0,2	2,87	0,35
Centro-Sul Paranaense (PR)	170,4	0,1	2,77	0,34
Norte Catarinense (SC)	165,4	0,1	2,69	0,33
Oeste de Minas (MG)	160,9	0,1	2,62	0,32
Norte Piauiense (PI)	146,4	0,1	2,38	0,29
Sertões Cearenses (CE)	142,2	0,1	2,31	0,28
Macro Metropolitana Paulista (SP)	141,5	0,1	2,30	0,28
Noroeste de Minas (MG)	141,3	0,1	2,30	0,28
Norte de Minas (MG)	140,1	0,1	2,28	0,28
Centro Norte Baiano (BA)	132,4	0,1	2,15	0,26
Serrana (SC)	131,0	0,1	2,13	0,26
Sudeste Mato-grossense (MT)	125,8	0,1	2,05	0,25
Sudeste Paraense (PA)	125,0	0,1	2,03	0,25
Ocidental do Tocantins (TO)	124,6	0,1	2,03	0,25
Campinas (SP)	120,7	0,1	1,96	0,24
Centro Maranhense (MA)	111,6	0,1	1,82	0,22
Bauru (SP)	111,2	0,1	1,81	0,22
Leste Rondoniense (RO)	105,6	0,1	1,72	0,21
Distrito Federal (DF)	99,4	0,1	1,62	0,20
Norte Central Paranaense (PR)	99,0	0,1	1,61	0,20
Leste de Mato Grosso do Sul (MS)	98,7	0,1	1,61	0,20
Vale do Rio Doce (MG)	96,4	0,1	1,57	0,19
Central Mineira (MG)	96,1	0,1	1,56	0,19
Norte Cearense (CE)	93,4	0,1	1,52	0,19

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	SUÍNOS (mil) - PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Metropolitana de Curitiba (PR)	90,3	0,1	1,47	0,18
Norte Pioneiro Paranaense (PR)	89,5	0,1	1,46	0,18
Oeste Maranhense (MA)	89,5	0,1	1,46	0,18
Sertão Pernambucano (PE)	86,7	0,1	1,41	0,17
Itapetininga (SP)	83,8	0,1	1,36	0,17
Marajó (PA)	83,2	0,1	1,35	0,17
Nordeste Baiano (BA)	82,1	0,1	1,34	0,16
Jaguaribe (CE)	74,8	0,1	1,22	0,15
São José do Rio Preto (SP)	73,9	0,1	1,20	0,15
Sudeste Piauiense (PI)	72,8	0,1	1,18	0,15
Piracicaba (SP)	72,4	0,1	1,18	0,14
Leste Goiano (GO)	70,7	0,1	1,15	0,14
Extremo Oeste Baiano (BA)	68,4	0,1	1,11	0,14
Noroeste Paranaense (PR)	67,8	0,1	1,10	0,14
Sudoeste Piauiense (PI)	67,3	0,1	1,10	0,13
Baixo Amazonas (PA)	63,3	0,1	1,03	0,13
Sul Espírito-santense (ES)	63,0	0,1	1,02	0,13
Sul Baiano (BA)	62,6	0,1	1,02	0,13
Centro-Sul Mato-grossense (MT)	62,4	0,1	1,02	0,12
Central Potiguar (RN)	61,6	0,1	1,00	0,12
Oeste Potiguar (RN)	60,6	0,1	0,99	0,12
Vale São-Franciscano da Bahia (BA)	60,5	0,1	0,98	0,12
Metropolitana de Fortaleza (CE)	60,4	0,1	0,98	0,12
Oriental do Tocantins (TO)	57,4	0,0	0,93	0,11
Centro-Sul Cearense (CE)	56,5	0,0	0,92	0,11
Centro Ocidental Paranaense (PR)	55,9	0,0	0,91	0,11
Jequitinhonha (MG)	55,5	0,0	0,90	0,11
Assis (SP)	54,3	0,0	0,88	0,11
Sul Cearense (CE)	53,6	0,0	0,87	0,11
Nordeste Paraense (PA)	52,3	0,0	0,85	0,10
Nordeste Mato-grossense (MT)	52,0	0,0	0,85	0,10
Vale do Acre (AC)	49,4	0,0	0,80	0,10
Sudoeste Rio-grandense (RS)	49,2	0,0	0,80	0,10
Ribeirão Preto (SP)	47,4	0,0	0,77	0,09
Sudeste Rio-grandense (RS)	46,8	0,0	0,76	0,09
Noroeste Goiano (GO)	45,8	0,0	0,75	0,09
Sudoeste Mato-grossense (MT)	44,2	0,0	0,72	0,09
Campo das Vertentes (MG)	43,0	0,0	0,70	0,09
Centro Ocidental Rio-grandense (RS)	42,7	0,0	0,70	0,09
Norte Goiano (GO)	42,3	0,0	0,69	0,08
Sul Maranhense (MA)	40,2	0,0	0,65	0,08
Agreste Alagoano (AL)	39,8	0,0	0,65	0,08
Agreste Paraibano (PB)	39,5	0,0	0,64	0,08
Sertão Paraibano (PB)	37,7	0,0	0,61	0,08
Sudoeste Paraense (PA)	37,3	0,0	0,61	0,07
São Francisco Pernambucano (PE)	36,0	0,0	0,59	0,07
Central Espírito-santense (ES)	33,9	0,0	0,55	0,07
Vale do Mucuri (MG)	33,2	0,0	0,54	0,07
Sertão Sergipano (SE)	33,2	0,0	0,54	0,07
Vale do Juruá (AC)	32,7	0,0	0,53	0,07
Vale do Paraíba Paulista (SP)	30,3	0,0	0,49	0,06
Metropolitana de Salvador (BA)	29,2	0,0	0,47	0,06
Presidente Prudente (SP)	27,7	0,0	0,45	0,06
Sertão Alagoano (AL)	26,8	0,0	0,44	0,05

BRASIL E MESORREGIÃO GEOGRÁFICA	SUÍNOS (mil) - PRODUÇÃO FAMILIAR	DEJETOS (Tg/ano)	BIOGÁS (milhões de Nm³/ano)	ENERGIA (ktep/ano)
Madeira-Guaporé (RO)	26,6	0,0	0,43	0,05
Agreste Sergipano (SE)	26,5	0,0	0,43	0,05
Mata Pernambucana (PE)	25,1	0,0	0,41	0,05
Agreste Potiguar (RN)	24,0	0,0	0,39	0,05
Leste Sergipano (SE)	22,3	0,0	0,36	0,04
Borborema (PB)	22,1	0,0	0,36	0,04
Leste Alagoano (AL)	21,4	0,0	0,35	0,04
Pantaneais Sul Mato-grossense (MS)	20,6	0,0	0,34	0,04
Noroeste Espírito-santense (ES)	20,0	0,0	0,33	0,04
Litoral Norte Espírito-santense (ES)	19,3	0,0	0,31	0,04
Centro Amazonense (AM)	18,6	0,0	0,30	0,04
Araraquara (SP)	18,4	0,0	0,30	0,04
Araçatuba (SP)	16,7	0,0	0,27	0,03
Leste Potiguar (RN)	15,2	0,0	0,25	0,03
Metropolitana de Belém (PA)	14,5	0,0	0,24	0,03
Sul do Amapá (AP)	14,5	0,0	0,24	0,03
Noroeste Fluminense (RJ)	13,5	0,0	0,22	0,03
Metropolitana de Recife (PE)	12,9	0,0	0,21	0,03
Norte de Roraima (RR)	12,1	0,0	0,20	0,02
Sul Amazonense (AM)	11,6	0,0	0,19	0,02
Sudoeste Amazonense (AM)	8,0	0,0	0,13	0,02
Centro Fluminense (RJ)	7,0	0,0	0,11	0,01
Sul de Roraima (RR)	6,8	0,0	0,11	0,01
Mata Paraibana (PB)	6,5	0,0	0,11	0,01
Grande Florianópolis (SC)	6,4	0,0	0,10	0,01
Sul Fluminense (RJ)	6,3	0,0	0,10	0,01
Norte do Amapá (AP)	6,2	0,0	0,10	0,01
Norte Fluminense (RJ)	5,1	0,0	0,08	0,01
Marília (SP)	5,0	0,0	0,08	0,01
Metropolitana do Rio de Janeiro (RJ)	4,6	0,0	0,07	0,01
Litoral Sul Paulista (SP)	2,9	0,0	0,05	0,01
Baixadas (RJ)	1,7	0,0	0,03	0,00
Metropolitana de São Paulo (SP)	0,7	0,0	0,01	0,00
Norte Amazonense (AM)	0,5	0,0	0,01	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ANEEL (2008), Barrera (1993), EPE (2016b), IBGE (2006), IBGE (2016b), Kunz e Oliveira (2006) Oliveira (1993).

APÊNDICE D – Memória de cálculo do potencial de produção de biogás a partir de dejetos da avicultura em empreendimentos familiares rurais, em 2016.

Número de Aves (Produção Familiar)	Número total de aves por mesorregião em 2016 (IBGE, 2016a) x Percentual de produção familiar de 50% (IBGE, 2006)
Dejetos (kg/ano)	Número de Aves (Produção Familiar) x 0,15 kg/animal/dia (OLIVEIRA, 1993) x 365
Biogás (Nm³/ano)	Dejetos (kg/ano) x 0,05 m ³ /kg de dejetos (KUNZ; OLIVEIRA, 2006) x Percentual economicamente viável de 24% (EPE, 2016c)
Energia (ktep/ano)	Biogás (Nm ³ /ano) x 1,428 kWh/m ³ de biogás (BARRERA, 1993) x 8,6 x 10 ⁻² ktep/kWh (ANEEL, 2008)

APÊNDICE E - Memória de cálculo do potencial de produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite em empreendimentos familiares rurais, em 2016.

Número de Vacas (Produção Familiar)	Número total de vacas por mesorregião em 2016 (IBGE, 2016a) x Percentual de produção familiar de 50% (IBGE, 2006)
Dejetos (kg/ano)	Número de Vacas (Produção Familiar) x 12,5 kg/animal/dia (OLIVEIRA, 1993)
Biogás (Nm³/ano)	Dejetos (kg/ano) x 0,038 Nm ³ /kg de dejetos (KUNZ; OLIVEIRA, 2006) x Percentual economicamente viável de 24% (EPE, 2016c)
Energia (ktep/ano)	Biogás (Nm ³ /ano) x 1,428 kWh/Nm ³ de biogás (BARRERA, 1993) x 8,6 x 10 ⁻² ktep/kWh (ANEEL, 2008)

APÊNDICE F - Memória de cálculo do potencial de produção de biogás a partir de dejetos da suinocultura em empreendimentos familiares rurais, em 2016.

Número de Suínos (Produção Familiar)	Número total de suínos por mesorregião em 2016 (IBGE, 2016a) x Percentual de produção familiar de 50% (IBGE, 2006)
Dejetos (kg/ano)	Número de Suínos (Produção Familiar) x 0,15 kg/animal (OLIVEIRA, 1993)
Biogás (Nm³)	Dejetos (kg/ano) x 0,079 m ³ /kg de dejetos (KUNZ; OLIVEIRA, 2006) x Percentual economicamente viável de 24% (EPE, 2016c)
Energia (ktep/ano)	Biogás (Nm ³ /ano) x 1,428 kWh/m ³ de biogás (BARRERA, 1993) x 8,6 x 10 ⁻² ktep/kWh (ANEEL, 2008)

APÊNDICE G - Artigos completos (362) sobre a produção de biogás no Brasil publicados em periódicos indexados à base Web of Science entre 2008 e 2017.

Título	Periódico	Autor(es)/Ano	Citações¹⁸	Fator de Impacto¹⁹	InOrdinatio
Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review	Agronomy For Sustainable Development	(JENSEN <i>et al.</i> , 2012)	319	4.503	339
Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept	Bioresource Technology	(RABELO <i>et al.</i> , 2011)	242	5.807	257
Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells	International Journal of Energy Research	(ALVES, H. J. <i>et al.</i> , 2013)	182	4.229	207
A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials	International Journal of Energy Research	(SATYANARAYAN A; MARIANO; VARGAS, 2011)	174	3.009	189
Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: From lab-scale research to full-scale application	Bioresource Technology	(CARRERE <i>et al.</i> , 2016)	142	5.807	182
Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil	Biomass & Bioenergy	(SALOMON; LORA, 2009)	167	3.358	172
Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015)	134	9.184	169
Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense?	Applied Energy	(MORAES <i>et al.</i> , 2014)	130	7.9	160
Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil	Resources Conservation and Recycling	(VICENTE LEME <i>et al.</i> , 2014)	118	5.12	148
Analysis of hybrid waste-to-energy for medium-sized cities	Energy	(BALCAZAR; DIAS; BALESTIERI, 2013)	119	4.968	144
Biogas production and valorization by means of a two-step biological process	Bioresource Technology	(CONVERTI <i>et al.</i> , 2009)	123	5.807	128
Adsorption of CO ₂ , CH ₄ , and N ₂ in Activated Carbon Honeycomb Monolith	Journal of Chemical and Engineering Data	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2008)	116	2.196	116
Influence of Biogas Flow Rate on Biomass Composition During the Optimization of Biogas Upgrading in Microalgal-Bacterial Processes	Environmental Science & Technology	(SEREJO <i>et al.</i> , 2015)	67	6.653	102
Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic	Water Practice and Technology	(SOUZA; CHERNICHARO; AQUINO, 2011)	86	1.247	101

¹⁸ O número de citações foi obtido por meio de pesquisa no Google Acadêmico (GOOGLE, 2018).

¹⁹ Foi considerado o fator de impacto atribuído pelo *Journal Citation Reports* (JCR, 2018). Para as revistas não indexadas ao JCR, foi considerado o fator de impacto atribuído pelo CiteScore (SCOPUS, 2018). Já para as revistas não indexadas ao JCR ou CiteScore, foi utilizado o fator de impacto atribuído pelo Scimago (SCIMAGO, 2018).

wastewater under different operating conditions					
Enhancement of methane production from sunflower oil cakes by dilute acid pretreatment	Applied Energy	(MONLAU <i>et al.</i> , 2013)	75	7.9	100
Evaluation of process configurations for second generation integrated with first generation bioethanol production from sugarcane	Fuel Processing Technology	(DIAS <i>et al.</i> , 2013)	70	3.956	95
Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges	Reviews In Environmental Science and Bio-Technology	(CHERNICHARO <i>et al.</i> , 2015)	59	5.716	94
Anaerobic fluidized bed reactor with expanded clay as support for hydrogen production through dark fermentation of glucose	International Journal of Energy Research	(CAVALCANTE DE AMORIM <i>et al.</i> , 2009)	85	4.229	90
Biohydrogen production in anaerobic fluidized bed reactors: Effect of support material and hydraulic retention time	International Journal of Energy Research	(BARROS <i>et al.</i> , 2010)	80	4.229	90
Utilization of pentoses from sugarcane biomass: Techno-economics of biogas vs. butanol production	Bioresource Technology	(MARIANO <i>et al.</i> , 2013)	64	5.807	89
Cogeneration in integrated first and second generation ethanol from sugarcane	Chemical Engineering Research & Design	(DIAS <i>et al.</i> , 2013)	63	2.795	88
Prevalence and persistence of potentially pathogenic and antibiotic resistant bacteria during anaerobic digestion treatment of cattle manure	Bioresource Technology	(RESENDE <i>et al.</i> , 2014)	57	5.807	87
Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems	Journal of Cleaner Production	(CHERUBINI <i>et al.</i> , 2015)	52	5.651	87
The electric energy potential of landfill biogas in Brazil	Energy Policy	(BARROS; TIAGO FILHO; DA SILVA, 2014)	57	4.039	87
Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry	Biomass & Bioenergy	(ROBRA <i>et al.</i> , 2010)	75	3.358	85
Chemical characterization and anaerobic biodegradability of hydrothermal liquefaction aqueous products from mixed-culture wastewater algae	Bioresource Technology	(TOMMASO <i>et al.</i> , 2015)	48	5.807	83
Exergetic analysis of the integrated first- and second-generation ethanol production from sugarcane	Energy	(PALACIOS-BERECHE <i>et al.</i> , 2013)	58	4.968	83
Hydrogen production by biogas steam reforming: A technical, economic and ecological analysis	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(BRAGA <i>et al.</i> , 2013)	57	9.184	82
Economic process to produce biohydrogen and volatile fatty acids by a mixed culture using vinasse from sugarcane ethanol industry as nutrient source	Bioresource Technology	(SYDNEY <i>et al.</i> , 2014)	52	5.807	82
Biogas Production: New Trends for Alternative Energy Sources in Rural and Urban Zones	Chemical Engineering & Technology	(MARTINS DAS NEVES; CONVERTI; VESSONI PENNA, 2009)	74	1.588	79

Performance and energy aspects of single and two phase thermophilic anaerobic digestion of waste activated sludge	Renewable Energy	(MOREIRA LEITE <i>et al.</i> , 2016)	37	4.9	77
Enhancement of nutrient removal from swine wastewater digestate coupled to biogas purification by microalgae <i>Scenedesmus</i> spp.	Bioresource Technology	(PRANDINI <i>et al.</i> , 2016)	36	5.807	76
Hydrogen production from soft-drink wastewater in an upflow anaerobic packed-bed reactor	International Journal of Energy Research	(PEIXOTO <i>et al.</i> , 2011)	61	4.229	76
Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste	Bioresource Technology	(PAVI <i>et al.</i> , 2017)	26	5.807	71
Synthesis of NiO-MgO-ZrO ₂ catalysts and their performance in reforming of model biogas	Applied Catalysis A-General	(ASENCIOS; BELLIDO; ASSAF, 2011)	55	4.521	70
Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential	Journal of Cleaner Production	(SILVA DOS SANTOS; BARROS; TIAGO FILHO, 2016)	29	5.651	69
Photosynthetic biogas upgrading to bio-methane: Boosting nutrient recovery via biomass productivity control	Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts	(TOLEDO-CERVANTES <i>et al.</i> , 2016)	29	3.745	69
The use of thermochemical pretreatments to improve the anaerobic biodegradability, and biochemical methane potential of the sugarcane bagasse	Chemical Engineering Journal	(COSTA <i>et al.</i> , 2014)	38	6.735	68
Improving biogas production from microalgae by enzymatic pretreatment	Bioresource Technology	(PASSOS <i>et al.</i> , 2016)	28	5.807	68
Bioenergy from stillage anaerobic digestion to enhance the energy balance ratio of ethanol production	Journal of Environmental Management	(FUESS; GARCIA, 2015)	33	4.005	68
Minimization of biomethane oxygen concentration during biogas upgrading in algal-bacterial photobioreactors	Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts	(POSADAS <i>et al.</i> , 2015)	33	3.745	68
Optimization of sugarcane bagasse autohydrolysis for methane production from hemicellulose hydrolyzates in a biorefinery concept	Bioresource Technology	(LOBO BAETA <i>et al.</i> , 2016)	27	5.807	67
Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas	Energy Policy	(BORGES NETO <i>et al.</i> , 2010)	56	4.039	66
Thermochemical pretreatment and anaerobic digestion of dairy cow manure: Experimental and economic evaluation	Bioresource Technology	(PASSOS; ORTEGA; DONOSO-BRAVO, 2017)	20	5.807	65
The efficiency of shredded and briquetted wheat straw in anaerobic co-digestion with dairy cattle manure	Biosystems Engineering	(XAVIER <i>et al.</i> , 2015)	30	2.132	65
Anaerobic digestion of wastewater generated from the hydrothermal liquefaction of <i>Spirulina</i> : Toxicity assessment and minimization	Energy Conversion and Management	(ZHENG <i>et al.</i> , 2017)	18	6.377	63

Methane conversion reactions on Ni catalysts promoted with Rh: Influence of support	Applied Catalysis A-General	(LUCREDIO; ASSAF; ASSAF, 2011)	48	4.521	63
Energy and environmental potential of solid waste in Brazil	Energy Policy	(LINO; ISMAIL, 2011)	48	4.039	63
Reforming of a model sulfur-free biogas on Ni catalysts supported on Mg(Al)O derived from hydrotalcite precursors: Effect of La and Rh addition	Biomass & Bioenergy	(LUCREDIO; ASSAF; ASSAF, 2014)	33	3.358	63
Sugarcane biorefineries: Case studies applied to the Brazilian sugar-alcohol industry	Energy Conversion and Management	(RENÓ <i>et al.</i> , 2014)	32	6.377	62
Two-stage anaerobic membrane bioreactor for the treatment of sugarcane vinasse: Assessment on biological activity and filtration performance	Bioresource Technology	(MOTA; SANTOS; AMARAL, 2013)	37	5.807	62
Experimental and numerical study of CO ₂ content effects on the laminar burning velocity of biogas	Fuel	(NONAKA; PEREIRA, 2016)	22	4.908	62
Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries	Energy Policy	(COELHO; GOLDEMBERG, 2013)	37	4.039	62
Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Parana State, Brazil	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2015)	26	9.184	61
Laminar burning velocity and flammability limits in biogas: A literature review	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(PIZZUTI; MARTINS; LACAVA, 2016)	21	9.184	61
Biogas production within the bioethanol production chain: Use of co-substrates for anaerobic digestion of sugar beet vinasse	Bioresource Technology	(MORAES <i>et al.</i> , 2015)	26	5.807	61
Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO ₂ emissions	Journal of Cleaner Production	(BERNAL <i>et al.</i> , 2017)	16	5.651	61
Comparison of the use of sucrose and glucose as a substrate for hydrogen production in an upflow anaerobic fixed-bed reactor	International Journal of Energy Research	(FONTES LIMA; MOREIRA; ZAIAT, 2013)	36	4.229	61
Reforming of a model biogas on Ni and Rh-Ni catalysts: Effect of adding La	Fuel Processing Technology	(LUCREDIO; ASSAF; ASSAF, 2012)	41	3.956	61
Biogas upgrading from vinasse digesters: a comparison between an anoxic biotrickling filter and an algal-bacterial photobioreactor	Journal of Chemical Technology and Biotechnology	(LEBRERO <i>et al.</i> , 2016)	21	2.587	61
Adsorption equilibria of CO ₂ and CH ₄ in cation-exchanged zeolites 13X	Adsorption-Journal of The International Adsorption Society	(MOURA <i>et al.</i> , 2016)	21	1.829	61
Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(COIMBRA-ARAÚJO <i>et al.</i> , 2014)	30	9.184	60
Potential of biohydrogen production from effluents of citrus processing industry using anaerobic bacteria from sewage sludge	Waste Management	(TORQUATO <i>et al.</i> , 2017)	15	4.723	60

Hydrogen and ethanol production in anaerobic fluidized bed reactors: Performance evaluation for three support materials under different operating conditions	Biochemical Engineering Journal	(BARROS; SILVA, 2012)	40	3.226	60
Recent Achievements in the Production of Biogas from Microalgae	Waste and Biomass Valorization	(UGGETTI <i>et al.</i> , 2017)	15	1.874	60
Reduction in greenhouse gas emissions from vinasse through anaerobic digestion	Applied Energy	(MORAES <i>et al.</i> , 2017)	14	7.9	59
Reuse of microalgae grown in full-scale wastewater treatment ponds: Thermochemical pretreatment and biogas production	Bioresource Technology	(PASSOS <i>et al.</i> , 2016)	19	5.807	59
Study of the VOC emissions from a municipal solid waste storage pilot-scale cell: Comparison with biogases from municipal waste landfill site	Waste Management	(CHIRIAC <i>et al.</i> , 2011)	44	4.723	59
A comprehensive approach for obtaining cellulose nanocrystal from coconut fiber. Part I: Proposition of technological pathways	Industrial Crops and Products	(NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2016)	19	3.849	59
Designing full-scale biodigestion plants for the treatment of vinasse in sugarcane biorefineries: How phase separation and alkalization impact biogas and electricity production costs?	Chemical Engineering Research & Design	(FUESS <i>et al.</i> , 2017)	13	2.795	58
Oxidative reforming of model biogas over NiO-Y ₂ O ₃ -ZrO ₂ catalysts	Applied Catalysis B-Environmental	(ASENCIOS; RODELLA; ASSAF, 2013)	32	11.698	57
A state of the art literature review on anaerobic digestion of food waste: influential operating parameters on methane yield	Reviews In Environmental Science and Bio-Technology	(KOMILIS <i>et al.</i> , 2017)	12	5.716	57
Mesophilic anaerobic digestion of pig slurry and fruit and vegetable waste: Dissection of the microbial community structure	Journal of Cleaner Production	(ROS <i>et al.</i> , 2017)	12	5.651	57
Technical-economic assessment of different biogas upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry	Energy	(LEME; SEABRA, 2017)	12	4.968	57
Studies on the adsorption behavior of CO ₂ -CH ₄ mixtures using activated carbon	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(RIOS <i>et al.</i> , 2013)	32	0.925	57
Influence of lipid extraction methods as pre-treatment of microalgal biomass for biogas production	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(NEVES, V. T. DE C.; SALES; PERELO, 2016)	16	9.184	56
Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganism's inoculum for standardization of BMP assays	Bioresource Technology	(STEINMETZ <i>et al.</i> , 2016)	16	5.807	56
Anaerobic digestion of chrome-tanned leather waste for biogas production	Journal of Cleaner Production	(PRIEBE <i>et al.</i> , 2016)	16	5.651	56
Comparison of start-up strategies and process performance during semi-continuous anaerobic	Waste Management	(JANKE <i>et al.</i> , 2016)	16	4.723	56

digestion of sugarcane filter cake co-digested with bagasse					
Long-term stability of hydrogen and organic acids production in an anaerobic fluidized-bed reactor using heat treated anaerobic sludge inoculum	International Journal of Energy Research	(SHIDA <i>et al.</i> , 2009)	51	4.229	56
Optimization, metabolic pathways modeling and scale-up estimative of an AnSBBR applied to biohydrogen production by co-digestion of vinasse and molasses	International Journal of Energy Research	(ALBANEZ <i>et al.</i> , 2016)	16	4.229	56
Down-flow fixed-structured bed reactor: An innovative reactor configuration applied to acid mine drainage treatment and metal recovery	Journal of Environmental Management	(GODOI; FORESTI; DAMIANOVIC, 2017)	11	4.005	56
Towards energy neutral microalgae-based wastewater treatment plants	Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts	(PASSOS <i>et al.</i> , 2017)	11	3.745	56
Artificial neural network prediction of the biogas flow rate optimised with an ant colony algorithm	Biosystems Engineering	(BELTRAMO <i>et al.</i> , 2016)	16	2.132	56
Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop-livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil	Agricultural Systems	(BULLER <i>et al.</i> , 2015)	20	3.004	55
Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge	Brazilian Journal of Microbiology	(BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016)	15	1.81	55
Potential use of landfill biogas in urban bus fleet in the Brazilian states: A review	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(NADALETTI <i>et al.</i> , 2015)	19	9.184	54
Waste bio-refineries for the cassava starch industry: New trends and review of alternatives	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(SÁNCHEZ <i>et al.</i> , 2017)	9	9.184	54
Thermodynamic simulation model for predicting the performance of spark ignition engines using biogas as fuel	Energy Conversion and Management	(DE FARIA <i>et al.</i> , 2017)	9	6.377	54
Potential for biofuels from the biomass of prickly pear cladodes: Challenges for bioethanol and biogas production in dry areas	Biomass & Bioenergy	(SANTOS <i>et al.</i> , 2016)	14	3.358	54
Exploring the bioprospecting and biotechnological potential of white-rot and anaerobic Neocallimastigomycota fungi: peptidases, esterases, and lignocellulolytic enzymes	Applied Biochemistry and Biotechnology	(DA SILVA; PEDEZZI; SOUTO, 2017)	9	3.34	54
Technical potential of electricity production from municipal solid waste disposed in the biggest cities in Brazil: Landfill gas, biogas and thermal treatment	Waste Management & Research	(DE SOUZA <i>et al.</i> , 2014)	24	1.631	54
The anaerobic co-digestion of sheep bedding and \geq 50% cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality	Waste Management	(CESTONARO <i>et al.</i> , 2015)	18	4.723	53
Methodology for the determination of optimum power of a Thermal	Waste Management	(SILVA <i>et al.</i> , 2017)	8	4.723	53

Power Plant (TPP) by biogas from sanitary landfill					
Anaerobic digestion of hemicellulose hydrolysate produced after hydrothermal pretreatment of sugarcane bagasse in UASB reactor	Science of The Total Environment	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2017)	8	4.61	53
Preparation of biomass-based activated carbons and their evaluation for biogas upgrading purposes	Industrial Crops and Products	(VILELLA <i>et al.</i> , 2017)	8	3.849	53
A novel anaerobic down-flow structured-bed reactor for long-term stable H ₂ energy production from wastewater	Journal of Chemical Technology and Biotechnology	(ANZOLA-ROJAS; ZAIAT, 2016)	13	2.587	53
Anaerobic Biological Treatment of Vinasse for Environmental Compliance and Methane Production	Applied Biochemistry and Biotechnology	(ALBANEZ <i>et al.</i> , 2016)	13	1.797	53
Evaluation of hydrogen and methane production from sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysates by two-stage anaerobic digestion process	Bioresource Technology	(LOBO BAETA <i>et al.</i> , 2016)	12	5.807	52
Steam explosion pretreatment improved the biomethanization of coffee husks	Bioresource Technology	(LOBO BAETA <i>et al.</i> , 2017)	7	5.807	52
Application of Anaerobic Digestion Model No. 1 for simulating anaerobic mesophilic sludge digestion	Waste Management	(MENDES; ESQUERRE; MATOS QUEIROZ, 2015)	17	4.723	52
Hydrotalcites derived catalysts for syngas production from biogas reforming: Effect of nickel and cerium load	Catalysis Today	(PALADINO LINO; ASSAF; ASSAF, 2017)	7	4.667	52
Continuous thermophilic hydrogen production and microbial community analysis from anaerobic digestion of diluted sugar cane stillage	International Journal of Energy Research	(SANTOS <i>et al.</i> , 2014)	22	4.229	52
Enzymatic pretreatment of microalgae using fungal broth from <i>Trametes versicolor</i> and commercial laccase for improved biogas production	Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts	(HOM-DIAZ <i>et al.</i> , 2016)	12	3.745	52
Seasonal Variation on Microbial Community and Methane Production during Anaerobic Digestion of Cattle Manure in Brazil	Microbial Ecology	(RESENDE, JULIANA ALVES <i>et al.</i> , 2016)	12	3.614	52
Thermophilic biohydrogen production using a UASB reactor: performance during long-term operation	Journal of Chemical Technology and Biotechnology	(BRAGA; FERRAZ JUNIOR; ZAIAT, 2016)	12	2.587	52
Anaerobic digestion of post-hydrothermal liquefaction wastewater for improved energy efficiency of hydrothermal bioenergy processes	Water Practice and Technology	(ZHOU <i>et al.</i> , 2015)	17	1.247	52
Designing optimal supply chains for anaerobic bio-digestion/energy generation complexes with distributed small farm feedstock sourcing	Renewable Energy	(MAYERLE; FIGUEIREDO, 2016)	11	4.9	51

Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro	Waste Management	(LOUREIRO; ROVERE; MAHLER, 2013)	26	4.723	51
Oxide incorporation into Ni-based solid oxide fuel cell anodes for enhanced sulfur tolerance during operation on hydrogen or biogas fuels: A comprehensive thermodynamic study	International Journal of Energy Research	(DA SILVA; HECK, 2015)	16	4.229	51
Methane-hydrogen fuel blends for SI engines in Brazilian public transport: Potential supply and environmental issues	International Journal of Energy Research	(NADALETI <i>et al.</i> , 2017)	6	4.229	51
The effect of organic load and feed strategy on biohydrogen production in an AnSBBR treating glycerin-based wastewater	Journal of Environmental Management	(LOVATO <i>et al.</i> , 2015)	16	4.005	51
Assessment of the Variations in Characteristics and Methane Potential of Major Waste Products from the Brazilian Bioethanol Industry along an Operating Season	Energy & Fuels	(LEITE <i>et al.</i> , 2015)	16	3.024	51
CO ₂ and H ₂ S Removal from CH ₄ -Rich Streams by Adsorption on Activated Carbons Modified with K ₂ CO ₃ , NaOH, or Fe ₂ O ₃	Energy & Fuels	(CASTRILLON <i>et al.</i> , 2016)	11	3.024	51
The potential of microalgal biomass production for biotechnological purposes using wastewater resources	Journal of Applied Phycology	(DINIZ <i>et al.</i> , 2017)	6	2.401	51
Effects of stirring on cassava effluent treatment in an anaerobic horizontal tubular pilot reactor with support medium - A Review	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(KUCZMAN <i>et al.</i> , 2017)	5	9.184	50
In-situ biogas upgrading process: Modeling and simulations aspects	Bioresource Technology	(LOVATO <i>et al.</i> , 2017)	5	5.807	50
Anaerobic co-digestion of vegetable waste and swine wastewater in high-rate horizontal reactors with fixed bed	Waste Management	(MAZARELI <i>et al.</i> , 2016)	10	4.723	50
Influence of solid-liquid separation strategy on biogas yield from a stratified swine production system	Journal of Environmental Management	(AMARAL <i>et al.</i> , 2016)	10	4.005	50
Effects of Organic Loading, Influent Concentration, and Feed Time on Biohydrogen Production in a Mechanically Stirred AnSBBR Treating Sucrose-Based Wastewater	Applied Biochemistry and Biotechnology	(MANSOURI <i>et al.</i> , 2013)	25	1.797	50
Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater	Water Practice and Technology	(SOUZA; CHERNICHARO; MELO, 2012)	30	1.247	50
Biodegradation of Leather Solid Waste and Manipulation of Methanogens and Chromium-resistant Microorganisms	Journal of The American Leather Chemists Association	(AGUSTINI <i>et al.</i> , 2017)	5	0.699	50
Hydrogen production from cassava processing wastewater in an anaerobic fixed bed reactor with bamboo as a support material	Engenharia Agricola	(ANDREANI <i>et al.</i> , 2015)	15	0.387	50

Energetic and economic analysis of a Brazilian compact cogeneration system: Comparison between natural gas and biogas	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(BRIZI <i>et al.</i> , 2014)	19	9.184	49
Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria	Bioresource Technology	(DE BARROS <i>et al.</i> , 2017)	4	5.807	49
Verification of outcomes from carbon market under the clean development mechanism (CDM) projects in landfills	Journal of Cleaner Production	(CRUZ; PAULINO; PAIVA, 2017)	4	5.651	49
Treatment of brewery wastewater and its use for biological production of methane and hydrogen	International Journal of Energy Research	(ARANTES <i>et al.</i> , 2017)	4	4.229	49
Influence of ultrasound irradiation pre-treatment in biohythane generation from the thermophilic anaerobic co-digestion of sugar production residues	Journal of Environmental Chemical Engineering	(MARTINEZ-JIMENEZ <i>et al.</i> , 2017)	4	4.01	49
Enhancement of biogas and methane production by anaerobic digestion of swine manure with addition of microorganisms isolated from sewage sludge	Process Safety and Environmental Protection	(PESSUTO <i>et al.</i> , 2016)	9	3.441	49
Co-digestion of Whey with Glycerin in an AnSBBR for Biomethane Production	Applied Biochemistry and Biotechnology	(LOVATO <i>et al.</i> , 2016)	9	1.797	49
A balanced microbiota efficiently produces methane in a novel high-rate horizontal anaerobic reactor for the treatment of swine wastewater	Bioresource Technology	(DUDA <i>et al.</i> , 2015)	13	5.807	48
Sugarcane vinasse treatment by two-stage anaerobic membrane bioreactor: Effect of hydraulic retention time on changes in efficiency, biogas production and membrane fouling	Bioresource Technology	(SANTOS <i>et al.</i> , 2017)	3	5.807	48
Methane-hydrogen fuel blends for SI engines in Brazilian public transport: Efficiency and pollutant emissions	International Journal of Energy Research	(NADALETI <i>et al.</i> , 2017)	3	4.229	48
Methane dry reforming using Ni/Al ₂ O ₃ catalysts: Evaluation of the effects of temperature, space velocity and reaction time	Journal of Environmental Chemical Engineering	(SCHWENGBER <i>et al.</i> , 2016)	8	4.01	48
Methane and hydrogen production from anaerobic digestion of soluble fraction obtained by sugarcane bagasse ozonation	Industrial Crops and Products	(HERRERA ADARME <i>et al.</i> , 2017)	3	3.849	48
Economic and CO ₂ avoided emissions analysis of WWTP biogas recovery and its use in a small power plant in Brazil	Sustainable Energy Technologies and Assessments	(SILVA DOS SANTOS <i>et al.</i> , 2016)	8	3.79	48
Power generation potential in posture aviaries in Brazil in the context of a circular economy	Sustainable Energy Technologies and Assessments	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2016)	8	3.79	48
Energy potential of algal biomass cultivated in a photobioreactor	Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts	(ASSEMANY <i>et al.</i> , 2016)	8	3.745	48

using effluent from a meat processing plant					
Sulfide removal from livestock biogas by Azospirillum-like anaerobic phototrophic bacteria consortium	International Biodeterioration & Biodegradation	(DA SILVA <i>et al.</i> , 2014)	18	3.562	48
Optimizing biomethane production from anaerobic degradation of <i>Scenedesmus</i> spp. biomass harvested from algae-based swine digestate treatment	International Biodeterioration & Biodegradation	(PERAZZOLI <i>et al.</i> , 2016)	8	3.562	48
Adsorption technology for the storage of natural gas and biomethane from biogas	International Journal of Energy Research	(FEROLDI <i>et al.</i> , 2016)	8	3.009	48
Anaerobic Digestion of Sugarcane Vinasse Through a Methanogenic UASB Reactor Followed by a Packed Bed Reactor	Applied Biochemistry and Biotechnology	(CABRERA-DÍAZ <i>et al.</i> , 2017)	3	1.797	48
Production of Energy and Biofertilizer from Cattle Wastewater in Farms with Intensive Cattle Breeding	Water Air and Soil Pollution	(DE MENDONÇA; OMETTO; OTENIO, 2017)	3	1.769	48
Influence of organic loading rate on the anaerobic treatment of sugarcane vinasse and biogas production in fluidized bed reactor	Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering	(SIQUEIRA; DAMIANO; SILVA, 2013)	23	1.561	48
Hydrogen Sulfide Removal from Biogas Using Fe/EDTA Solution: Gas/Liquid Contacting and Sulfur Formation	Environmental Progress & Sustainable Energy	(FRARE <i>et al.</i> , 2010)	38	1.326	48
Energy potential and alternative usages of biogas and sludge from UASB reactors: case study of the Laboreaux wastewater treatment plant	Water Practice and Technology	(ROSA <i>et al.</i> , 2016)	8	1.247	48
Optimization of anaerobic treatment of cassava processing wastewater	Engenharia Agricola	(FLECK <i>et al.</i> , 2017)	3	0.387	48
Ecological analysis of hydrogen production via biogas steam reforming from cassava flour processing wastewater	Journal of Cleaner Production	(MADEIRA <i>et al.</i> , 2017)	2	5.651	47
Numerical study of CO ₂ effects on laminar non-premixed biogas flames employing a global kinetic mechanism and the Flamelet-Generated Manifold technique	Fuel	(HOERLLE; ZIMMER; PEREIRA, 2017)	2	4.908	47
Technical evaluation of a tank-connected food waste disposer system for biogas production and nutrient recovery	Waste Management	(DAVIDSSON <i>et al.</i> , 2017)	2	4.723	47
Hydrogen purification over lanthanum-doped iron oxides by WGS	Catalysis Today	(RANGEL <i>et al.</i> , 2017)	2	4.667	47
Performance of a PEMFC system integrated with a biogas chemical looping reforming processor: A theoretical analysis and comparison with other fuel processors (steam reforming, partial oxidation and auto-thermal reforming)	International Journal of Energy Research	(DA SILVA; DICK; MUELLER, 2012)	27	4.229	47

Feasibility of thermophilic anaerobic processes for treating waste activated sludge under low HRT and intermittent mixing	Journal of Environmental Management	(LEITE <i>et al.</i> , 2017)	2	4.005	47
Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in Brazilian ethanol plants	Biomass & Bioenergy	(JOPPERT <i>et al.</i> , 2017)	2	3.358	47
Pre treatment of Duckweed Biomass, Obtained from Wastewater Treatment Ponds, for Biogas Production	Waste and Biomass Valorization	(TONON <i>et al.</i> , 2017)	2	1.874	47
Biogas from poultry waste-production and energy potential	Environmental Monitoring and Assessment	(DORNELAS; SCHNEIDER; AMARAL, 2017)	2	1.804	47
Enhancement of anaerobic degradation of azo dye with riboflavin and nicotinamide adenine dinucleotide harvested by osmotic lysis of wasted fermentation yeasts	Environmental Technology	(VICTRAL <i>et al.</i> , 2017)	2	1.666	47
Recovery of elemental sulphur from anaerobic effluents through the biological oxidation of sulphides	Environmental Technology	(DE SOUSA <i>et al.</i> , 2017)	2	1.666	47
Risks of using EDTA as an agent for trace metals dosing in anaerobic digestion of olive mill solid waste	Environmental Technology	(SERRANO <i>et al.</i> , 2017)	2	1.666	47
Enzyme complex supplementation in different nutrient levels diets on pigs feces excretion and anaerobic digestion	Scientia Agricola	(RUIZ <i>et al.</i> , 2017)	2	1.383	47
Bioenergy recovery from cattle wastewater in an UASB-AF hybrid reactor	Water Practice and Technology	(DE MENDONÇA <i>et al.</i> , 2017)	2	1.247	47
Evaluation of Corrosion Caused by the use of In Natura Biogas in Steam Generator Boilers of Carbon Steel Structural Elements	Materials Research-Ibero-American Journal of Materials	(FONTENELLE <i>et al.</i> , 2017)	2	1.103	47
Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of diferent ages	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(SCHIRMER <i>et al.</i> , 2014)	17	0.925	47
Economic and financial viability of digester use in cattle confinement for beef	Engenharia Agricola	(MONTORO; SANTOS; DE LUCAS JUNIOR, 2017)	2	0.387	47
Lack of Inhibitory Effect of Chromium on Anaerobic Co-Digestion of Tannery Solid Wastes	Journal of The Society of Leather Technologists and Chemists	(AGUSTINI <i>et al.</i> , 2017)	2	0.249	47
Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(SOUZA <i>et al.</i> , 2013)	21	9.184	46
Analysis of the socio-economic feasibility of the implementation of an agro-energy condominium in western Parana - Brazil	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(ALMEIDA <i>et al.</i> , 2017)	1	9.184	46
Methane production from marine microalgae <i>Isochrysis galbana</i>	Bioresource Technology	(SANTOS <i>et al.</i> , 2014)	16	5.807	46
Metagenomic analysis of a desulphurisation system used to treat biogas from vinasse methanisation	Bioresource Technology	(DIAS <i>et al.</i> , 2016)	6	5.807	46
Removal of H ₂ S and CO ₂ from biogas in bench scale and the pilot	Renewable Energy	(SCHIAVON MAIA <i>et al.</i> , 2017)	1	4.9	46

scale using a regenerable Fe-EDTA solution					
Modeling simultaneous carbon and nitrogen removal (SCNR) in anaerobic/anoxic reactor treating domestic wastewater	Journal of Environmental Management	(MENDES, C.; ESQUERRE; QUEIROZ, 2016)	6	4.005	46
Optimization of methane yield by using straw briquettes- influence of additives and mold size	Industrial Crops and Products	(MOSET; XAVIER; MØLLER, 2015)	11	3.849	46
Exergetic and economic evaluation of incorporation of hydrogen production in a cassava wastewater plant	Applied Thermal Engineering	(FERREIRA MADEIRA <i>et al.</i> , 2017)	1	3.771	46
Modeling and simulation of diesel, biodiesel and biogas mixtures driven compression ignition internal combustion engines	International Journal of Energy Research	(GRACIANO; VARGAS; ORDONEZ, 2016)	6	3.009	46
Factors that affect bacterial ecology in hydrogen-producing anaerobic reactors	Bioenergy Research	(VASCONCELOS; LEITAO; SANTAELLA, 2016)	6	2.938	46
The completely annotated genome and comparative genomics of the Peptoniphilaceae bacterium str. ING2-D1G, a novel acidogenic bacterium isolated from a mesophilic biogas reactor	Journal of Biotechnology	(TOMAZETTO <i>et al.</i> , 2017)	1	2.533	46
Crude glycerin in anaerobic co-digestion of dairy cattle manure increases methane production	Scientia Agricola	(SIMM <i>et al.</i> , 2017)	1	1.383	46
AnSBBR applied to biomethane production for vinasse treatment: effects of organic loading, feed strategy and temperature	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(ALMEIDA <i>et al.</i> , 2017)	1	0.925	46
Anaerobic co-digestion of hatchery waste and wastewater to produce energy and biofertilizer-Batch phase	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	(MATTER <i>et al.</i> , 2017)	1	0.619	46
Biogas production in dairy cattle systems, using batch digesters with and without solids separation in the substrates	Engenharia Agrícola	(DOS ANJOS, I. <i>et al.</i> , 2017)	1	0.387	46
Effect of organic load and alkalinity on dairy wastewater biomethanation	Engenharia Agrícola	(KISPERGHER <i>et al.</i> , 2017)	1	0.387	46
Environmental performance of the allocation and urban solid waste treatment with energetic reuse through life cycle assessment at CTR - Caieiras	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(SOARES; MIYAMARU; MARTINS, 2017)	1	0.29	46
Co-digestion of crude glycerin associated with cattle manure in biogas production in the State of Parana, Brazil	Acta Scientiarum-Technology	(PAZUCH <i>et al.</i> , 2017)	1	0.231	46
Study of Anaerobic Co-digestion of Crude Glycerol and Swine Manure for the Production of Biogas	Revista Virtual de Química	(AGUILAR <i>et al.</i> , 2017)	1	0.22	46
Cost calculations for biogas from vinasse biodigestion and its energy utilization	Zuckerindustrie	(SALOMON <i>et al.</i> , 2011)	31	0	46
Methane production from a field-scale biofilter designed for desulfurization of biogas stream	Journal of Environmental Management	(PIROLI <i>et al.</i> , 2016)	5	4.005	45

Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property	Biomass & Bioenergy	(DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2011)	30	3.358	45
Electrochemical assessment of one-step Cu-CGO cermets under hydrogen and biogas fuels	Materials Letters	(SOUSA <i>et al.</i> , 2017)	0	2.687	45
Improving EGSB reactor performance for simultaneous bioenergy and organic acid production from cheese whey via continuous biological H ₂ production	Biotechnology Letters	(RAMOS; SILVA, 2017)	0	1.846	45
Biogas production with co-digestion of sugarcane straw	Management of Environmental Quality	(DE ROSSI <i>et al.</i> , 2017)	0	1.13	45
Evaluating hydrogen production in biogas reforming in a membrane reactor	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(SILVA; BENACHOUR; ABREU, 2015)	10	0.925	45
Dairy manure wastewater in serial UASB reactors for energy recovery and potential effluent reuse	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(MONTROYA <i>et al.</i> , 2017)	0	0.925	45
Special Review: Anaerobic Digestion of Leather Industry Wastes - An Alternate Source of Energy	Journal of The American Leather Chemists Association	(PRIEBE; GUTTERRES, 2017)	0	0.699	45
Enhancement of biogas production from wastewater using a batch anaerobic process	Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects	(THIRUGNANASAM BANDHAM, 2017)	0	0.555	45
Development of a tool for improving the management of gaseous emissions in UASB-based sewage treatment plants	Water Practice and Technology	(CHERNICHARO <i>et al.</i> , 2017)	0	0.43	45
Anaerobic digestion stability test by shewhart control chart	Engenharia Agricola	(ALCANTARA <i>et al.</i> , 2017)	0	0.387	45
Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems	Engenharia Agricola	(MATOS <i>et al.</i> , 2017)	0	0.387	45
Evaluation of nickel and copper catalysts in biogas reforming for hydrogen production in SOFC	Materia-Rio de Janeiro	(SILVA <i>et al.</i> , 2017)	0	0.34	45
Fast pyrolysis of eucalyptus biomass in the presence of Al-MCM-41 catalyst	Materia-Rio de Janeiro	(FELIX <i>et al.</i> , 2017)	0	0.34	45
Storage of methane at low pressure in activated carbon under different temperature and flow rate of charge conditions	Materia-Rio de Janeiro	(FEROLDI <i>et al.</i> , 2017)	0	0.34	45
Analysis of the efficiency of first-order decay models in forecasting greenhouse gas emission in Brazilian sanitary landfills	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(SANTOS; ROMANEL 2017)	0	0.29	45
Mass balance in the treatment of organic wastes from restaurants in bioreactor	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(GIRARDI NETO; DA SILVA; PINHEIRO, 2017)	0	0.29	45
Analysis of lubricant oil contamination and degradation and wear of a biogas-fed otto cycle engine	Acta Scientiarum-Technology	(BERTINATTO <i>et al.</i> , 2017)	0	0.231	45
Innovation in Biorefineries I. Production of Second Generation Ethanol from Elephant Grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) and	Revista Virtual de Quimica	(GRASEL <i>et al.</i> , 2017)	0	0.22	45

Sugarcane Bagasse (<i>Saccharum officinarum</i>)					
Financial and economic analysis under risk conditions for investment projects on biogas for generation of electric energy from pig farming: a case study for a farm in Minas Gerais	Custos e Agronegocio On Line	(CIRINO; FERREIRA; DE FARIA, 2017)	0	0.205	45
Legal and economical mechanisms for technology transfer: a case study	Revista Direito Gv	(PEREIRA RIBEIRO; DA ROCHA JR.; CZELUSNIAK, 2017)	0	0	45
Factors that influence the anaerobic digestion process in biogas production	Nativa	(TIETZ SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017)	0	0	45
Impactos socioambientais da suinocultura no oeste catarinense e a iniciativa de implantação de biodigestores pelo Projeto Alto Uruguai	Desenvolvimento e Meio Ambiente	(WINCKLER; RENK; LESSA, 2017)	0	0	45
A highly concentrated diet increases biogas production and the agronomic value of young bull's manure	Waste Management	(COSTA <i>et al.</i> , 2016)	4	4.723	44
Optimal operating conditions for maximum biogas production in anaerobic bioreactors	Applied Thermal Engineering	(BALMANT <i>et al.</i> , 2014)	14	3.771	44
Biofiltration of H ₂ S-rich biogas using <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	Clean Technologies and Environmental Policy	(AITA <i>et al.</i> , 2016)	4	2.337	44
Enhancing the analytical capacity for biogas development in brazil: assessment of an original measurement system for low biogas flow rates out of agricultural biomass residues	Engenharia Agricola	(KONRAD; BEZAMA; <i>et al.</i> , 2016)	4	0.387	44
Application of the IPCC model to a Brazilian landfill: First results	Energy Policy	(PENTEADO <i>et al.</i> , 2012)	23	4.039	43
Effect of enzymatic pretreatment on the anaerobic digestion of milk fat for biogas production	Food Research International	(DOMINGUES <i>et al.</i> , 2015)	8	3.52	43
Comparison of different processes for preventing deposition of elemental sulfur in natural gas pipelines: A review	Journal of Natural Gas Science and Engineering	(DOS SANTOS <i>et al.</i> , 2016)	3	2.803	43
Influence of incubation conditions on the specific methanogenic activity test	Biodegradation	(SOUTO <i>et al.</i> , 2010)	33	2.41	43
Dynamics of antibiotic resistance genes and presence of putative pathogens during ambient temperature anaerobic digestion	Journal of Applied Microbiology	(RESENDE <i>et al.</i> , 2014)	13	2.16	43
Use of a marine microbial community as inoculum for biomethane production	Environmental Technology	(FISTAROL <i>et al.</i> , 2016)	3	1.666	43
Anaerobic treatment of food waste in pilot scale	Water Practice and Technology	(DOS SANTOS REIS; GAVAZZA; SANTOS, 2016)	3	0.43	43
Effect of upflow velocity and hydraulic retention time in anaerobic fluidized-bed reactors used for hydrogen production	Chemical Engineering Journal	(DOS REIS; SILVA, 2011)	27	6.735	42
A systemic approach for dimensioning and designing	Renewable Energy	(FIGUEIREDO; MAYERLE, 2014)	12	4.9	42

anaerobic bio-digestion/energy generation biomass supply networks					
The scientometric research on macroalgal biomass as a source of biofuel feedstock	Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts	(COELHO; BARBOSA; DE SOUZA, 2014)	12	3.745	42
Aerobic, Anaerobic Treatability and Biogas Production Potential of a Wastewater from a Biodiesel Industry	Waste and Biomass Valorization	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2016)	2	1.874	42
Technical, Economical, and Microbiological Aspects of the Microaerobic Process on H ₂ S Removal for Low Sulfate Concentration Wastewaters	Applied Biochemistry and Biotechnology	(SOUSA <i>et al.</i> , 2016)	2	1.797	42
Swine manure digestate treatment using electrocoagulation	Scientia Agricola	(MORES, R. <i>et al.</i> , 2016)	2	1.383	42
Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater	Water Practice and Technology	(LOBATO; CHERNICHARO; SOUZA, 2012)	22	1.247	42
A modular diagnosis system based on fuzzy logic for UASB reactors treating sewage	Water Practice and Technology	(BORGES, R. M. <i>et al.</i> , 2016)	2	1.247	42
Anaerobic modeling for improving synergy and robustness of a manure co-digestion process	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(LIMA <i>et al.</i> , 2016)	2	0.925	42
Supplying the energy demand in the chicken meat processing poultry with biogas	Ingenieria e Investigacion	(FERRAREZ <i>et al.</i> , 2016)	2	0.455	42
Gas emission and efficiency of an engine-generator set running on biogas	Engenharia Agricola	(SOUZA <i>et al.</i> , 2016)	2	0.387	42
Mass Reduction of Tannery Solid Wastes by Biodegradation	Journal of The Society of Leather Technologists and Chemists	(AGUSTINI <i>et al.</i> , 2016)	2	0.249	42
Quantification and characterization of the production of biogas from blends of agro-industrial wastes in a large-scale demonstration plant	Acta Scientiarum-Technology	(KONRAD <i>et al.</i> , 2016)	2	0.231	42
Oxidative-reforming of model biogas over NiO/Al ₂ O ₃ catalysts: The influence of the variation of support synthesis conditions	Applied Surface Science	(ASENCIOS; ELIAS; ASSAF, 2014)	11	4.439	41
Nitrogen and residual organic matter removal from anaerobic reactor effluent in a fixed-bed reactor with biogas for denitrification	Journal of Chemical Technology and Biotechnology	(PANTOJA FILHO <i>et al.</i> , 2015)	6	2.587	41
Volatile fatty acids production from anaerobic treatment of cassava waste water: effect of temperature and alkalinity	Environmental Technology	(HASAN <i>et al.</i> , 2015)	6	1.666	41
Biogas production: litter from broilers receiving direct-fed microbials and an enzyme blend	Scientia Agricola	(PRAES <i>et al.</i> , 2016)	1	1.383	41
Co-digestion of swine excreta associated with increasing levels of crude glycerin	Revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science	(ORRICO JUNIOR <i>et al.</i> , 2016)	1	0.735	41
Hydrodynamic behavior of a combined anaerobic-aerobic system	Ciencia e Agrotecnologia	(FIA <i>et al.</i> , 2016)	1	0.672	41

employed in the treatment of vinasse					
Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch industry effluent	Engenharia Agricola	(LARSEN <i>et al.</i> , 2013)	16	0.387	41
Anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and waste oil	Engenharia Agricola	(ORRICO <i>et al.</i> , 2016)	1	0.387	41
Heat pump for thermal power production in dairy farm	Engenharia Agricola	(JORDAN <i>et al.</i> , 2016)	1	0.387	41
Reduction of emissions from Brazilian cattle raising and the generation of energy: Intensification and confinement potentials	Energy Policy	(PALERMO; D'AVIGNON; FREITAS, 2014)	10	4.039	40
Quantification, characterization, and anaerobic digestion of sheep manure: The influence of diet and addition of crude glycerin	Environmental Progress & Sustainable Energy	(ORRICO; ORRICO, 2015)	5	1.326	40
Performance of the anaerobic co-digestion of pig manure with the inclusion of crude glycerine	Revista Ciencia Agronomica	(SCHWINGEL <i>et al.</i> , 2016)	0	0.605	40
Manure as a Resource: Livestock Waste Management from Anaerobic Digestion, Opportunities and Challenges for Brazil	International Food and Agribusiness Management Review	(MATHIAS, 2014)	10	0.545	40
Economic feasibility of biogas production in swine farms using time series analysis	Ciencia Rural	(ROCKENBACH; SOUZA; OLIVEIRA, 2016)	0	0.525	40
The Addition of Hatchery Liquid Waste to Dairy Manure Improves Anaerobic Digestion	Brazilian Journal of Poultry Science	(LOPES <i>et al.</i> , 2016)	0	0.463	40
Anaerobic biodigestion of manure from finishing pig supplemented with ractopamine over different periods	Engenharia Agricola	(SANTOS <i>et al.</i> , 2016)	0	0.387	40
Comparison between biodegradable polymers from cassava starch and glycerol as additives to biogas production	Semina-Ciencias Agrarias	(PAULO <i>et al.</i> , 2016)	0	0.349	40
Estimate of energy generation and of greenhouse gas emission on biogas recovery from wastewater treatment plant	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(BILOTTA; LEITE ROSS, 2016)	0	0.29	40
Evaluation of a Venturi gas scrubber operating with sodium hydroxide solution for desulphurization of biogas with high H ₂ S concentrations	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(COLTURATO <i>et al.</i> , 2016)	0	0.29	40
Proposal for procedure standard for Biochemical Methane Potential test applied to municipal solid waste	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(SILVA; MORAIS JR.; ROCHA, 2016)	0	0.29	40
Analysis of scientific production on the economic and financial viability of production of biogas from pig farming	Custos e Agronegocio On Line	(SCHERER; STOCKER LAGO, 2016)	0	0.205	40
Economic feasibility and environmental benefits of biodigesters in cassava processing companies from Parana (Brazil)	Revista Eletronica de Estrategia e Negocios-REEN	(SILVA; CIRANI, 2016)	0	0	40
Environmental and economic performance: ecoinnovation practices in biodigesters of cassava processing companies	Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade-GEAS	(SILVA; SILVA CIRANI; RIBEIRO SERRA, 2016)	0	0	40

Influence of termic and climate variations in biogas production	Nativa	(TAVARES <i>et al.</i> , 2016)	0	0	40
Process of biogas generation from the reuse of heavy glycerin phase and household organic waste	Revista Geintec-Gestao Inovacao e Tecnologias	(KLINGER; STRACKE; DOS SANTOS, 2016)	0	0	40
Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Parana	Energy Policy	(RIBEIRO; RAIHER, 2013)	14	4.039	39
Integrated earth resistivity tomography (ERT) and multilevel sampling gas: a tool to map geogenic and anthropogenic methane accumulation on brownfield sites	Environmental Earth Sciences	(MENDONCA <i>et al.</i> , 2015)	4	1.435	39
Biotrickling Filtration of Biogas Produced from the Wastewater Treatment Plant of a Brewery	Journal of Environmental Engineering	(GUERRERO; BEVILAQUA, 2015)	4	1.396	39
Monitoring And Control Of The Processes Involved In The Capture And Filtering Of Biogas Using Fpga-Embedded Fuzzy Logic	Ieee Latin America Transactions	(VANTI; LEITE; BATISTA, 2015)	4	0.502	39
A correction in the CDM methodological tool for estimating methane emissions from solid waste disposal sites	Journal of Environmental Management	(SANTOS; VAN ELK; ROMANEL, 2015)	3	4.005	38
Anaerobic treatment of crude glycerol from biodiesel production	Water Practice and Technology	(NAKAZAWA <i>et al.</i> , 2015)	3	1.247	38
Electrical resistivity to detect zones of biogas accumulation in a landfill	Geofisica Internacional	(MOREIRA <i>et al.</i> , 2015)	3	0.633	38
Swine effluent treatment using anaerobic digestion at different loading rates	Engenharia Agricola	(AMARAL <i>et al.</i> , 2014)	8	0.387	38
Influence of Organic Load on Biohydrogen Production in an AnSBBR Treating Glucose-Based Wastewater	Applied Biochemistry and Biotechnology	(SOUZA <i>et al.</i> , 2015)	2	1.797	37
Hybridization of Solar Dish-Stirling Technology: Analysis and Design	Environmental Progress & Sustainable Energy	(BRAVO <i>et al.</i> , 2014)	7	1.326	37
Biodegradability and methane production potential of glycerol generated by biodiesel industry	Water Practice and Technology	(VIANA <i>et al.</i> , 2012)	17	1.247	37
Resistivity and induced polarization monitoring of biogas combined with microbial ecology at a brownfield site	Interpretation-A Journal of Subsurface Characterization	(MENDONÇA <i>et al.</i> , 2015)	2	0.937	37
AnSBBR with circulation applied to biohydrogen production treating sucrose based wastewater: effects of organic loading, influent concentration and cycle length	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(SANTOS <i>et al.</i> , 2014)	7	0.925	37
Potential of biogas production from swine manure supplemented with glycerine waste	Engenharia Agricola	(KONRAD <i>et al.</i> , 2014)	7	0.387	37
Vinasse treatment using a vegetable-tannin coagulant and photocatalysis	Acta Scientiarum-Technology	(SOUZA <i>et al.</i> , 2013)	12	0.231	37
The use of microalgae and their culture medium for biogas production in an integrated cycle	Water Practice and Technology	(FORMAGINI <i>et al.</i> , 2014)	6	1.247	36
Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and	Engenharia Agricola	(MIRANDA <i>et al.</i> , 2012)	16	0.387	36

finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum					
Start-up of horizontal anaerobic reactors with sludge blanket and fixed bed for wastewater treatment from coffee processing by wet method	Engenharia Agricola	(OLIVEIRA; BRUNO, 2013)	11	0.387	36
Anaerobic co-digestion of swine manure and increasing levels of discarded oil	Engenharia Agricola	(ORRICO <i>et al.</i> , 2015)	1	0.387	36
Cellulase effect on anaerobic digestion of maize silage under discontinuous operation	Engenharia Agricola	(OLIVA-MERENCIO <i>et al.</i> , 2015)	1	0.387	36
Renewable energy: biogas and electricity from pig and cattle waste in UFSM	Revista Eletronica em Gestao Educacao E Tecnologia Ambiental	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2015)	1	0	36
Exploring the developmental possibilities of environmental activities: On-farm biogas production	Environmental Science & Policy	(PEREIRA-QUEROL; SEPPÄNEN; VIRKKUNEN, 2014)	5	3.826	35
Biomethane Production in an AnSBBR Treating Wastewater from Biohydrogen Process	Applied Biochemistry and Biotechnology	(LULLIO <i>et al.</i> , 2014)	5	1.797	35
Use of biogas for cogeneration of heat and electricity for local application: performance evaluation of an engine power generator and a sludge thermal dryer	Water Practice and Technology	(LOBATO <i>et al.</i> , 2013)	10	1.247	35
Soil change induced by the application of biodigested vinasse concentrate, and its effects on growth of sugarcane	Chilean Journal of Agricultural Research	(SILVA; CAZETTA; TOGORO, 2015)	0	0.775	35
Cost assessment of biodigester implementation and biogas-produced energy	Engenharia Agricola	(CALZA <i>et al.</i> , 2015)	0	0.387	35
Cassava starch extraction effluent treatment in a one phase tubular horizontal pilot reactor with support medium	Engenharia Agricola	(KUCZMAN <i>et al.</i> , 2014)	5	0.387	35
Evaluation of biogas production of swine waste using response surface methodology	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(CANCELIER <i>et al.</i> , 2015)	0	0.29	35
Scientific collaboration network analysis on biogas	Perspectivas em Ciencia da Informacao	(MATOS GUIMARAES; GALVAO, 2015)	0	0.203	35
An energetic, economic and environmental evaluation of options from energy use of biogas from a landfill in Brazil	Revista Eletronica em Gestao Educacao E Tecnologia Ambiental	(SILVA DOS SANTOS; BARROS; TIAGO FILHO, 2015)	0	0	35
Column system evaluation for biogas remediation from biomass not digested	Holos	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2015)	0	0	35
Application of real options theory in the evaluation of swine biogas storage	Revista de Gestao Financas e Contabilidade	(FERNANDES; MAIA; GOMES, 2015)	0	0	35
Implications and opportunities for teaching from digester construction in IFRN - campus Apodi.	Holos	(SILVA <i>et al.</i> , 2015)	0	0	35
The behaviour of an anaerobic baffled reactor (ABR) as the first stage in the biological treatment of hog farming effluents	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(MOTTERAN; PEREIRA; CAMPOS, 2013)	9	0.925	34

Anaerobic reactors with biofilter and different diameter-length ratios in cassava starch industry wastewater treatment	Engenharia Agricola	(KUNZLER <i>et al.</i> , 2013)	9	0.387	34
Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas	Renewable & Sustainable Energy Reviews	(AVACI; SOUZA; WERNCKE; <i>et al.</i> , 2013)	8	9.184	33
Determination of the optimal rate for the microaerobic treatment of several H ₂ S concentrations in biogas from sludge digesters	Water Practice and Technology	(DÍAZ <i>et al.</i> , 2011)	17	1.247	32
Adding oil and lipase on the anaerobic digestion of pig manure	Ciencia Rural	(RODRIGUES <i>et al.</i> , 2014)	2	0.525	32
Pretreatment on anaerobic sludge for enhancement of biohydrogen production from cassava processing wastewater	Acta Scientiarum-Technology	(LAMAISON <i>et al.</i> , 2014)	2	0.231	32
Phylogenetic and physiological characterization of organic waste-degrading bacterial communities	World Journal of Microbiology & Biotechnology	(CARDINALI-REZENDE <i>et al.</i> , 2011)	16	2.1	31
Cod, tss, nutrients and coliforms removals in uasb reactors in two stages treating swine wastewater	Engenharia Agricola	(DEL'ARCO RAMIRES; DE OLIVEIRA, 2014)	1	0.387	31
Measurement of Gas Permeability in Geosynthetic Clay Liners in Transient Flow Mode	Geotechnical Testing Journal	(PITANGA; PIERSON; VILAR, 2011)	15	1.279	30
Anaerobic digestion of wastewater from coffee and chemical analysis of biogas produced using gas chromatography: quantification of methane, and potential energy gas exchanger	Bioscience Journal	(MONTENEGRO CAMPOS; CALIL PRADO; PEREIRA, 2013)	5	0.404	30
Evaluation of surface emissions of gas from large landfills	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(SILVA; DE FREITAS; CANDIANI, 2013)	5	0.29	30
Economic and financial viability analysis of the use of biogas to produce electricity	Custos e Agronegocio On Line	(FERREIRA; MIRANDA, 2014)	0	0.205	30
Influence of hydraulic retention time on the anaerobic treatment of cassava starch extraction effluent using a one-phase horizontal reactor	Journal of Food Agriculture & Environment	(KUCZMAN <i>et al.</i> , 2013)	5	0.197	30
Application of urea dosing for alkalinity supply during anaerobic digestion of vinasse	Water Practice and Technology	(BONCZ <i>et al.</i> , 2012)	8	1.247	28
Chemistry without borders: the energy challenges	Quimica Nova	(DA ROCHA <i>et al.</i> , 2013)	3	0.646	28
Potentials of biogas production from young bulls manure fed with different diets	Engenharia Agricola	(COSTA <i>et al.</i> , 2013)	2	0.387	27
Production potential of biogas in sugar and ethanol plants for use in urban buses in Brazil	Journal of Food Agriculture & Environment	(SOUZA <i>et al.</i> , 2012)	7	0.197	27
Performance of an Anaerobic Reactor Treating Poultry Abattoir Wastewater with High Fat Content After Enzymatic Hydrolysis	Environmental Engineering Science	(VALLADÃO; CAMMAROTA; FREIRE, 2011)	11	1.547	26
Preliminary qualitative and quantitative assessment of gases from biodegradation of solid wastes in the landfill of Londrina, Parana State, Brazil	Acta Scientiarum-Technology	(AUDIBERT; FERNANDES, 2013)	1	0.231	26

A novel fuzzy-based expert system for RET selection	Journal of Intelligent & Fuzzy Systems	(BARIN <i>et al.</i> , 2013)	0	1.426	25
Anaerobic Biodegradability of Dairy Wastewater Pretreated with Porcine Pancreas Lipase	Brazilian Archives of Biology and Technology	(MENDES <i>et al.</i> , 2010)	15	0.676	25
Economic evaluation of microgeneration of electricity from biogas of swine manure	Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental	(AVACI <i>et al.</i> , 2013)	0	0.619	25
AnSBBR Applied to the Treatment of Metalworking Fluid Wastewater: Effect of Organic and Shock Load	Applied Biochemistry and Biotechnology	(CARVALHINHA <i>et al.</i> , 2010)	14	1.797	24
A Two-Stage Aerobic/Anaerobic Denitrifying Horizontal Bioreactor Designed for Treating Ammonium and H ₂ S Simultaneously	Applied Biochemistry and Biotechnology	(CHINALIA <i>et al.</i> , 2012)	4	1.797	24
Anaerobic biodigestion of laying hens manure collected after different periods of accumulation	Ciencia Rural	(FARIAS <i>et al.</i> , 2012)	3	0.525	23
A novel aerobic-anoxic biological filter for nitrogen removal from UASB effluent using biogas compounds as electron donors for denitrification	Revista Facultad de Ingenieria-Universidad de Antioquia	(VICTORIA; FORESTI, 2011)	8	0.172	23
Granular biomass selection in a double-stage biogas collection UASB reactor: effects on SMA, abundance and diversity of the methanogenic population	Water Practice and Technology	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2012)	2	1.247	22
Effect of thermal treatment of anaerobic sludge on the bioavailability and biodegradability characteristics of the organic fraction	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(BORGES; CHERNICHARO, 2009)	17	0.925	22
Anaerobic biodigestion of beef cattle manure: influence of period, genotype and diet	Revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science	(ORRICO JUNIOR <i>et al.</i> , 2012)	2	0.735	22
Construction and energy cost produced by Indian model biodigestors with cattle manures in semi-intensive systems	Journal of Food Agriculture & Environment	(NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2012)	2	0.197	22
Analysis of the financial viability of biogas production through equine manure.	Custos e Agronegocio	(CATAPAN <i>et al.</i> , 2012)	1	0.205	21
Relation between kinetic parameters for reactions of organic matter degradation in waste environmental matrix	Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	(DE ALMEIDA <i>et al.</i> , 2011)	5	2.209	20
Anaerobic bio-digestion of concentrate obtained in the process of ultra filtration of effluents from tilapia processing unit	Revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science	(SOUZA <i>et al.</i> , 2012)	0	0.735	20
Production of synthesis gas by thermal plasma via pyrolysis of methane and carbon dioxide	Quimica Nova	(KHALAF <i>et al.</i> , 2011)i	5	0.646	20
Economic evaluation of the use of biogas in Entre Rios do Oeste, Brazil	Journal of Food Agriculture & Environment	(EDWIGES <i>et al.</i> , 2012)	0	0.197	20
The efficiency of a sistem of anaerobic reactors treating swine wastewater	Acta Scientiarum-Technology	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2011)	4	0.231	19
Physical-chemical, biochemical and energetic characterization of	Bioscience Journal	(MONTENEGRO CAMPOS; CALIL	8	0.404	18

wastewater originated from wet coffee processing		PRADO; PEREIRA, 2010)			
Control of scum accumulation in a double stage biogas collection (DSBC) UASB reactor treating domestic wastewater	Water Practice and Technology	(PEREIRA; CELANI; CHERNICHARO, 2009)	12	1.247	17
Occurrence of Methanogenic <i>Archaea</i> in Highly Polluted Sediments of Tropical Santos-São Vicente Estuary (São Paulo, Brazil)	Current Microbiology	(SAIA <i>et al.</i> , 2010)	6	1.373	16
Animal production and environment: a comparison between potential of methane emission from waste and quantity of produced food	Engenharia Agricola	(ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2011)	1	0.387	16
Alternative forms of electricity generation from the biogas: An approach to the cost of generation of energy	Custos e Agronegocio	(CATAPAN, A.; CATAPAN; CATAPAN, 2011)	1	0.205	16
Anaerobic biodigestion of manure of Saanen goats fed diets with different proportions of roughage and concentrate	Revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science	(ORRICO; ORRICO JUNIOR; DE LUCAS JUNIOR, 2011)	0	0.735	15
Economic viability for electrical power generation using biogas produced in swine grange	Engenharia Agricola	(CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010)	5	0.387	15
Economic analysis of the generation of electric energy from biogas in pig production	Engenharia Agricola	(MARTINS; DE OLIVEIRA, 2011)	0	0.387	15
Quali/quantitative characterization of biogas produced in batch digesters supplied with six distinct substrates	Engenharia Agricola	(GALBIATTI <i>et al.</i> , 2011)	0	0.387	15
Specific biogas production from manipueira at one-phase reactor	Engenharia Agricola	(KUCZMAN <i>et al.</i> , 2011)	0	0.387	15
Biodegradation of lignocellulosics residues generated in banana cultivation and its valorization for the production of biogas	Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental	(SOUZA, O. <i>et al.</i> , 2010)	4	0.619	14
The biogas chain and local sustainability: an environmental socioeconomic analysis of energy obtained from urban solid-waste from the Caximba land-fill in Curitiba, Parana, Brazil	Innovar-Revista de Ciencias Administrativas Y Sociales	(DA SILVA <i>et al.</i> , 2009)	9	0.118	14
Performance of a motogenerator adapted for biogas	Ciencia e Agrotecnologia	(SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010)	3	0.672	13
Anaerobic digestion of vinasse: energetic application of biogas and acquisition of credits of carbon - a case	Semina-Ciencias Agrarias	(SZYMANSKI; BALBINOT; SCHIRMER, 2010)	3	0.349	13
Kinetic studies of urban solid residues and leachate from sanitary landfill	Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	(DE ALMEIDA, S. <i>et al.</i> , 2009)	7	2.209	12
Anaerobic digestion of goat and sheep wastes in a continuous reactor of flexible PVC	Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental	(QUADROS <i>et al.</i> , 2010)	2	0.619	12
Qualiquantitative study of biogas produced by substrates in batch biodigestors	Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental	(GALBIATTI <i>et al.</i> , 2010)	1	0.619	11

Evaluation of anaerobic biodigestion parameters of swine waste fed with diets based on corn and sorghum	Engenharia Agricola	(ORRICO JUNIOR; ORRICO; DE LUCAS JUNIOR, 2010)	1	0.387	11
Anaerobic treatment of coconut husk liquor for biogas production	Water Practice and Technology	(LEITÃO <i>et al.</i> , 2009)	5	1.247	10
Anaerobic treatment of wastewater from the household and personal products industry in a hybrid bioreactor	Brazilian Journal of Chemical Engineering	(ARAUJO <i>et al.</i> , 2008)	10	0.925	10
A study on the variation of methane concentration in biogas produced from coffee wastewater	Ciencia e Agrotecnologia	(PRADO, MARCO ANTÔNIO CALIL; CAMPOS; SILVA, 2010)	0	0.672	10
Parameters to design batch digesters running with dairy cow manure with and without inoculum	Engenharia Agricola	(XAVIER; DE LUCAS JR., 2010)	0	0.387	10
Field tests for biogas emissions determination in cover layers of municipal solid waste landfills	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(HOLANDA MARIANO; THOME JUCA, 2010)	0	0.29	10
Anaerobic treatment of organic wastes with low concentration of solids	Engenharia Agricola	(LEITE <i>et al.</i> , 2009)	1	0.387	6
Effect of thermal treatment of anaerobic sludge on the biodegradability characteristics of the organic fraction	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(BORGES; CHERNICHARO, 2009)	1	0.29	6
Optimisation of biogas production from anaerobic digestion of agro-industrial waste streams in Brazil	Water Practice and Technology	(BONCZ <i>et al.</i> , 2008)	5	1.247	5
Anaerobic biodigestion of swine manure with and without separation of the solid fraction in different hydraulic retention times	Engenharia Agricola	(ORRICO JÚNIOR; ORRICO; DE LUCAS JÚNIOR, 2009)	0	0.387	5
Computer aided rural energy planning	Engenharia Agricola	(BORGES NETO; CARVALHO, 2009)	0	0.387	5
Production potential of biogas remaining on effluents from biodigesters that operate with swine manure, with and without solid fractions separation under different hydraulic retention times	Engenharia Agricola	(ORRICO JR.; ORRICO; DE LUCAS JR., 2009)	0	0.387	5
Process of sulfidric acid removal from biogas	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(FRARE; GIMENES; PEREIRA, 2009)	0	0.29	5
Thermal treatment of anaerobic sludge utilizing biogas produced in UASB reactors: evaluation of system self-sustainability and the effect on sludge hygienization and dehydration	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(MACHADO BORGES <i>et al.</i> , 2009)	0	0.29	5
Costs and analysis of investment to transport pig manure with subsequent generation of bioenergy in the city of Toledo-PR	Custos e Agronegocio	(PEREIRA; DA SILVA LOBO; DA ROCHA, 2009)	0	0.205	5
Biogas production in the treatment of Coffea arabica L. processing wastewaters in UASB anaerobic reactor for the potential use in the coffee drying	Ciencia e Agrotecnologia	(PRADO; CAMPOS, 2008)	3	0.672	3
Anaerobic treatment of wastewater from coffee pulping in upflow anaerobic sludge blanquet (uasb) in two stages	Engenharia Agricola	(BRUNO; OLIVEIRA, 2008)	1	0.387	1

Methane volumetric yield - swine wastes	Ciencia e Agrotecnologia	(SOUZA <i>et al.</i> , 2008)	0	0.672	0
Evaluation of the production and quality of the landfill gas to energy at Bandeirantes landfill-SP	Engenharia Sanitaria e Ambiental	(SILVA; CAMPOS, 2008)	0	0.29	0

APÊNDICE H – Questionário de levantamento de informações complementares de agricultores familiares produtores de biogás

N° do questionário (não preencher)				
---	--	--	--	--

APRESENTAÇÃO DO ENTREVISTADOR

Olá, eu me chamo _____ e sou pesquisador de um projeto sobre a produção de biogás. Estamos realizando uma pesquisa com objetivo de saber sobre as condições de produção e comercialização dos agricultores familiares para propor melhorias e estratégias de atuação. As respostas são confidenciais e serão utilizadas apenas para a pesquisa. O(A) senhor(a) poderia responder a algumas perguntas? Sua opinião é muito importante para as propostas de melhorias.

Controle

Nome do pesquisador:	Data: / /
	Hora:
Nome do entrevistado:	
Endereço do entrevistado:	
Telefone com DDD (obrigatório):	Cidade de residência:

PERFIL DA PROPRIEDADE

1. Qual é o tamanho da sua propriedade?

_____ hectares.

2. Qual é a área de pastagem?

_____ hectares.

3. Qual é a área de lavoura?

_____ hectares.

4. Qual é a quantidade de pessoas da família envolvida com atividades produtivas?

_____ pessoas.

5. Quantas pessoas vivem da propriedade?

_____ pessoas.

6. Indique quais produtos (de origem animal e vegetal) são produzidos.

	Tipo de Produto
	1. Leite
	2. Bovinos (corte)
	3. Suínos (corte)
	4. Frangos (corte)
	5. Queijo
	6. Embutidos
	7. Hortaliças
	8. Milho
	9. Soja
	10. Outro(s). Qual(is)?

7. Indique os tipos de criação da propriedade e as respectivas quantidades (não leia as opções e marque uma ou mais respostas)

Tipo de rebanho	N°
1. Vacas leiteiras	
2. Gado de corte	
3. Ovinos	
4. Suínos (matrizes)	
5. Suínos (creche a terminação)	
6. Aves (carne)	
7. Aves (ovos)	
8. Peixes	
9. Eqüinos	
10. Outro(s). Qual(is)?	

8. Para quem é comercializada a produção?

1. Cooperativa
2. Feiras
3. Venda direta ao consumidor
4. Agroindústria
5. Laticínio
6. PNAE
8. PAA
9. Merenda escolar do município
10-. Outro(s). Qual(is)?

9. Qual é o consumo médio mensal de energia elétrica da propriedade? (Marque apenas uma resposta).

1. Entre 0 a 100 KWh
2. Entre 100 a 200 KWh

	3. Entre 200 a 300 KWh
	4. Entre 300 a 400 KWh
	5. Entre 400 a 500 KWh
	6. Entre 500 a 1000 KWh
	7. Entre 1000 a 1500 KWh
	8. Entre 1.500 a 2.000 KWh
	8. Acima de 2.000 KWh

10. Além do Condomínio e do CIBiogás, quais são as organizações com as quais o senhor(a) desenvolve ou desenvolveu algum tipo de parceria (recebe apoio na produção e/ou na comercialização)?

	1. Cooperativa
	2. Sindicato de Trabalhadores Rurais
	3. SENAR
	4. EMATER
	5. EMBRAPA
	6. Universidade
	7. ITAIPU
	8. IAPAR
	9. Outro(s). Qual(is)?

11. Quais os tipos de crédito aos quais o senhor(a) tem acesso? (não leia as opções e marque mais de uma resposta)

	01. PRONAF. Qual(is)?
	02. Bancos privados (outras linhas além do PRONAF)
	03. Outras. Qual(is)?
	04. Nenhuma

12. Quais programas do governo o senhor(a) acessa?

	01. PAA
	02. PNAE
	03. Luz para todos
	04. Habitação Rural
	05. Outra(s). Qual(is)?

13. As condições para acessar o Pronaf são:

	01. Muito Complicadas
	02. Complicadas
	03. Mais ou menos

	04. Simples
	05. Muito simples

14. Sobre os programas do Governo, as condições para conseguir participar são...

	01. Muito Complicadas
	02. Complicadas
	03. Mais ou menos
	04. Simples
	05. Muito simples

15. Como é a atuação da Emater e instituições de ATER?

	1. Ótima
	2. Boa
	3. Regular
	4. Ruim
	5. Péssima

16. Como o senhor(a) avalia a atuação de instituições de apoio à produção de biogás?

	1. Ótima
	2. Boa
	3. Regular
	4. Ruim
	5. Péssimas

17. Qual a sua escolaridade?

	1. Sem escolaridade/Sem instrução
	2. Fundamental (1º grau) incompleto
	3. Fundamental (1º grau) completo
	4. Médio (2º grau) incompleto
	5. Médio (2º grau) completo
	6. Superior (incompleto)
	7. Superior (completo) ou pós-graduação

18. Qual é a renda bruta mensal familiar da propriedade? (se necessário, leia as opções e marque apenas uma opção)

	1. Não tem renda
	2. Até R\$ 954,00 (1 SM)
	3. De R\$ 954,00 a R\$ 1.908,00 (1 a 2 SM)
	4. De R\$ 1.908,00 a R\$ 3.816,00 (2 a 4 SM)
	5. De R\$ 3.816,00 a R\$ 4.770,00 (4 a 5 SM)
	6. De R\$ 4.770,00 a R\$ 9.540,00 (5 a 10 SM)
	7. Mais de R\$ 9.540,00 (Mais de 10 SM)

ANEXOS

ANEXO A - Matrizes de ponderação de impactos ambientais e socioeconômicos.

Que alterações foram observadas no consumo de insumos e recursos, POR UNIDADE DE PRODUTO?								
Uso de Insumos Agrícolas e Recursos	Variáveis de uso de insumos					Variáveis de uso de recursos naturais		Averiguação fatores de ponderação
	Volume das aplicações	Pesticidas		Fertilizantes químicos	Condicionadores de solo	Consumo de água	Solo (área)	
		Variedade de ingredientes ativos (não alternados)	Toxicidade					
Fatores de ponderação k								
	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,05	-0,15	-0,1	-1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	5						
	Local	-						
	Entorno	-						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)								
	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas no consumo de insumos e recursos, POR UNIDADE DE PRODUTO?								
Uso de Insumos e Recursos Industriais	Variáveis de uso de insumos					Variáveis de uso de recursos naturais		Averiguação fatores de ponderação
	Matéria prima-biomassa (bagaços, madeira e fibras, óleo)	Gases (CO ₂ , O ₂ , H ₂ , entre outros)	Catalisadores enzimáticos e microrganismos	Catalisadores químicos, solventes e aditivos	Toxicidade dos insumos	Consumo de água	Solo (área)	
Fatores de ponderação k								
	-0,05	-0,15	-0,05	-0,2	-0,3	-0,15	-0,1	-1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	5						
	Local	-						
	Entorno	-						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)								
	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas no consumo de energia, POR UNIDADE DE PRODUTO?								
Consumo de Energia	Variáveis de fontes de energia					Averiguação fatores de ponderação		
	Combustíveis fósseis	Biocombustíveis	Biomassa (lenha, bagaços, etc.)		Eletricidade			
Fatores de ponderação k								
	-0,5	-0,1	-0,1	-0,3		-1		
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	5						
	Local	-						
	Entorno	-						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)								
	0	0	0	0		0,00		

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas na geração, aproveitamento e reuso de insumos e energia?						
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Agrícola	Variáveis de autonomia material e energética					Averiguação fatores de ponderação
	(co)Geração motriz ou elétrica (solar, eólica, hidro, biogás)	Aproveitamento térmico (consumo energético evitado)	Adubo orgânico / esterco, estrume / compostagem / formulados organominerais	Adubo verde / fixação biológica N / inoculação micorrízica	Controle biológico / manejo ecológico de pragas e doenças	
Fatores de ponderação k	0,3	0,15	0,25	0,15	0,15	1
Escala da ocorrência = Não se aplica Pontual Local Entorno	Marcar com X					
	1					
	2					
	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas na geração, aproveitamento e reuso de insumos e energia?						
Geração Própria, Aproveitamento, Reuso e Autonomia na Área Industrial	Variáveis de autonomia material e energética					Averiguação fatores de ponderação
	(co)Geração motriz ou elétrica (solar, eólica, hidro, biogás)	Aproveitamento térmico (consumo energético evitado)	Recuperação de componentes dos gases de exaustão	Aproveitamento de resíduos sólidos e co-produtos	Reaproveitamento e reuso da água	
Fatores de ponderação k	0,3	0,15	0,25	0,15	0,15	1
Escala da ocorrência = Não se aplica Pontual Local Entorno	Marcar com X					
	1					
	2					
	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de segurança energética?						
Segurança energética	Variáveis de segurança energética				Averiguação fatores de ponderação	
	Garantia de fornecimento	Quantidade disponível	Diversidade de fontes de energia	Qualidade das fontes de energia		
Fatores de ponderação k	0,25	0,25	0,25	0,25	1	
Escala máxima = pontual Não se aplica Pontual Local Entorno	Marcar com X					
	5					
	-					
	-					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0	0	0	0	0,00	

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas emissões de poluentes atmosféricos?							
Emissões à Atmosfera			Variáveis de emissões à atmosfera				Averiguação fatores de ponderação
			Gases de efeito estufa	Material particulado / Fumaça	Odores	Ruídos	
Fatores de ponderação k			-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	-1
Escala da ocorrência =	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	1					
	Local	2					
	Entorno	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas na qualidade do solo?							
Qualidade do Solo			Variáveis de qualidade do solo				Averiguação fatores de ponderação
			Erosão	Perda de matéria orgânica	Perda de nutrientes	Compactação	
Fatores de ponderação k			-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	5					
	Local	-					
	Entorno	-					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas na qualidade da água?							
Qualidade da Água			Variáveis de qualidade da água				Averiguação fatores de ponderação
			Carga orgânica (efluentes, esgotos, esterco, etc.)	Turbidez	Espumas / Óleos / Resíduos sólidos	Assoreamento de corpos d'água	
Fatores de ponderação k			-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1
Escala da ocorrência =	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	1					
	Local	2					
	Entorno	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas na conservação da biodiversidade e na recuperação ambiental?								
Conservação da Biodiversidade e Recuperação Ambiental	Variáveis de conservação da biodiversidade			Variáveis de recuperação ambiental				Averiguação fatores de ponderação
	Vegetação nativa	Fauna silvestre	Espécies / variedades tradicionais (caboclas)	Solos degradados	Ecossistemas degradados	Áreas de Preservação Permanente	Reserva Legal	
Fatores de ponderação k	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	1
Escala da ocorrência =	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	1						
	Local	2						
	Entorno	5						
Coefficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de produtividade?							
Produtividade	Produtividade do trabalho		Produtividade do capital		Produtividade da terra		Averiguação fatores de ponderação
	Produção por trabalhador	Lucratividade por trabalhador	Produção relativa ao total máquinas / equipamentos	Lucratividade em relação ao total máquinas / equipamentos	Produção por unidade de área	Lucratividade por unidade de área	
Fatores de ponderação k	0,15	0,2	0,1	0,2	0,15	0,2	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	5					
	Local	-					
	Entorno	-					
Coefficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de qualidade do produto?								
Qualidade do Produto	Variáveis de qualidade do produto				Qualidade NBR ISO/IEC 9126 (adapt.)			Averiguação fatores de ponderação
	Redução de resíduos químicos	Redução de contaminantes biológicos	Disponibilidade de fontes de insumos	Idoneidade dos fornecedores de insumos	Funcionalidade / Confiabilidade	Usabilidade / Eficiência	Manutenibilidade / Portabilidade	
Fatores de ponderação k	0,2	0,15	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	5						
	Local	-						
	Entorno	-						
Coefficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de integração produtiva?								
Integração produtiva no conceito de biorrefinaria / Ecopark			Flexibilidade do uso da biomassa	Diversidade de produtos gerados	Diversidade de processos de transformação	Nível de integração tecnológica	Integração de processos produtivos entre empreendimentos parceiros	Averiguação fatores de ponderação
Fatores de ponderação k			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	5						
	Local	-						
	Entorno	-						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações socioambientais foram observadas nas variáveis de uso direto da terra?							
Mudança no uso direto da terra			Prevenção de incêndios	Excedente produtivo	Estoque de carbono	Biodiversidade produtiva	Averiguação fatores de ponderação
Fatores de ponderação k			0,25	0,25	0,25	0,25	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	1					
	Local	2					
	Entorno	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações socioambientais foram observadas nas variáveis de uso indireto da terra?							
Mudança no uso indireto da terra			Competição com produção de alimentos	Pressão de deslocamento sobre áreas não agrícolas	Competição pela propriedade da terra	Interferência sobre a posse e usos pelas comunidades locais	Averiguação fatores de ponderação
Fatores de ponderação k			-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	1					
	Local	2					
	Entorno	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de capacitação?									
Capacitação			Variáveis do tipo de capacitação			Variáveis do nível de capacitação			Averiguação fatores de ponderação
			Local de curta duração	Especialização	Educação formal	Básico	Técnico	Superior	
Fatores de ponderação k			0,25	0,25	0,2	0,1	0,1	0,1	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X							
	Pontual	5							
	Local	-							
	Entorno	-							
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza et al. (2017).

Que alterações foram observadas na qualificação e oferta de trabalho, para as diferentes condições de contratação?									
Qualificação e Oferta de Trabalho			Variáveis de qualificação requerida para o trabalho				Condição de contratação		Averiguação fatores de ponderação
			Braçal	Braçal especializado	Técnico médio	Técnico superior	Temporário	Permanente	
Fatores de ponderação k			0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	1
Escala da ocorrência =	Não se aplica	Marcar com X							
	Pontual	1							
	Local	2							
	Entorno	5							
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza et al. (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de qualidade do emprego / ocupação?											
Qualidade do Emprego			Variáveis associadas à legislação trabalhista				Benefícios trabalhistas			Averiguação fatores de ponderação	
			Prevenção do trabalho infantil	Prevenção jornada >44 hs	Registro	Contribuição previdenciária	Auxílio moradia	Auxílio alimentação	Auxílio transporte		Auxílio saúde (complementar)
Fatores de ponderação k			0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X									
	Pontual	5									
	Local	-									
	Entorno	-									
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza et al. (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de geração de renda?								
Geração de Renda			Atributos da renda					Averiguação fatores de ponderação
			Segurança (garantia de obtenção)	Estabilidade (sazonalidade)	Montante	Diversidade de fontes	Distribuição	
Fatores de ponderação k			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X						
	Pontual	5						
	Local	-						
	Entorno	-						
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza et al. (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de exposição a fatores de risco no trabalho?									
Segurança e Saúde Ocupacional	Exposição a periculosidade e fatores de insalubridade							Averiguação fatores de ponderação	
	Periculosidade	Ruído	Vibração	Calor / Frio	Umidade	Agentes químicos	Agentes biológicos		
Fatores de ponderação k		-0,3	-0,1	-0,1	-0,05	-0,05	-0,2	-0,2	-1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X							
	Pontual	5							
	Local	-							
	Entorno	-							
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		0	0	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de segurança alimentar?						
Segurança Alimentar	Variáveis de segurança alimentar			Averiguação fatores de ponderação		
	Garantia da produção	Quantidade de alimento	Qualidade nutricional do alimento			
Fatores de ponderação k		0,3	0,3	0,4	1	
Escala da ocorrência =	Não se aplica	Marcar com X				
	Pontual	1				
	Local	2				
	Entorno	5				
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		0	0	0	0,00	

Fonte: Souza *et al.* (2017).

Que alterações foram observadas nas variáveis de disposição de resíduos?							
Disposição de Resíduos	Tratamento de resíduos líquidos			Tratamento de resíduos sólidos		Averiguação fatores de ponderação	
	Coleta seletiva	Tratamento de efluentes	Disposição sanitária dos resíduos	Coleta seletiva	Destinação ou tratamento final		
Fatores de ponderação k		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1
Escala máxima = pontual	Não se aplica	Marcar com X					
	Pontual	5					
	Local	-					
	Entorno	-					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		0	0	0	0	0	0,00

Fonte: Souza *et al.* (2017).

ANEXO B – Especificação dos critérios de impactos ambiental.

EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA	<p>Uso de insumos agrícolas e recursos</p>	<p>Este critério engloba os insumos adquiridos para a prática agrícola, como pesticidas (analisados segundo o volume das aplicações, a variedade de ingredientes ativos e a toxicidade dos produtos), fertilizantes químicos e condicionadores de solo, além de recursos naturais incorporados ao processo produtivo, como consumo de água (seja aquela incorporada ao produto quanto aquela empregada em processamento) e solo em termos de área cultivada ou ocupada na realização da atividade.</p>
	<p>Uso de insumos e recursos industriais</p>	<p>Este critério envolve os insumos adquiridos para a produção industrial, como matéria-prima na forma de biomassa (por exemplo, bagaços, madeira e fibras, óleo); gases (CO₂, O₂, H₂, entre outros); catalisadores enzimáticos e microrganismos; catalisadores químicos, solventes e aditivos e a toxicidade dos insumos considerados. Além disso, considera os recursos naturais incorporados ao processo produtivo, porém na etapa industrial de produção, como consumo de água (seja aquela incorporada ao produto quanto àquela empregada em processamento) e solo em termos de área ocupada na realização da atividade.</p>
	<p>Consumo de energia</p>	<p>O consumo de energia por unidade de produto é avaliado segundo necessidade de utilização de combustíveis fósseis, biocombustíveis, biomassa e eletricidade.</p>
	<p>Geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área agrícola</p>	<p>É possível promover a eficiência produtiva via ações voltadas à cogeração de energia, ao aproveitamento de subprodutos e a formas de manejo dirigidas à substituição racional de insumos de fertilidade e controle de pragas e doenças, assim favorecendo a mitigação dos impactos gerados nos três critérios anteriores.</p>
	<p>Geração própria, aproveitamento, reuso e autonomia na área industrial</p>	<p>É possível promover a eficiência produtiva via ações voltadas à cogeração de energia, ao aproveitamento de subprodutos, bem como à recuperação de componentes dos gases de exaustão, aproveitamento de resíduos sólidos e reaproveitamento de água, favorecendo a mitigação dos impactos gerados nos critérios de uso de insumos e recursos.</p>
	<p>Segurança energética</p>	<p>A adoção de tecnologias e práticas produtivas dirigidas à geração e aproveitamento bioenergético tendem a alterar a disponibilidade e a diversidade de fontes de energia, além de influir na qualidade das fontes e eficiência do uso. Ao tratar dessas características, os indicadores relativos a esse critério são considerados somente na escala pontual. São eles, a garantia de fornecimento de energia, a quantidade disponível, a diversidade de fontes de energia e a qualidade das fontes.</p>

QUALIDADE AMBIENTAL	Emissões à atmosfera	Os impactos ambientais das atividades agropecuárias têm ganhado grande importância, a ponto de serem incluídos nos inventários sobre as mudanças do clima planetário. Isto se deve principalmente à contribuição das atividades agropecuárias para o aquecimento global da atmosfera, com a emissão de GEE. Além desse impacto de escala global, as atividades agropecuárias (assim como as agroindustriais) frequentemente causam emissões de poeiras, odores e podem ainda gerar ruídos. Assim, os indicadores para avaliação do critério de impacto ambiental sobre a qualidade da atmosfera referem-se à emissão de GEE, material particulado / fumaça, odores e ruídos.
	Qualidade do solo	O impacto da adoção tecnológica ou atividade agroindustrial / rural sobre a qualidade do solo pode ser avaliado segundo os efeitos sobre os principais processos causadores de degradação e perda de fertilidade, quais sejam a erosão, a perda de matéria orgânica e de nutrientes, a compactação e a redução da capacidade produtiva por excesso de aplicação de efluentes / resíduos.
	Qualidade da água	Os indicadores para avaliação dos impactos da adoção tecnológica ou atividade agroindustrial / rural sobre a qualidade da água envolvem a carga orgânica (emissão de efluentes, esgotos, esterco e outros causadores de aumento na demanda bioquímica de oxigênio), a turbidez, a presença de espumas / óleos / resíduos sólidos, o assoreamento de corpos d'água, e o eventual uso que supere a disponibilidade hídrica local.
	Conservação da biodiversidade e Recuperação ambiental	Três indicadores relativos à conservação da biodiversidade são observados, quais sejam a vegetação nativa, a fauna silvestre e espécies e variedades tradicionais (caboclas). Por outro lado, busca-se avaliar a contribuição da atividade agroindustrial / rural para a recuperação de solos degradados (física, química e biologicamente), recomposição de ecossistemas e habitats naturais, além dos requerimentos de uso do solo definidos no Código Florestal, como as áreas de preservação permanente e de reserva legal.

Fonte: Souza *et al.* (2017).

ANEXO C – Especificação dos critérios de impacto socioeconômico.

PROCESSO PRODUTIVO	Produtividade	O critério produtividade mensura a relação entre produção e lucratividade e os fatores de produção utilizados: trabalho, capital e terra. O indicador refere-se à produtividade do trabalho (produção por trabalhador e lucratividade por trabalhador), produtividade do capital (produção em relação ao total de máquinas / equipamentos e lucratividade em relação ao total de máquinas / equipamentos) e produtividade do fator terra (produção por unidade de área e lucratividade por unidade de área).
	Qualidade do produto	A qualidade do produto é avaliada em termos dos conteúdos de resíduos químicos ou contaminantes biológicos eventualmente alterados pela forma de manejo empregada na atividade agroindustrial / rural. Adicionalmente, pondera-se a disponibilidade dos insumos empregados, em termos da diversidade de suas fontes, que pode implicar irregularidades se ocorrerem descontinuidades de abastecimento e a idoneidade dos fornecedores de insumos, que têm forte influência na garantia da qualidade. Propõe-se ainda a verificação da influência da adoção de tecnologias ou práticas de produção bioenergéticas nas características de qualidade dos produtos, em adaptação aos conceitos da norma de qualidade NBR ISO/IEC 9126, que inclui a funcionalidade / confiabilidade, a usabilidade / eficiência e a manutenibilidade / portabilidade. Relativamente à escala de ocorrência, indica-se somente a pontual.
	Integração produtiva no conceito de Biorrefinarias / Ecopark	Este critério avalia o impacto da adoção de tecnologias e práticas de produção de bioenergia na integração produtiva, segundo conceitos da ecologia industrial, que incluem indicadores de ampliação da flexibilidade do uso da biomassa, a diversidade de produtos gerados, a diversidade de processos de transformação, o nível de integração tecnológica e a integração de processos produtivos entre empreendimentos parceiros. Indica-se somente a escala pontual, em referência à ‘integração’ que naturalmente envolve alcances espaciais por iniciativa do empreendimento.
	Mudança no uso direto da terra	Consideram-se os efeitos das mudanças diretas no uso da terra, que além de impactos potencialmente negativos anteriormente verificados na análise dos critérios ecológicos (como desmatamentos e impactos sobre a biodiversidade), podem melhorar o aproveitamento de recursos e favorecer a produção, em consequência da prevenção de incêndios, da geração de excedente produtivo, do aumento do estoque de carbono e ampliação da biodiversidade produtiva.
	Mudança no uso indireto da terra	Os impactos indiretos de mudanças no uso da terra envolvem a competição com a produção de alimentos, a pressão de deslocamento sobre áreas não-agrícolas, a competição pela propriedade da terra e a interferência sobre a posse e usos pelas comunidades locais.

EMPREGO	Capacitação	O critério de capacitação abrange três tipos de treinamentos passíveis de serem atendidos pelos residentes do estabelecimento, quais sejam o treinamento local de curta duração, especialização e educação formal. Adicionalmente, o critério pondera o nível em que se dá o treinamento, seja básico, técnico ou superior. Por direcionar-se à verificação da influência direta da atividade ou inovação tecnológica sobre as oportunidades de capacitação, o critério se restringe à escala pontual.
	Qualificação e oferta de trabalho	Este critério pondera a qualificação exigida para o trabalho proporcionado pela atividade agroindustrial / rural, como braçal, braçal especializado, técnico médio, e técnico de nível superior. Ademais, verifica-se a condição do trabalhador segundo o tipo de recrutamento demandado, como de regime de contratação temporário ou permanente, podendo-se considerar que há uma escala de favorecimento crescente, em termos de impacto social dessas formas de inserção dos trabalhadores. Como a adoção tecnológica pode engendrar a realização de trabalhos desde propriamente a área cultivada, as áreas de criação e agroindústrias até trabalhos gerais no estabelecimento, todas as escalas de ocorrência podem estar associadas a este critério.
	Qualidade do emprego	O critério qualidade do emprego se refere a todos os trabalhadores do estabelecimento diretamente dedicados à atividade. O emprego é qualificado segundo atendimento às condições básicas como idade mínima, jornada máxima de trabalho, formalidade e auxílios e benefícios previstos pelas leis trabalhistas. Como os empregos considerados são somente aqueles influenciados pela atividade ou inovação tecnológica, a escala de ocorrência é pontual.
RENDA	Geração de renda	Este critério considera as condições de obtenção e distribuição da renda do empreendimento, quais sejam a segurança, estabilidade, montante, diversidade de fontes e distribuição, avaliados segundo diferencial advindo da adoção tecnológica ou implementação da atividade produtiva em estudo. O indicador segurança refere-se à garantia de obtenção da renda esperada. A estabilidade refere-se à distribuição temporal ou sazonal da renda. O montante refere-se à variação no total da renda auferida pelo empreendimento. A diversidade de fontes aponta eventual ampliação ou retração da linha de produtos ou alternativas de geração de renda, enquanto a distribuição refere-se à repartição da renda em salários pagos e benefícios, entre os colaboradores. Como a renda aqui referida corresponde àquela decorrente da implementação da atividade produtiva ou adoção da inovação tecnológica analisada, a ocorrência do critério é dirigida à escala pontual.

SAÚDE	Segurança e saúde ocupacional	O critério segurança e saúde ocupacional retrata a exposição de trabalhadores a riscos e fatores de insalubridade devido aos trabalhos dedicados à atividade. A periculosidade e os fatores de insalubridade são aqueles normalmente definidos na legislação trabalhista, considerando-se toda exposição como um efeito potencialmente negativo.
	Segurança alimentar	O critério segurança alimentar envolve os efeitos da adoção tecnológica ou atividade produtiva agroindustrial/rural para garantia do acesso a alimentação de qualidade, seja para aqueles envolvidos no processo produtivo (empregados e familiares), bem como para a população em geral, representada pelos consumidores. Os indicadores são a garantia da produção e a quantidade de alimento, que representam segurança de acesso diário (regularidade da oferta) ao alimento em quantidade adequada (suficiência da oferta), além da qualidade nutricional do alimento. Quanto à escala de ocorrência, propõe-se consideração de influência pontual quando os volumes de produção se restrinjam à segurança de trabalhadores e suas famílias, influência local quando esses volumes alcancem os mercados locais e influência no entorno quando os volumes de produção alcancem os mercados regionais.
GESTÃO E ADMINISTRAÇÃO	Disposição de resíduos	O critério disposição de resíduos avalia as medidas de reciclagem e destinação dos resíduos produzidos na realização da atividade. Tanto os resíduos líquidos quanto sólidos são considerados, verificando-se iniciativas de coleta seletiva e medidas de tratamento e disposição adequadas.
	Relacionamento institucional	O critério de relacionamento institucional trata da ocorrência de indicadores da capacidade institucional do empreendimento. Este critério aborda atributos de acesso a assistência técnica, associativismo e filiação tecnológica, além de assessoria legal e vistoria, mormente ligados a licenciamentos, autorizações e certidões trabalhistas e fundiárias.

Fonte: Souza *et al.* (2017).