UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

GIOVANI MORANGUEIRA MAGRI

**Avaliação da viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico
bovino para geração de energia**

RIBEIRÃO PRETO

2019

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

GIOVANI MORANGUEIRA MAGRI

**Avaliação da viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico
bovino para geração de energia**

ORIENTADORA: PROFA. DRA. SONIA VALLE
WALTER BORGES DE OLIVEIRA

RIBEIRÃO PRETO

2019

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. André Lucirton Costa
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Jorge Henrique Caldeira de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

GIOVANI MORANGUEIRA MAGRI

***Avaliação da viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico
bovino para geração de energia***

Versão corrigida

(a versão original encontra-se disponível na FEA-RP/USP)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

ORIENTADORA: PROFA. DRA. SONIA VALLE
WALTER BORGES DE OLIVEIRA

RIBEIRÃO PRETO

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Magri, Giovani Morangueira.

Avaliação da viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico bovino para geração de energia. Ribeirão Preto, 2019.

88 p. : il.; 30 cm.

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Área de concentração: Sustentabilidade.

1. Administração. 2. Sustentabilidade. 3. Energias renováveis. 4. Água residuária de frigorífico. 5. Digestão anaeróbia. 6. Geração de energia. 7. Análise de viabilidade.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: MAGRI, Giovani M.

Título: Avaliação da viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico bovino para geração de energia.

Dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela dádiva da vida.

Agradeço aos meus pais, pelos ensinamentos que me trouxeram até aqui.

Agradeço à Luciana e à Catarina, o que tenho de mais importante em minha vida, pela força e motivação constantes nesta jornada.

Agradeço ao Professor Dr. Alberto Borges Mathias, pela oportunidade de ingressar no Mestrado.

Agradeço à minha orientadora, Professora Sra. Sonia Valle Walter Borges de Oliveira, pelo acolhimento, ensinamentos e carinho até o final deste Mestrado.

Agradeço ao Fred Filho por ser, literalmente, minhas mãos neste projeto.

Agradeço ao Braga, pela convivência e companheirismo.

Agradeço a todos os demais amigos de Mestrado, por tudo aquilo que trocamos durante este período.

RESUMO

MAGRI, Giovani M. **Avaliação da viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico bovino para geração de energia**. 2019. 88 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2019.

O Brasil continua detendo o posto de segundo maior rebanho e segundo maior exportador de carne bovina do mundo. A água residuária gerada no abate tem potencial altamente poluidor devido à sua grande carga orgânica, composta especialmente por gordura e sangue. Na busca da sustentabilidade, líderes de países e empresas têm enfrentado significativos desafios para não comprometer os recursos naturais das próximas gerações. Apesar de ainda ter-se uma participação significativa de fonte hidráulica em nossa matriz energética, os acionamentos de termelétricas à base de carvão ou petróleo têm aumentado a participação do setor de energia no total de emissões de gases de efeito estufa do país. A saída para garantir o fornecimento de energia para os próximos anos e ao mesmo tempo assegurar uma fonte renovável e não poluidora pode ser a bioenergia. São crescentes os estudos de digestão anaeróbia da água residuária de frigorífico com a geração de biogás. Esses efluentes têm grande potencial energético, entretanto, a alta concentração de gorduras acaba por atrapalhar o processo de geração de metano. Para resolver esses problemas, pesquisadores têm estudado alternativas de tratamento que aumentam a eficiência desse processo. O presente estudo coleta, por meio de entrevistas com especialistas, triangulada com revisão bibliográfica, os indicadores mais importantes necessários à análise de viabilidade de instalação de um sistema de aproveitamento energético da água residuária de frigorífico bovino. Como conclusão, foi sugerido um Diagrama de Ishikawa para apoio à tomada de decisão na análise de viabilidade de implementação de um projeto de geração de energia por meio de água residuária em frigoríficos bovinos.

Palavras-chave: Viabilidade. Água residuária. Biogás. Sustentabilidade. Frigorífico.

ABSTRACT

MAGRI, Giovani M. **Feasibility analysis of the use of cattle slaughterhouse wastewater to generate energy**. 2019. 88 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2019.

Brazil continues to hold to the position of the second largest cattle herd and the second largest beef exporter in the world. The wastewater generated at slaughterhouses has a highly polluting potential due to its big organic load, composed especially of fat and blood. In the pursuit of sustainability, country and business leaders have faced significant challenges in order to reduce their environmental footprint. Although there is still a significant share of hydropower in our energy matrix, coal or oil-based power plants have increased the energy sector's share of the country's total greenhouse gas emissions. The output to ensure the supply of energy for the next years and at the same time ensure a renewable and non-polluting source can be bioenergy. The studies of anaerobic digestion of wastewater from refrigeration with the generation of biogas are increasing. These effluents have great energetic potential, however, the high concentration of fats ends up disrupting the process of methane generation. To solve these problems, researchers have been studying treatment alternatives that increase the efficiency of this process. The present study collects, through interviews with specialists, triangulated with literature review, the most important indicators necessary for the feasibility analysis of the installation of a system of energy use of cattle slaughterhouse's wastewater. In conclusion, it was suggested an Ishiwaka Diagram model for the feasibility analysis of the implementation of a project to generate energy by cattle slaughterhouses wastewater.

Keywords: Feasibility. Wastewater. Biogas. Sustainability. Slaughterhouse.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problema de pesquisa	17
1.2	Objetivos	17
1.3	Justificativa	18
1.3.1	Relevância do estudo	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Sustentabilidade: desafios e oportunidades	21
2.2	Energias alternativas e o potencial dos resíduos orgânicos	27
2.2.1	Mercado de energia no Brasil	28
2.2.2	Biodigestão anaeróbia e sistemas de tratamento de águas residuárias com produção de biogás	34
2.3	Águas residuárias de frigorífico bovino e geração de energia	37
2.4	Resumo da revisão bibliográfica	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	Coleta de dados	45
3.2	Análise dos resultados	48
4	RESULTADOS	51
4.1	Revisão bibliográfica	51
4.2	Questionários aplicados a especialistas	55
4.2.1	Pesquisador 1	55
4.2.2	Pesquisadora 2	56
4.2.3	Pesquisadora 3	58
4.2.4	Pesquisador 4	59
4.2.5	Pesquisador 5	61
5	DISCUSSÃO	65
5.1	Variáveis relevantes selecionadas	65
5.2	<i>Framework</i> das variáveis coletadas	72
5.3	Diagrama de Ishikawa	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1. INTRODUÇÃO

Tem sido cada vez maior a preocupação de países e empresas com a sustentabilidade ambiental. A matriz energética brasileira, que sempre foi considerada limpa, em 2014 já representou 23% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do país (PBMC, 2017). O abate bovino por frigoríficos gera grandes volumes de águas residuárias, cuja carga orgânica é altamente poluidora. Uma possibilidade de tratamento desses resíduos é a digestão anaeróbia, que permite seu descarte sustentável no meio ambiente com a geração de biogás (metano), que tem potencial energético elevado. Portanto, o uso de água residuária de frigorífico bovino (ARF) para a geração de energia pode complementar a matriz energética nacional como uma fonte renovável e limpa, além de evitar a poluição dos nossos rios. A análise de viabilidade dessa alternativa é o tema do presente estudo.

Em levantamento feito pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em 2017 o Brasil continuou detendo o posto de segundo maior rebanho e segundo maior exportador de carne bovina do mundo, representando 22,7% do plantel e 17,9% do total de exportações mundiais, conforme tabelas 1 e 2 (USDA, 2018).

Tabela 1: Rebanho bovino + bubalino (valores em 1.000 cabeças).

País	2013		2014		2015		2016		2017	
	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)
Índia	299.606	29,8	300.600	29,8	301.100	30,7	302.600	30,6	303.600	30,5
Brasil	203.273	20,2	207.959	20,6	213.035	21,7	219.180	22,1	226.045	22,7
China	103.434	10,2	103.000	10,2	100.450	10,2	100.275	10,1	99.173	9,9
EUA	90.095	8,9	88.526	8,7	89.143	9,1	91.918	9,3	93.585	9,4
U.E	87.106	8,6	87.619	8,6	88.406	9,0	89.152	9,0	89.078	8,9
Argentina	51.095	5,0	51.545	5,1	51.545	5,2	52.565	5,3	53.515	5,3
Austrália	28.418	2,8	29.291	2,9	29.102	2,9	27.413	2,7	24.971	2,5
Total	1.005.290		1.008.572		979.639		988.527		995.199	

Fonte: USDA (2018), com adaptações.

Nota: U.E.: União Europeia.

Tabela 2: Exportações de gado bovino + bubalino (valores em 1.000 Toneladas Equivalente Carcaça – TEC)

País	2013		2014		2015		2016		2017	
	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)	Qtd	Part (%)
Índia	1.881	20,3	2.082	20,8	1.806	18,9	1.764	18,7	1.825	18,6
Brasil	1.849	20,0	1.909	19,1	1.705	17,8	1.698	18,0	1.760	17,9
Austrália	1.593	17,2	1.851	18,5	1.854	19,4	1.480	15,7	1.450	14,8
EUA	1.174	12,7	1.167	11,6	1.028	10,7	1.159	12,3	1.285	13,1
N. Zelândia	529	5,7	579	5,7	639	6,6	587	6,2	570	5,8
Canadá	333	3,6	380	3,8	398	4,1	443	4,7	475	4,8
U. E.	244	2,6	301	3,0	303	3,1	344	3,6	400	4,0
Total	9.239		9.997		9.545		9.422		9.791	

Fonte: USDA (2018), com adaptações.

Nota: U.E.: União Europeia.

Segundo a Pesquisa Trimestral do Abate de Animais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil abateu em 2018 mais de 32 milhões de cabeças de gado bovino, conforme gráfico 1 (IBGE, 2019).

Gráfico 1: Quantidade de bovinos abatidos, em valores de mil cabeças

Fonte: IBGE (2019), Pesquisa Trimestral do Abate de Animais.

Se por um lado a atividade pecuária tem ganho cada vez mais espaço na economia brasileira, por outro tem se delimitado como importante atividade poluidora, em especial o abate e a industrialização de carnes.

Caixeta, Cammarota e Xavier (2002), em revisão da literatura sobre o tema, reuniram estudos que estimam o consumo de 1.000 a 8.300 litros de água por animal abatido. Em consulta a fabricantes e técnicos de equipamentos frigoríficos, Scarassati

et al. (2003) estimaram o consumo de 2.500 litros de água para cada cabeça de gado abatida:

- 900 litros: sala de matança;
- 1.000 litros: demais dependências, como bucharia, triparia, miúdos e sanitários;
- 600 litros: lavagem de pátios, currais e caminhões.

Cammarota e Freire (2006) assinalaram a geração de 0,4 a 3,1 m³ de ARF por animal abatido. Já Caixeta, Cammarota e Xavier (2002) apontaram, em estudo de caso realizado, a produção de 0,9 a 1,4 m³ de resíduo por cabeça abatida, cuja carga orgânica é altamente poluidora, com Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) variando de 1.300 a 2.300 mg/L⁻¹. Entretanto, esse resíduo possui características favoráveis à biodigestão anaeróbia, que permite a redução do potencial poluidor, além da produção de energia a partir do metano do biogás. Feroldi et al. (2014) identificaram a possibilidade de geração de até 0,36 kWh por animal abatido.

Desse modo, o foco de estudo será analisar a viabilidade do aproveitamento de ARF para a geração de energia a partir da decomposição biológica anaeróbica.

1.1 Problema de pesquisa

A fim de delimitar-se o campo do problema em análise, faz-se necessário especificar, por meio de pergunta, o campo do estudo, como entendem Sampieri, Collado e Lucio (2014). A questão chama a atenção do pesquisador para as informações necessárias (GIL, 2008), e determina a relevância dos temas que surgirão quando da coleta de dados (MALHOTRA, 2010).

A questão de pesquisa do presente projeto é: Quais as variáveis relevantes à determinação de viabilidade do aproveitamento de água residuária de frigorífico bovino para a geração de energia?

1.2 Objetivos

O objetivo geral é identificar as variáveis relevantes à determinação da viabilidade do aproveitamento de ARF para geração de energia, construindo-se um modelo teórico que auxilie na tomada de decisão sobre a implementação de sistemas daquela natureza.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar sistemas de tratamento biológico de águas residuárias com produção de biogás;
- Construir um modelo teórico de apoio à tomada de decisão.

1.3 Justificativa

Em setembro de 2015, líderes mundiais elaboraram plano de erradicação da pobreza, de proteção dos recursos naturais e de garantia da paz e da prosperidade (PNUD, 2015). Esse esforço foi sintetizado na Agenda 2030 e materializado em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, que estimulam ações em áreas estratégicas para os próximos 15 anos:

Pessoas: estamos determinados a acabar com a pobreza e a fome, em todas as suas formas e dimensões, e garantir que todos os seres humanos possam realizar o seu potencial em matéria de dignidade e igualdade, em um ambiente saudável;

Planeta: estamos determinados a proteger o planeta da degradação, incluindo por meio do consumo e da produção sustentáveis, da gestão sustentável dos seus recursos naturais e de medidas urgentes para combater a mudança do clima, para que possa atender as necessidades das gerações presentes e futuras;

Prosperidade: estamos determinados a assegurar que todos os seres humanos possam desfrutar de uma vida próspera e de plena realização pessoal, e que o progresso econômico, social e tecnológico ocorra em harmonia com a natureza;

Paz: estamos determinados a promover sociedades pacíficas, justas e inclusivas, livres do medo e da violência. Não pode haver desenvolvimento sustentável sem paz, e não há paz sem desenvolvimento sustentável;

Parceria: estamos determinados a mobilizar os meios necessários para implementar esta Agenda por meio de uma Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável revitalizada, com base no espírito de solidariedade global fortalecida, com ênfase especial nas necessidades dos mais pobres e mais vulneráveis e com a participação de todos os países, todas os grupos interessados e todas as pessoas. (PNUD, 2015, p. 1-2)

O objetivo 7 é alusivo à energia: “Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos” (PNUD, 2015, p. 22), buscando ainda:

7.1 até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia;

7.2 até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global;

7.3 até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética;

7.a até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa;

7.b até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países de menor desenvolvimento relativo, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio (PNUD, 2015, p. 22),

No Brasil, a Lei 9.433 de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997a), que se baseia nos seguintes fundamentos (artigo 1º):

- I – a água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. (BRASIL, 1997a).

A Resolução Conama 357 de 2005 separou os corpos de água em doce, salobra e salina, classificando-os em treze classes de qualidade (CONAMA, 2005). Para essa resolução, eventuais interações entre substâncias não devem conferir características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida.

Já Resolução Conama 430 de 2011 obriga que:

Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. (CONAMA, 2011)

Ela resolução estabeleceu padrões que as fontes poluidoras devem atender para serem lançados no corpo receptor, conforme quadro 1.

Quadro 1: Resolução Conama 430 – Padrões de Lançamento de Efluentes

Parâmetro	Limite
pH	$5 \leq \text{pH} \leq 9$
Temperatura	$< 40^{\circ}\text{C}$
Variação de Temperatura	$< 3^{\circ}\text{C}$
Materiais Sedimentáveis	$\leq 1 \text{ mL/L}$
Vazão Máxima	$\leq 1,5$ vez a vazão média
Óleos Minerais	$\leq 20 \text{ mg/L}$
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	$\leq 50 \text{ mg/L}$
Materiais Flutuantes	Ausência
DBO (5 dias a 20°C)	remoção mínima de 60% da DBO

Fonte: elaborado pelo autor com dados de CONAMA (2011).

Dessa forma, atender a legislação ambiental quanto ao tratamento dos efluentes de frigoríficos bovinos e com isso gerar energia pode ser uma importante forma de preservar recursos naturais e garantir segurança energética, guiando o país na busca dos objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

1.3.1 Relevância do estudo

Em conclusão à justificação, vale comentar acerca da relevância do presente trabalho.

No mundo, a maioria das pesquisas sobre ARF são relacionadas às diversas técnicas para biodigestão anaeróbia e nas alternativas de tratamento disponíveis, sendo em geral focadas em escala de laboratório dentro do campo da Engenharia Química. Existe significativa lacuna teórica sobre o estudo de seu aproveitamento energético, em especial no Brasil. Por outro lado, na Administração, os estudos de viabilidade de biodigestão anaeróbia contemplam o aproveitamento de outros tipos de biomassas, tais como bagaço de cana, esterco e demais resíduos sólidos.

Dessa forma, é inquestionável que esse trabalho também terá utilidade gerencial aplicada, já que permitirá, no futuro, a construção de modelo que analisará a viabilidade de instalação de sistemas de aproveitamento energético de ARF no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é apresentada a evolução do conceito de sustentabilidade e como as atividades empresariais têm desafios e oportunidades com ele. Na sequência, são descritos o mercado de energia no Brasil e evidenciada a necessidade de se usar mais fontes alternativas de energia, em especial as geradas a partir de matéria orgânica. Para tanto, são retratados os principais sistemas de tratamento biológicos anaeróbios e as formas de recuperação energética de biogás. Por fim, são caracterizadas as águas residuárias de frigorífico bovino e seu potencial energético.

2.1 Sustentabilidade: desafios e oportunidades

A sustentabilidade tem emergido como um influente e controverso conceito empresarial e de políticas públicas. É cada vez maior a consciência de que é necessária uma transformação na forma como a sociedade consome recursos naturais, no gerenciamento das questões ambientais e climáticas e na escolha de sua matriz energética (HALL; DANEKE; LENOX, 2010).

Wu (2013) ensina que a primeira menção à palavra “sustentabilidade” foi em 1907 para indicar objeção legal. Ele afirma que foi somente a partir de década de 1970 que ela passou a ser empregada com o seu significado contemporâneo de “sustentar” ou “ser sustentado” (WU, 2013). Para ele, o crescimento populacional, o aumento do consumo de recursos naturais e a deterioração generalizada das condições ecológicas fizeram com que o termo se popularizasse rapidamente desde então (WU, 2013).

A partir da preocupação com o uso sustentável do recursos naturais do planeta, a Organização das Nações Unidas (ONU) convocou, em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano em Estocolmo, na Suécia (UNFCCC, 2018).

Nesta conferência, a primeira ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland apresentou seu célebre relatório, depois chamado de relatório Brundtland, que definiu desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades da geração presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, pg. 46). O quadro 2 resume a evolução das iniciativas globais em busca da sustentabilidade (UNFCCC, 2018).

Quadro 2: Evolução das iniciativas globais de sustentabilidade

Ano	Evento	Contribuição
1979	1ª WCC - Genebra, Suíça	Primeiro grande encontro internacional sobre mudanças climáticas. Teve a participação de cientistas de várias áreas do conhecimento, que buscaram analisar os dados sobre o clima e iniciar estudos sobre o tema
1988 e 1990	IPCC e 2ª WCC - Genebra, Suíça	Com a criação do IPCC, foi feita uma grande revisão científica sobre as mudanças climáticas, seus impactos e possíveis estratégias de resposta. Em 1990, foi realizada a 2ª WCC e elaborado o 1º relatório do IPCC, iniciando as negociações para um acordo global sobre alterações climáticas
1992	CNUMAD - Rio de Janeiro, Brasil	Na Rio 92, o relatório Brundtland completou 20 anos e foi criada a UNFCCC. Mais de 170 países endossaram os princípios fundamentais de um programa de ação na busca do desenvolvimento sustentável
1995	1ª COP - Berlim, Alemanha	Na 1ª COP chegou-se ao consenso de que deveria haver ações mais enfáticas para a mitigação dos GEE e que os países desenvolvidos deveriam tomar a iniciativa de reduzir suas próprias emissões
1997	Protocolo de Kyoto	Proposta de redução de até 5% com base nos níveis de 1990 de emissão de GEE em um período de cinco anos (2008 a 2012, primeiro período do compromisso). Os objetivos de redução não foram estabelecidos de maneira homogênea, colocando níveis diferentes para os 38 países que mais emitiam gases. As nações em desenvolvimento, como Brasil e Índia, não receberam metas de redução
2001 e 2005	3º Relatório e IPCC	Em 2001, Relatório detalhou as regras de implantação do Protocolo de Kyoto, criou novos instrumentos de financiamento e estabeleceu um quadro de referência para transferência de tecnologia limpa. Em 2005, com a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, os países iniciaram suas ações de redução de emissão
2007	COP 13 - Bali, Indonésia	Na COP 13 foi criado o Roteiro de Bali (Bali Road Map), que definiu as bases de negociação para o estabelecimento de um novo acordo para substituir o Protocolo de Kyoto
2009	COP 15 e Acordo de Copenhagen	A COP 15 reconheceu que a mudança climática é um dos maiores desafios mundiais. O acordo estabeleceu ações para serem tomadas para conter o aquecimento global. Não continha, entretanto, compromissos vinculantes juridicamente
2011 e 2013	Plataforma Durban e COP 19 - Varsóvia, Polônia	A Plataforma de Durban teve como objetivo substituir o Protocolo de Kyoto. Na COP 19, realizada em 2013 em Varsóvia, Polônia, foi aprovado mecanismo que forçava os países ricos a financiarem países vulneráveis que mais sofrem com as mudanças climáticas
2015	COP 21 - Paris, França e Acordo de Paris	Na COP 21 foi criado fundo financiamento de US\$ 100 bilhões por ano para dar lastro a iniciativas sustentáveis. O acordo criou, ainda, metas para manter o aquecimento global abaixo de 2°C, buscando limitá-lo a 1,5°C, com revisão a cada cinco anos
2017	COP 23 - Bonn, Alemanha	Para tentar tangibilizar as iniciativas de implantar o Acordo de Paris, a COP 23 criou o "livro de regras"

Fonte: adaptado de (UNFCCC, 2018). Notas: (*World Climate Conference, WCC*) – Conferência Mundial do Clima; (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas; (Cnumad - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento); (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima; COP - Conferência das Partes; *Greenhouse Gases* - Gases de Efeito Estufa; *Durban Platform for Enhanced Action* - Plataforma Durban.

Como se vê nesse rápido retrospecto, o esforço dos países em busca da sustentabilidade é complexo e desafiador. Wu (2013) ressalta que esse conceito é dinâmico e implica a noção que todos os sistemas naturais têm limites e que o ser humano deve viver dentro deles. Ele reforça ainda o aspecto intergeracional de equilíbrio entre as necessidades materiais do presente contra a disponibilidade desses recursos no futuro (WU, 2013).

Etzion (2007), ao analisar o desempenho ambiental de empresas, distingue dois tipos diferentes de características relevantes: ele chama de atributos estratégicos (*strategic attributes*) aqueles que podem ser conscientemente gerenciados pela organização para o atingimento de um desempenho superior. Nesse grupo estão incluídos inovação (*innovation*), envolvimento dos funcionários (*workforce perceptions*), integração das percepções dos vários *stakeholders* (*integration of multistakeholder perceptions*) e conhecimento e fluxo de informação (*knowledge and information flow*) (ETZION, 2007).

Para ele, a inovação permite a mudança e o desenvolvimento de novas práticas empresariais que reduzem impactos ambientais (ETZION, 2007). Dentro desse conceito, a forma como os membros da organização percebem essas questões é crucial porque leva a uma modificação de comportamentos individuais e a um engajamento nas ações corporativas. Ao assimilar perspectivas de vários *stakeholders*, é possível que a empresa considere resultados que não são exclusivamente financeiros e de curto prazo. Esse o fluxo dessas informações ao longo da empresa (da sede até às unidades de negócio) é primordial para que haja a transferência de conhecimento e a informação quanto às leis e normas ambientais que devam ser seguidos (ETZION, 2007).

O segundo tipo ele denomina como atributos de contingência (*contingency attributes*), que são aqueles que não são manipulados de maneira direta, sendo exógenos ao desempenho ambiental. Dentre eles estão: tamanho (*size*), abundância (*slack*), P&D (*research & development*) e escopo internacional (*international scope*) (ETZION, 2007).

Para Etzion (2007), tamanho, por si só, não é um fator fundamental para a sustentabilidade de uma empresa. Entretanto, traz uma visibilidade maior, pressionando a organização a aderir a um patamar mínimo de desempenho ambiental. Segundo o autor, as pequenas firmas tendem a ter menos informações e a se preocuparem mais com questões centrais sobre a sua própria sobrevivência

(ETZION, 2007). Em geral, quando o desempenho financeiro é fraco, outras questões ganham importância na pauta dos gerentes, relegando as questões ambientais a um segundo plano. Ele afirma ainda que a inovação, ao mesmo tempo que permite melhorias incrementais de processos, leva também a uma redução do uso de recursos (eficiência) o que, de maneira indireta, também melhora o desempenho ambiental (ETZION, 2007). Ele conclui dizendo que empresas multinacionais tendem a padronizar suas práticas nos países em que atua, buscando respeitar as leis tanto nos países em que produz, como aqueles onde vende (ETZION, 2007).

Hart e Milstein (2003) afirmam que para a maioria das empresas a busca da sustentabilidade continua sendo uma difícil missão de ser conciliada com o aumento do valor para o acionista. Isso pode ser expresso pela figura 1.

Figura 1: Dimensões-chave de valor para o acionista

Fonte: adaptado e traduzido pelo autor de Hart e Milstein (2003).

Para eles, o eixo vertical reflete a dimensão temporal: a gestão do negócio hoje, com a entrega de resultados de curto prazo, precisa ser conciliada com a visão de crescimento futuro (HART; MILSTEIN, 2003). Já o horizontal mostra o desafio de

combinar habilidades e capacidades organizacionais com perspectivas e valores externos.

No quadro 3 são detalhados os conceitos dos autores para cada um dos quadrantes.

Quadro 3: Detalhamento das dimensões-chave de Hart e Milstein 2003

Quadrante	Conceito
Inovação e Reposicionamento	As empresas de hoje devem estar constantemente preocupadas em criar produtos e serviços para o futuro, conciliando o conhecimento e competências tecnológicas necessárias. Para tanto, é imprescindível a busca por inovação e o constante reposicionamento
Padrão de Crescimento e Perspectivas de Futuro	Remete à geração de valor para o acionista. Isto depende da capacidade da empresa em articular uma visão de futuro que envolva um padrão mínimo de crescimento e perspectivas de criar novos produtos e acessar novos clientes e/ou mercados
Custos e Redução de Riscos	O foco é nos aspectos de desempenho interno de curto prazo: custo e redução de risco. Crescimento de resultados trimestrais por meio de corte de despesas e controle de passivos e perdas operacionais são importantes fatores de geração de resultado sustentável
Reputação e Legitimidade	Há duas dimensões de resultado de curto prazo que são externos à empresa: reputação e legitimidade. Os interesses de fornecedores, clientes, reguladores e comunidades, se conciliados, podem levar a uma credibilidade maior, construindo valor aos diversos parceiros

Fonte: elaborado pelo autor com base em Hart e Milstein (2003)

Os autores definem ainda quatro aspectos que estão relacionados à sustentabilidade empresarial (HART; MILSTEIN, 2003):

- Industrialização: o aumento da atividade industrial resultou em um maior consumo de recursos naturais, em especial no uso de combustíveis fósseis, fonte importante de poluição;
- Atuação dos *stakeholders*: a proliferação de ONGs e outras entidades da sociedade civil têm monitorado quase que em tempo real o cumprimento de normas ambientais, dando publicidade a irregularidades por meio de redes sociais;
- Surgimento de novas tecnologias: genética, bioquímica, nanotecnologia, tecnologia da informação e pesquisas em energias renováveis têm o potencial de reduzir drasticamente o impacto ambiental;

- Aumento da população, da pobreza e da desigualdade social: a globalização acentuou esses processos, que podem levar a um consumo desenfreado dos recursos naturais.

Para os pesquisadores, as empresas devem atuar bem simultaneamente em todos os quadrantes, de maneira a maximizar o lucro ao acionista ao longo do tempo (HART; MILSTEIN, 2003). Como essa atuação exige desempenho em múltiplas dimensões, a busca pelo desenvolvimento sustentável, que também é um desafio multidimensional, permite identificar práticas e estratégias que, sendo ambientalmente corretas, também melhoram o desempenho da organização em todos os quadrantes e cria valor de maneira perene (HART; MILSTEIN, 2003).

Na mesma linha, Judge e Douglas (1998) observaram que as empresas têm incluído questões ambientais em seus processos de planejamento estratégico. Segundo eles, devido às crescentes limitações impostas pelas exigências das legislações ambientais em âmbito federal, estadual e municipal, a conformidade ambiental tem sido encarada como fonte adicional de despesa (JUDGE; DOUGLAS, 1998). Os autores destacam a importância das ações de redução de desperdício, em especial de insumos naturais, que impactam diretamente a estrutura de custos (JUDGE; DOUGLAS, 1998). Por outro lado, existem aquelas que têm criado novos produtos e processos para atender ao novo e crescente mercado de economia verde (JUDGE; DOUGLAS, 1998).

Em suma, questões relacionadas com o meio ambiente constituem uma importante fonte de ameaças ou oportunidades. As firmas que têm conseguido se adaptar e reagir melhor a esses desafios são aquelas que reorganizam seus processos para tornar esses aspectos como fontes de vantagem competitiva.

A aparente simplicidade dessa estrutura não deve ser confundida com facilidade de execução. Embora a compreensão dessas relações possa ser de fácil entendimento, a implementação de estratégias e práticas ambientais realmente eficazes é uma tarefa complexa e desafiadora.

Hall, Daneke e Lenox (2010) destacam também o papel do empreendedorismo na superação dos desafios ambientais ao evocar o conceito de destruição criativa de Schumpeter, argumentando que a pressão por sustentabilidade cria falhas de mercado, mas abre novas oportunidades de negócios para aqueles agentes que equacionarem essas questões.

A partir da definição de Brundtland para sustentabilidade, Elkington cunhou o conceito *triple bottom line*, em que são integradas as dimensões meio ambiente, economia e sociedade, conforme pode ser verificado na seguinte figura 2 (HENRIQUES; RICHARDSON, 2004).

Figura 2: Conceito *Triple Bottom Line* (Elkington)

Fonte: Wu (2013, p. 1002).

O grande desafio para as empresas é entender e criar respostas nessas três dimensões de maneira equilibrada. Atender às diversas necessidades requer desenvolvimento econômico (crescimento e aumento da oferta de bens e serviços), inclusão social (proteção dos valores individuais com justiça, equidade e liberdade) e respeito ao meio ambiente e preservação dos recursos naturais (WU, 2013).

Nesse contexto, o uso de ARF para a geração de energia se apresenta como importante alternativa para evitar a poluição do meio ambiente, tem potencial econômico de geração de receitas e pode ser, inclusive, uma relevante fonte de energia renovável para nosso país. Essa iniciativa pode, assim, ser um vetor de promoção de sustentabilidade (econômico, social e ambiental).

2.2 Energias alternativas e o potencial dos resíduos orgânicos

A seguir são destacados os principais ordenamentos jurídicos do mercado de energia brasileira até o estabelecimento do Novo Modelo do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) e apresentados os principais sistemas de tratamento biológico anaeróbio de águas residuárias de frigorífico bovino.

2.2.1 Mercado de energia no Brasil

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011), a partir da crise do petróleo na década de 1970, o governo brasileiro lançou iniciativas para tentar diminuir a dependência da matriz energética brasileira do petróleo. Em 1982, criou o Programa de Mobilização Energética (PME), que reuniu ações de conservação de energia e substituição de derivados do petróleo. Em 1985, instituiu também o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) com o objetivo de integrar as ações de conservação de energia elétrica no país.

De acordo com essa publicação, ainda reflexo dos altos preços internacionais do petróleo, foi lançado, para racionalizar o uso de energia (petróleo e gás natural), o Programa Nacional da Racionalização dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) em 1991. Em 1992, o Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (Inmetro) reestruturou o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos (PROCEL) para exigir requisitos mínimos de eficiência energética e de segurança de equipamentos como refrigeradores, congeladores e condicionadores de ar (MME, 2011).

Na década de 1990, os dispositivos de incentivo aos novos investimentos privados foram aprimorados para garantir a expansão do parque gerador nacional e, assim, acompanhar o crescimento da demanda por energia elétrica. Nesse bojo, estão os seguintes ordenamentos jurídicos:

- Lei nº 9.074, de 1995: criou a figura do Produtor Independente de Energia (PIE), que passou a ter autorização para produzir energia elétrica e comercializá-la, sendo-lhe assegurado o direito de uso das redes de transmissão e distribuição mediante o ressarcimento dos custos envolvidos (BRASIL, 1995);
- Decreto nº 2.003, de 1996: regulamentou a produção de energia elétrica por autoprodutor e produtor independente de energia. A principal diferença entre eles consiste no fato de que o produtor independente recebe autorização para vender parte ou toda a energia elétrica que produz, enquanto o autoprodutor destina a energia elétrica produzida para consumo próprio, podendo, eventualmente, com autorização da ANEEL, comercializar o excedente gerado (BRASIL, 1996);

- Lei nº 9.478, de 1997: instituiu a Política Energética Nacional, cujo objetivo era promover ações para o aproveitamento racional das fontes de energia e instituir práticas de conservação e uso racional do petróleo e do gás natural (BRASIL, 1997b);
- Decreto nº 2.655, de 1998: regulamentou o Mercado Atacadista de Energia (MAE), permitindo a transferência de energia entre as usinas participantes do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) (BRASIL, 1998a). Dentro desse sistema, uma região que estiver em período de seca pode armazenar água e, por consequência, gerar energia abaixo do esperado e ter seu volume mínimo compensado por outra que, com chuva acima da média, produzir mais do que o exigido (MME, 2011). Para tanto, o MRE realoca contabilmente a energia, mediante compensação financeira, transferindo o excedente daqueles que geraram além da sua garantia física (BRASIL, 1998a);
- Resolução ANEEL nº 112, de 1999: estabeleceu os requisitos necessários à obtenção de registro e autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia (ANEEL, 1999);

Dada a grande dimensão do território nacional e a multiplicidade de fontes de energia no país, foram criados diversos agentes para garantir o bom funcionamento de todo o sistema. Os principais são:

- Ministério das Minas e Energia (MME), responsável pela formulação e implementação da política energética nacional – Lei nº 3.782, de 1960 (BRASIL, 1960);
- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), presidido pelo ministro das Minas e Energia, é o órgão de assessoramento da Presidência da República para assuntos de energia – Lei nº 9.478, de 1997 (BRASIL, 1997b);
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regula a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica e fiscaliza as concessões e os serviços de energia – Lei nº 9.427, de 1996 (BRASIL, 1998b);

- Operador Nacional do Sistema (ONS), responsável pela coordenação e controle das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento das operações dos diversos sistemas do país – Resolução ANEEL nº 328, de 2004 (ANEEL, 2004);
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cuja finalidade é fornecer estudos e pesquisas para subsidiar o planejamento da matriz energética nacional – Lei nº 10.847, de 2004 (BRASIL, 2004a);
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que contabiliza as operações de compra e venda de energia elétrica, registrando e liquidando os contratos firmados e medindo os montantes físicos de energia movimentados pelos agentes – Decreto nº 5.177, de 2004 (BRASIL, 2004b);
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), responsável por acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento de energia elétrica em todo o território nacional – Lei nº 10.848, de 2004 (BRASIL, 2004c);

A partir dos anos 2000, foi implantado o Novo Modelo do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), que resultou na separação das atividades de geração, distribuição, transmissão e comercialização de energia:

- Lei nº 10.295, de 2001 – Lei da Eficiência Energética: principal marco regulatório do país, estimulou o desenvolvimento tecnológico e a preservação ambiental. Estabeleceu, ainda, níveis máximos de consumo e mínimos de eficiência energética (BRASIL, 2001a);
- Decreto nº 4.059, de 2001: regulamentou a Lei de Eficiência Energética e instituiu o Comitê de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), composto por representantes de diversos ministérios (BRASIL, 2001b);
- Lei nº 10.438, de 2002: criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), cujo objetivo é aumentar a participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a

biomassa) na produção de energia elétrica, privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição (ARAÚJO, 2017). Também estabeleceu a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), um encargo setorial pago pelas empresas de distribuição com a finalidade de viabilizar a competitividade da energia elétrica produzida por fontes alternativas (BRASIL, 2002);

- Portaria nº 538, de 2015: criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) para ampliar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores por meio de fontes renováveis, em especial a fotovoltaica (MME, 2015);
- Lei nº 10.848, de 2004: dispôs sobre a comercialização de energia elétrica e formou o arcabouço de regras de comercialização de energia elétrica, definindo dois ambientes de contratação: o Ambiente de Contratação Regulado (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (BRASIL, 2004c). Todos os contratos, sejam do ACR ou do ACL, têm de ser registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (PALOMINO, 2009). No ACL, geradoras, comercializadoras e consumidores negociam livremente a compra, a venda e o preço da energia. Já no ACR, as condições são definidas em leilões promovidos pela CCEE. É citado, pela primeira vez, a figura do Gerador Distribuído (BRASIL, 2004c);
- Resolução ANEEL nº 304, de 2008: regulamentou a contratação e comercialização de reserva de capacidade por autoprodutor ou produtor independente para atendimento a unidade consumidora diretamente conectada às suas instalações de geração (ANEEL, 2008);
- Resolução ANEEL nº 482, de 2012: estabeleceu os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), que são as normas e padrões técnicos relacionados ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica, contemplando a inclusão do acesso de micro e mini geradores distribuídos (ANEEL, 2012; ARAÚJO, 2017). A partir dessa resolução, os diversos sistemas passaram a ser vistos de maneira integrada, ficando garantido ao consumidor o direito de gerar a sua própria energia a partir

de fontes renováveis, como a solar, por exemplo (ANEEL, 2012; ARAÚJO, 2017).

Como visto, o Novo Modelo do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) seguiu uma tendência mundial e desverticalizou toda a cadeia de energia: geração, transmissão, distribuição e comercialização começaram a ser encaradas como negócios completamente diferentes. Geração e comercialização passaram a ocorrer em um ambiente competitivo, enquanto a transmissão e a distribuição continuaram sendo tratadas como serviços públicos regulados (monopólios naturais) (RIBEIRO, 2015). Para tanto, geradores e comercializadores têm a garantia de livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição mediante o pagamento da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição e Transmissão, regulada técnica e economicamente pelo governo (RIBEIRO, 2015).

Da mesma maneira, coexistem hoje dois mercados diferentes de energia: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

No ACR, as aquisições de energia ocorrem por meio de licitações (menor preço) com vendedores (geradores, comercializadores e autoprodutores) e distribuidores celebrando contratos com condições reguladas pela ANEEL. Já no ACL, o consumidor negocia bilateralmente preços e quantidades com o comercializador e/ou gerador de energia (ARAÚJO, 2017; PALOMINO, 2009).

Uma modalidade que vem ganhando espaço é a Geração Distribuída (GD), que é a geração de energia elétrica por fontes voltaicas, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) próxima dos consumidores. As vantagens são a redução de perdas de transmissão e confiabilidade no fornecimento (ARAÚJO, 2017).

A EPE divulgou os dados do último Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018), que indicam a seguinte distribuição da Matriz Energética Brasileira, conforme gráfico 2.

Gráfico 2: Oferta interna de energia elétrica por fonte

Fonte: EPE (2018, p. 16).

Notas: Inclui gás de coqueria, importação de eletricidade, lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2017), organismo científico nacional que reúne, sintetiza e avalia as mudanças climáticas, alerta que, apesar de haver uma participação significativa de fonte hidráulica em nossa matriz energética, nos últimos anos os níveis de chuva abaixo do esperado diminuíram o estoque de água das hidrelétricas. Afirma ainda que, para garantir o fornecimento de energia, têm sido acionadas cada vez mais as usinas termelétricas à base carvão ou petróleo (PBMC, 2017). Esse acionamento tem aumentado a participação do setor de energia no total de emissões de GEE. Ele estimou que em 2014 o setor de energia já respondeu por quase 23% das emissões brutas de CO_{2eq} de todo o país (PBMC, 2017).

A saída para garantir a segurança de fornecimento de energia elétrica para os próximos anos e ao mesmo tempo garantir uma fonte renovável e não poluidora pode ser a bioenergia. Segundo o PBMC (2017, p. 14-15):

A Agência Internacional da Energia (AIE) considera que a bioenergia moderna será uma parte fundamental da solução para limitar o aumento da temperatura média global, em longo prazo, para abaixo de 2°C e pode contribuir para mais de 1,5 bilhões de toneladas de petróleo-equivalente, ou 10% para o consumo final de energia em

2040. A eletricidade gerada a partir da biomassa tem crescido de forma constante desde 2000, atingindo cerca de 430 terawatts-hora (TWh) até 2014, com uma capacidade instalada mundial de 90 gigawatts (GW), o que representa uma elevação de quase 6%, aumentando ano a ano até 2013.

Como o Brasil tem um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, e por consequência um dos maiores parques frigoríficos, o uso de água residuária para a geração de energia pode ser uma relevante fonte de energia renovável para o país, além de poder evitar a poluição dos nossos rios e viabilizar importante fonte de renda.

2.2.2 Biodigestão anaeróbia e sistemas de tratamento de águas residuárias com produção de biogás

Biomassa é todo composto renovável formado por carboidratos, proteínas e lipídios, oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal), que pode ser utilizado para a produção de energia (CENBIO). Para Davis (2011), as bactérias que digerem essas estruturas são classificadas por sua capacidade de utilizar oxigênio nessas reações. Ele ensina que as aeróbias usam oxigênio para realizar os processos de oxidação e síntese, terminando com a respiração endógena, o que produz CO_2 , água e NH_3 (amônia) (DAVIS, 2011). Esclarece também que as anaeróbias não sobrevivem na presença de oxigênio e que as fases de sua digestão são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, o que produz biogás combustível, composto principalmente por CH_4 (metano) e CO_2 (dióxido de carbono) (DAVIS, 2011). Por fim, Davis (2011) indica que os facultativos são aqueles microrganismos que podem ou não usar oxigênio nesses ciclos.

Ele explica ainda que o carbono é o elemento básico para a síntese celular, portanto imprescindível como fonte de energia para as bactérias (DAVIS, 2011). O objetivo no tratamento de águas residuárias é incentivar o crescimento dessas bactérias, que demandarão cada vez mais carbono para continuarem crescendo. Seu crescimento, por consequência, resultará em uma redução da concentração de carbono e, portanto, na redução da carga orgânica (DAVIS, 2011).

Appels et al. (2008) definem biogás como um combustível limpo e ecológico constituído de 55 a 65% de metano, 30 a 40% de dióxido de carbono, partículas de vapor de água, vestígios de ácido sulfídrico e de gás hidrogênio. Segundo eles, o substrato usado como matéria orgânica influencia na proporção de metano gerado e, consequentemente, no seu poder calorífico (APPELS et al., 2008).

O tratamento das altas cargas orgânicas das águas residuárias de frigoríficos é baseado em algum tipo de retenção em lodos bacterianos. Isso é alcançado por algum dos seguintes métodos (RAJESHWARI et al., 2000):

- Formação de agregados de lodo altamente sedimentáveis combinados com separação de gás e de lodo. Usam esse sistema o Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor – UASB*) e o Reator Anaeróbio Compartmentado (Anaerobic Baffled Reactor);
- Fixação bacteriana em materiais de suporte de partículas de alta densidade. Usam esse sistema o Reator de Leito Fluidizado (*Fluidized Bed Reactor*) e o Reator Anaeróbio de Leito Expandido (*Anaerobic Expanded Bed Reactor*);
- Aprisionamento de agregados de lodo entre o material de armazenamento e o reator. Usam esse sistema o Filtro Anaeróbio Descendente (*Downflow Anaerobic Filter*) e o Filtro Anaeróbio Ascendente (UASB).

Rajeshwari et al. (2000) definem os principais reatores usados no tratamento de águas residuárias de frigorífico:

- Reator de Filme Fixo (Fixed Film Reactor): reator estacionário que tem uma estrutura de suporte de biofilme para imobilização de biomassa que pode ser de carvão ativado, PVC, partículas de rochas duras ou anéis de cerâmica. A água residuária é distribuída por cima ou por baixo da estrutura. Reatores de filme fixo oferecem as vantagens de serem construções simples, não terem necessidade de mistura mecânica, terem maior estabilidade com cargas elevadas e capacidade de suportar altas cargas tóxicas e biológicas. Eles podem recuperar sua atividade rapidamente após um período de hibernação. Sua principal limitação é que o volume do reator é relativamente grande se comparado a outros processos de alta carga devido ao grande volume ocupado pelo suporte de biofilme. Outra restrição é o entupimento do reator devido ao aumento na espessura do biofilme e/ou à alta concentração dos sólidos em suspensão da água residuária (RAJESHWARI et al., 2000);
- Reator de Leito Fluidizado (*Fluidized Bed Reactor*): nele o material para fixação e crescimento bacteriano é mantido no estado fluidizado por meio

de forças de arrasto exercidas pelo fluxo ascendente das águas residuais. Os materiais usados podem ser pequenos grãos de areia ou pedaços de carvão ativado. No estado fluidizado, cada estrutura fornece uma grande superfície para a formação e crescimento do biofilme. Isso permite uma alta retenção de biomassa no reator e promove a eficiência e estabilidade do sistema, mesmo com cargas orgânicas elevadas. Essa tecnologia é mais eficiente do que os filtros anaeróbios porque favorece o transporte de células microbianas para a superfície, aumentando, assim, o contato entre os microrganismos e o substrato. Esses reatores têm várias vantagens, dentre elas o não entupimento do leito, pouca perda hidráulica, área de superfície maior e baixo custo de implantação. Entretanto, a reciclagem da água pode ser necessária para alcançar níveis satisfatórios de redução de carga orgânica (RAJESHWARI et al., 2000);

- Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB): consiste basicamente em um separador de gás-sólido (para manter o lodo dentro do reator), um sistema de distribuição de afluentes e equipamentos de extração de efluentes. A reciclagem do efluente (para manter a manta de lodo fluida) não é necessária uma vez que o contato entre a água residuária e o lodo é garantido mesmo com baixas cargas orgânicas no sistema de distribuição afluente. Além disso, comporta taxas de carregamento relativamente altas (de 1 a 4 kgDQO/m³ dia) (RAJESHWARI et al., 2000);
- Reator de Manta de Lodo Granular Expandido (EGSB – *Expanded Granular Sludge Bed*): esse reator, que é uma modificação do UASB, difere deste último devido à maior velocidade ascensional do fluxo. Por conta disso, boa parte da manta de lodo granulado é retida no sistema, resultando na expansão do seu leito. Ainda, o transporte de substrato para os agregados de lodo é muito melhor se comparado com equipamentos cuja intensidade de mistura é menor. Esse aumento de velocidade pode ser obtido por meio de um aumento na relação altura/diâmetro ou pela recirculação do efluente. A taxa de carregamento máximo é ligeiramente maior do que a do UASB, especialmente em ambientes com temperaturas mais baixas (RAJESHWARI et al., 2000).

2.3 Águas residuárias de frigorífico bovino e geração de energia

Estudos revelam que as características físico-químicas e microbiológicas das águas residuárias de frigoríficos bovinos variam de acordo com a água utilizada, o número de cabeças abatidas, as espécies dos animais, os produtos de limpeza e o método utilizados no abate (AFAZELI et al., 2014; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2017; EK et al., 2011; KHALID et al., 2011; LONG et al., 2012; LUOSTARINEN; LUSTE; SILLANPÄÄ, 2009; MORALES, 2007; MOUKAZIS; PELLERA; GIDARAKOS, 2017). Na tabela 3 tem-se um resumo desses principais parâmetros.

Tabela 3: Características químicas de águas residuárias de frigoríficos bovinos (mg/L)

Parâmetro	Borja et al. (1998)	Rajeshwari et al. (2000)	Caixeta, Cammarota e Xavier (2002)	Pacheco e Yamanaka (2006)	Morales (2007)	Bustillo-Lecompte; Mehrvar (2015)	Harris; McCabe (2015)	Bustillo- Lecompte; Mehrvar (2017)
COT	2.000 - 10.000	ND	ND	ND	ND	70 - 1.200	ND	90,41 - 1.694
DBO	6.000 - 60.000	ND	1.300 - 2.300	2.000	1.050 - 2.200	150 - 4.635	1.600 - 3.000	37,95 - 1.339
DQO	10.000 - 41.000	5.200 - 11.400	2.000 - 6.200	4.000	589 - 4.297	500 - 15.900	4.200 - 8.500	87,23 - 2.080
TN	ND	19 - 74	70 - 240	180	ND	50 - 841	114 - 148	161,2 - 254,7
TSS	5.000 - 15.000	570 - 1.690	850 - 6.300	1.600	ND	270 - 6.400	1.300 - 3.400	0,39 - 103,5
Ph	6,4	6,8 - 7,8	6,3 - 6,6	7,2	6,92 - 7,47	4,9 - 8,1	ND	6,8 - 7
TP	0 - 590	7 - 28,30	15 - 40	27	ND	25 - 200	20 - 30	0,257 - 22,98
K	ND	ND	ND	ND	0,09 - 1,58	0,01 - 100	ND	ND

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Borja et al. (1998), Bustillo-Lecompte e Mehrvar (2015, 2017), Caixeta, Cammarota e Xavier (2002), Harris e McCabe (2015), Morales (2007), Pacheco e Yamanaka (2006) e Rajeshwari et al. (2000). Todos os valores são em mg/L. Legenda: COT (Carbono Orgânico Total); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); DQO (Demanda Química de Oxigênio); TN (Total de Nitrogênio); TSS (Total de Sólidos Suspensos); pH; TP (Total de Fósforo); K (Potássio); ND: dados não disponíveis.

No Brasil, o Guia Técnico Ambiental de Abates, publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) divide as unidades de negócio do setor frigorífico da seguinte forma:

- Abatedouros (ou matadouros): realizam o abate dos animais, produzindo carcaças (carne com ossos) e vísceras comestíveis. Algumas unidades também fazem a desossa das carcaças e produzem os chamados “cortes de açougue”, porém não industrializam a carne (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Frigoríficos: podem ser divididos em dois tipos: os que abatem os animais, separam sua carne, suas vísceras e as industrializam, gerando seus derivados e subprodutos, ou seja, fazem todo o processo dos abatedouros/matadouros e também industrializam a carne; e aqueles que não abatem os animais - compram a carne em carcaças ou cortes, bem como vísceras, dos matadouros ou de outros frigoríficos para seu processamento e geração de seus derivados e subprodutos - ou seja, somente industrializam a carne (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Graxarias: processam subprodutos e/ou resíduos dos abatedouros ou frigoríficos e de casas de comercialização de carnes (açougues), como sangue, ossos, cascos, chifres, gorduras, aparas de carne, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária e vísceras não-comestíveis. Seus produtos principais são o sebo ou gordura animal (para a indústria de sabões/sabonetes e para a indústria química) e farinhas de carne e ossos (para rações animais). Há graxarias que também produzem sebo ou gordura e o chamado adubo organo-mineral somente a partir de ossos. Podem ser anexas aos abatedouros e frigoríficos ou unidades de negócio independentes (PACHECO; YAMANAKA, 2006).

Os processos de abate são descritos pela figura 3.

Figura 3: Esquema de abate de bovinos

Fonte: Pacheco e Yamanaka (2006, p. 29)

A sequência de abate é detalhada da seguinte forma (PACHECO, 2006; PACHECO; YAMANAKA, 2006):

- Recepção dos animais: o gado é transportado dos caminhões até os currais de espera. Lá, os animais são inspecionados, separados por lotes e permanecem em repouso e jejum de 16 a 24 horas para se recuperarem da viagem e diminuir seu conteúdo estomacal e intestinal (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Condução e lavagem dos animais: durante a condução dos animais para a sala de abate, eles são lavados com jatos e/ou sprays de água clorada (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Atordoamento: uma marreta pneumática com pino retrátil ou uma pistola é aplicada na parte superior da cabeça dos animais para deixá-los inconscientes. Após esse processo, o animal é pendurado pela traseira. É comum haver vômito nesse momento (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Sangria: após a limpeza do vômito, o animal é conduzido pelo trilho até a calha de sangria, onde são feitos cortes dos grandes vasos sanguíneos do seu pescoço. A sangria pode gerar de 15 a 20 litros de sangue por animal. Logo após, os cifres são cerrados (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Esfola: cortam-se as patas dianteiras antes da remoção do couro para aproveitamento dos mocotós. As traseiras só são removidas depois da retirada do úbere e dos genitais. O ânus e a bexiga são amarrados para evitar a contaminação da carcaça por eventuais excrementos. Após a esfola, o rabo, o útero ou os testículos são manualmente cortados. Em seguida, retira-se a cabeça (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Evisceração: as carcaças são abertas manualmente com facas e serra elétrica. A evisceração envolve a remoção das vísceras abdominais e pélvicas, além do intestino, bexiga e estômago (PACHECO; YAMANAKA, 2006);
- Corte da carcaça: após retiradas as vísceras, a carcaça é serrada longitudinalmente ao meio, seguindo o cordão espinhal (PACHECO; YAMANAKA, 2006);

- Corte e desossa: a desossa é realizada manualmente, com auxílio de facas. As aparas resultantes desta operação são geralmente aproveitadas na produção de derivados de carne. Os ossos e partes não comestíveis são encaminhados às graxarias para serem transformados em sebo, gordura animal industrial ou farinhas para rações (PACHECO; YAMANAKA, 2006).

Os autores classificam, ainda, as águas residuárias do processo de abate de acordo com a presença de sangue entre linha verde e linha vermelha: a linha verde contém os efluentes das áreas de recepção dos animais, os líquidos da lavagem dos caminhões e currais, das áreas de condução, bucharia e triparia; a linha vermelha reúne os resíduos da sangria, da sala de remoção de couro, de evisceração e desossa (PACHECO; YAMANAKA, 2006).

Harris e McCabe (2015), ao analisarem os processos de frigoríficos australianos, estimaram o consumo de 9.800 litros de água e a geração de 8.700 litros de águas residuária na geração de uma tonelada equivalente de carcaça bovina. Bustillo-Lecompte e Mehrvar (2015), ao estudarem frigoríficos canadenses, identificaram o consumo de 2.500 a 40.000 litros de água por tonelada equivalente de carcaça bovina.

No Brasil, Caixeta, Cammarota e Xavier (2002) chegaram a um intervalo de 1.000 a 8.300 litros de água por animal abatido, Scarassati et al. (2003) e Feroldi et al. (2014) calcularam o consumo médio de 2.500 litros, enquanto Pacheco e Yamanaka (2006) contabilizaram um gasto de 500 a 3.864 litros de água por cabeça.

O abate gera ainda de 400 a 3.100 litros de água residuária por animal, segundo Caixeta, Cammarota e Xavier (2002), ou a média de 2.292 litros para Pacheco e Yamanaka (2006).

Por tudo isso, analisar a viabilidade de alternativas que transformem essa ameaça poluidora é importante para preservar o meio ambiente, além de poder se materializar como alternativa à nossa matriz energética nacional.

Entretanto, as grandes concentrações de gordura, óleo e graxa durante o tratamento desses efluentes, se não forem devidamente equacionadas, geram problemas como: redução das taxas de transferência aquosa das células das bactérias, flotação de microrganismos filamentosos, flotação de lodo com pouca atividade bacteriana, entupimento dos reatores, além de odores desagradáveis (HARRIS; MCCABE, 2015; LONG et al., 2012; VALLADÃO et al., 2009, 2011;

VALLADÃO; FREIRE; CAMMAROTA, 2007). Esses transtornos ocorrem por conta do aumento da concentração de amônia (NH_3) e pela formação de ácidos graxos de cadeia longa (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008; JENSEN et al., 2015).

Alguns tratamentos podem ser usados para aumentar a disponibilidade de substrato para as bactérias, intensificar a atividade cinética e a produção de biogás (APPELS et al., 2008; HARRIS; MCCABE, 2015): ultrassonificação; aplicação de micro-ondas e desintegração eletrocinética; hidrólise térmica (150 a 220 °C) (MASSE; KENNEDY; CHOU, 2001); tratamentos oxidativos; tratamento termoquímico; pré-digestão e adição de enzimas e bio-surfactantes. Ek et al. (2011) pesquisaram durante 15 anos uma planta de produção de biogás na Suécia. Lá eles usaram cloreto ferroso, ácido clorídrico e um aditivo chamado KMB1 para evitar os transtornos causados pelas grandes concentrações de gordura, óleo e graxa.

As engenheiras químicas brasileiras Cammarota e Freire (2006) chamam a atenção para o custo que esses tratamentos podem acarretar na produção de biogás. Suas pesquisas têm sido promissoras nas preparações enzimáticas de baixo custo. Seu *pool* de hidrolases (enzimas) é desenvolvido por meio da fermentação em estado sólido do fungo *Penicillium restrictum* em resíduos da indústria de processamento de óleo de babaçu (*Orbignya oleífera*) (VALLADÃO et al., 2011; VALLADÃO; FREIRE; CAMMAROTA, 2007). Também há pesquisas delas com o fungo *Penicillium sp* (VALLADÃO et al., 2009).

Pesquisadores estimaram vários níveis de produção de metano. Ware e Power (2016) estimaram um potencial de $0,05 - 0,65 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}.\text{SV}^{-1}$ para um frigorífico que processa 52.000 cabeças de gado por ano na Irlanda (3,28% do total abatido pelo país em 2013). Jensen et al. (2015), em estudo com duas plantas na Austrália, chegaram a um intervalo de $0,57 - 0,66 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}.\text{SV}^{-1}$. Já Afazeli et al. (2014), em revisão do potencial para frigoríficos iranianos que processam diversos animais, chegaram a uma capacidade de $0,3 - 0,8 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}.\text{SV}^{-1}$. Em estudo brasileiro, Feroldi et al. (2014) identificaram uma possibilidade de geração de $0,27 - 0,50 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}.\text{SV}^{-1}$.

A identificação de variáveis necessárias ao estudo de viabilidade para o aproveitamento de ARF para a geração de energia é o objetivo do presente trabalho.

2.4 Resumo da revisão bibliográfica

O quadro 4 consubstancia a revisão bibliográfica realizada no presente trabalho.

Quadro 4: Quadro de revisão bibliográfica

Tema	Principais apontamentos	Principais autores
Sustentabilidade ambiental	Conceitos, desafios e oportunidades	ETZION, 2007; HALL; DANEKE; LENOX, 2010; HART; MILSTEIN, 2003; HENRIQUES; RICHARDSON, 2004; JUDGE; DOUGLAS, 1998; UNFCCC, 2018; WU, 2013
Mercado de energia no Brasil	Regulamentação jurídica, planos e políticas	ANEEL, 2012; ARAÚJO, 2017; BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, 2011; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018; PBMC, 2017; PALOMINO, 2009; RIBEIRO, 2015
Biodigestão anaeróbia	Conceitos e definições	DAVIS, 2011
Sistemas de tratamento de águas residuárias	Definição de biogás. Tipos de tratamentos	APPELS et al., 2008; RAJESHWARI et al., 2000
Águas residuárias de frigorífico bovino	Características físico-químicas e microbiológicas	AFAZELI et al., 2014; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2017; EK et al., 2011; KHALID et al., 2011; LONG et al., 2012; LUOSTARINEN; LUSTE; SILLANPÄÄ, 2009; MORALES, 2007; MOUKAZIS; PELLERA; GIDARAKOS, 2017
Processos de abate de frigoríficos bovinos	Etapas e principais características	PACHECO; YAMANAKA, 2006
Consumo de água e geração de resíduos durante o abate	Conceitos e definições	CAIXETA; CAMMAROTA; XAVIER, 2002; CHEN; CHENG; CREAMER, 2008; FEROLDI et al., 2014; HARRIS; MCCABE, 2015; HARRIS; SCHMIDT; MCCABE, 2017; JENSEN et al., 2015; PACHECO; YAMANAKA, 2006; SCARASSATI et al., 2003; VALLADÃO et al., 2009, 2011; VALLADÃO; FREIRE; CAMMAROTA, 2007
Soluções de tratamento	Conceitos e definições	AFAZELI et al., 2014; APPELS et al., 2008; CAMMAROTA; FREIRE, 2006; EK et al., 2011; FEROLDI et al., 2014; HARRIS; MCCABE, 2015; MASSE; KENNEDY; CHOU, 2001; VALLADÃO et al., 2009, 2011; VALLADÃO; FREIRE; CAMMAROTA, 2007

Fonte: elaborado pelo autor.

3 METODOLOGIA

Trata-se de pesquisa qualitativa que, como define Flick (2004), usa o texto como material empírico (e não números) e se mostra interessada nas perspectivas dos participantes e de seus conhecimentos relativos à questão em estudo. Esta pesquisa foi desenhada de forma a conter um propósito, contexto conceitual, métodos e validade, todos agrupados ao redor da pergunta de pesquisa (FLICK, 2009a), e combina diferentes fontes, em sistema definido por Cooper e Schindler (2014) como triangulação. São analisados conceitos, leis, trabalhos científicos e questionários aplicados a especialistas, sob diferentes ângulos de visão.

A definição de triangulação é oportunamente trazida por Flick (2009b):

A triangulação implica que os pesquisadores assumam diferentes perspectivas sobre uma questão em estudo ou, de forma mais geral, ao responder a perguntas de pesquisa. Essas perspectivas podem ser substanciadas pelo emprego de vários métodos e/ou em várias abordagens teóricas. Ambas estão e devem estar ligadas. Além disso, refere-se à combinação de diferentes tipos de dados no contexto das perspectivas teóricas que são aplicadas aos dados. (FLICK, 2009b, p. 62)

Flick (2004, p. 237) entende que a triangulação “é utilizada para indicar a combinação de diferentes métodos, grupos de estudo, ambientes locais e temporais e perspectivas teóricas distintas no tratamento de um fenômeno.”

Por ter como objetivo o estudo do uso de ARF para a geração de energia, portanto um problema real, a pesquisa também pode ser classificada como aplicada (CERVO; BERVIAN, 2002; COOPER; SCHINDLER, 2014). É, buscada, também, a caracterização dos sistemas de tratamento biológico necessários para a produção de biogás, além da identificação de alternativas de recuperação energética no mercado brasileiro.

3.1 Coleta de dados

Por meio de revisão bibliográfica foram coletados dados de trabalhos científicos de referência na área, considerada sua contemporaneidade e relevância, face à sua quantidade de citações, a fim de permitir a reunião das variáveis consideradas fundamentais pelos pesquisadores.

O método de levantamento bibliográfico utilizado é o da revisão narrativa, que Rother (2007) define como sendo aquele que busca “descrever e discutir o desenvolvimento ou o ‘estado da arte’ de um determinado assunto, sob ponto de vista

teórico ou contextual”. Segundo ela, esse tipo de pesquisa permite adquirir e atualizar o conhecimento sobre uma temática específica. Dessa forma, é feita busca de artigos nas bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Scielo. Por meio da análise e interpretação crítica desse material (LAKATOS; MARCONI, 2002), pretende-se conhecer os fundamentos do tratamento anaeróbio de águas residuárias, bem como as possibilidades de geração de energia no Brasil.

Dada a complexidade do tema, também foram aplicados questionários a especialistas, para que se pudessem entender as dificuldades operacionais e avaliar a viabilidade dos tratamentos necessários à transformação de água residuária em energia (LAKATOS; MARCONI, 2002).

Os especialistas, de diferentes nacionalidades, foram ouvidos por meio de e-mails. A revisão bibliográfica forneceu subsídios à construção de questionário, que foi enviado aos especialistas.

Foram enviados questionários ao total de 14 pesquisadores brasileiros e 41 pesquisadores internacionais, de diversos países. Como não se obteve autorização expressa para menção a seu nome, não serão identificados os pesquisadores questionados.

Foram contatados pesquisadores nacionais vinculados às seguintes instituições: Embrapa, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia de Bauru (UNESP), Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Rio Grande, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Maringá, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Escola de Engenharia de São Carlos (USP) e Universidade do Vale do Taquari.

Os pesquisadores internacionais contatados são filiados às seguintes instituições: University of Natural Resources and Life Sciences, da Universität für Bodenkultur, Universidade de Buenos Aires, Democritus University of Thrace, Ferdowsi University of Mashhad, Universitat Politècnica de Catalunya, University of Crete, Technical University of Crete, University of Engineering and Technology Peshawar, University of Southern Queensland, Neiker Tecnalia, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, The University of Queensland, Advanced Water Management Centre (The University of Queensland), University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Universiti Malaysia PAHANG, Bioenergy 2020+ GmbH, University of Georgia, DTU Environment, Faculty of Engineering

Lunduniversity, Universidad Tecnológica de La Habana, Beijing University of Chemical Technology, Institute of Agrifood Research and Technology (Government of Catalonia), Tongji University, Linköping University, Universidad de León, The Energy and Resources Institute, Lund University, Chemical Engineering Institutionen för kemiteknik, e Montpellier SupAgro.

Os pesquisadores que, efetivamente, colaboraram com a presente pesquisa foram Pesquisador 1, Pesquisadora 2, Pesquisadora 3, Pesquisador 4 e Pesquisador 5.

A versão em português, do questionário, foi a seguinte:

- 1) Quais são as tecnologias atualmente utilizadas para tratamento de água residuária de frigoríficos (ARF) e que são eficientes na produção de biogás?
- 2) Como as tecnologias de tratamento informadas no item anterior se caracterizam com relação a:
 - a. custos de implementação (construção, instalações, locação da área);
 - b. custos de operação e manutenção (energia elétrica consumida, salários, insumos);
 - c. viabilidade técnica;
 - d. eficiência na remoção de carga orgânica;
 - e. atendimento às normas ambientais previstas pelo CONAMA;
 - f. eficiência na produção de biogás.
- 3) Como as etapas de tratamento de resíduos (primária, secundária, terciária e remoção de patógenos) se aplica ao tratamento de ARF? Existe relevância na sequência dessas etapas de tratamento?
- 4) A ARF deve atender a pré-requisitos físico-químicos a fim de que possa ser degradada pelas tecnologias mencionadas nos itens anteriores? Se sim, quais são essas características físico-químicas?
- 5) Alguns frigoríficos separam os resíduos contaminados com sangue (chamada linha vermelha) dos resíduos sem contaminação com sangue (linha verde). Para a degradação dos resíduos em sistemas de biodigestão anaeróbia é necessária a separação entre as linhas vermelha e verde?

Já a versão traduzida do questionário, enviada aos especialistas internacionais, foi a seguinte:

- 1) *What are the current technologies used to treat cattle slaughterhouse effluents (CSE) that are also efficient on biogas generation?*
- 2) *How do the technologies mentioned in the previous answer are characterized regarding to:*
 - a) *implementation costs (installation, facility building);*
 - b) *operating and maintenance costs (energy consumption, payroll, feedstock, supplies);*
 - c) *technical feasibility;*
 - d) *efficiency on organic matter removal;*
 - e) *efficiency on biogas generation.*
- 3) *How do the effluent treatment stages (primary, secondary and tertiary and pathogen removal) applies to CSE? Is there relevancy in following those treatment stages?*
- 4) *Should CSE meet some physical-chemical prerequisites, so it can be degraded by the technologies mentioned in the previous questions? If so, what are those physical-chemical prerequisites?*
- 5) *Some slaughterhouse plants separate the effluents in two different pipelines (blood-contaminated effluents from blood-free effluents). Is this separation mandatory for the efficiency of the effluent's AD?*

3.2 Análise dos resultados

Colhidos os dados, passou-se à sua análise, tendo sido selecionadas as variáveis de maior impacto, relativas à análise da viabilidade da implementação de sistemas de geração de energia via resíduos de frigoríficos.

As variáveis finais foram compiladas sob a forma de Diagrama de Ishikawa, criado por Kaoru Ishikawa (ISHIKAWA, 1990), também chamado de diagrama de espinha-de-peixe, ou diagrama de causa e efeito.

Diagramas dessa natureza são extremamente eficientes para a análise de problemas com múltiplas e independentes dimensões e, nesses casos, as relações causais entre programas devem ser claras (LI; LEE, 2011). As espinhas-de-peixe podem ser utilizadas como ponto de partida para que se possa decidir quais variáveis devem ser avaliadas e acompanhadas.

Chernikov e Dashitsyrenov (2017) lembram que, tradicionalmente, o Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta relacionada ao controle de qualidade, pois permite uma representação visual da classificação e distribuição de um significativo número de fatores que permitem que se compreenda a relação causal existente entre diferentes, mas interdependentes, processos. Utiliza-se o diagrama, geralmente, para identificar-se os fatores principais que afetam o atingimento de um objetivo (CHERNIKOV; DASHITSYRENOV, 2017; ZHANG et al., 2016).

Entretanto, o diagrama é mais versátil, já que serve a diferentes propósitos, inclusive a análise de viabilidade de um projeto. É o que explicam Ahmad, Ghani e Arshad (2013): quando há dificuldade de se explicar a deficiência de uma taxa de sucesso de um empreendimento, em virtude de diversos fatores que podem contribuir para sua falha, o diagrama mostra-se útil. A análise do diagrama permite, de fato, que se evite a tomada de decisões ruins (AHMAD; GHANI; ARSHAD, 2013); é uma ferramenta de mitigação do risco do investimento.

É fato que, como salientam (LI; LEE, 2011), tais diagramas não preveem a dimensão do tempo como influência do resultado, mas quando utilizados em sistemas que precedem à tomada de decisão, tal deficiência pode ser compensada por meio do estabelecimento de metas e prazos claros, sobre os objetivos que devem ser alcançados no decorrer do projeto.

O diagrama tem o condão de resumir o modelo teórico de análise de viabilidade de aproveitamento energético de ARF construído, a fim de proporcionar uma representação gráfica de todo o processo de tomada de decisão (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2005).

A pesquisa, uma vez valoradas as variáveis expostas no Diagrama de Ishikawa (o que sugere-se a título de continuidade do presente trabalho), dará subsídios à tomada racional de decisão, como definido por Newnan e Levalle (2000), e permitirá à escolha do investimento por meio da adoção de critérios como Minimax (escolha da ação que tenha a menor perda máxima) ou de Bayes (minimização da perda esperada) (HILLIER; LIEBERMAN, 1988), por meio de abordagens conservadoras ou otimistas (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2005).

Como investimentos em implantação de sistemas de geração de energia via resíduos de frigoríficos são vultosos, faz-se necessária a tomada de decisão que seja ótima a viabilizar financeiramente o empreendimento (CLEMEN; REILLY, 2014) e, como referido tipo de resultado não é alcançado intuitiva ou automaticamente, como

lembram Bazerman e Moore (2013), faz-se necessária a adoção de ferramentas de suporte, como a proposta ao final da presente pesquisa.

4 RESULTADOS

A seguir estão dispostos os resultados da pesquisa realizada.

4.1 Revisão bibliográfica

De recente e consolidada produção científica acerca da viabilidade técnica e financeira do aproveitamento de água residuária de frigorífico para a geração de energia, foram extraídos os entendimentos e constatações dos autores transcritos na sequência.

- a) Martí-Herrero, Alvarez e Flores (2018): a digestão anaeróbia é a melhor estratégia de aproveitamento energético e de recuperação de nutrientes das ARF, com capacidade de redução de GEE da ordem de 20%; da digestão aproveita-se biogás e fertilizante, proveniente da mineralização da matéria orgânica; os diferentes tipos de resíduos provenientes dos frigoríficos (conteúdo estomacal, esterco, sangue, gordura etc.) podem ser separados por meio de pré-tratamento específico; as características das ARF diferem entre cada abatedouro e depende dos procedimentos adotados para gestão dos resíduos; o potencial de geração de biogás via ARF varia conforme as características do resíduo; outras características, como condições de temperatura meso e termofílicas, também influenciam na produção do biogás.
- b) Jensen et al. (2016): a digestão anaeróbia é a tecnologia adequada à estabilização da matéria orgânica, que ainda permite a recuperação de energia sob a forma de metano; a viabilidade econômica desse processo depende (i) do potencial de metano, capaz de reduzir os custos de energia do abatedouro, (ii) da fração degradável, ou seja, da redução na quantidade de sólidos finais, que implicará na redução de custos de disposição final de tal resíduo e (iii) da velocidade da digestão, que impacta no tamanho dos digestores e que tem reflexos nos custos de implantação e operação.
- c) Jensen et al. (2014): Identificaram em estudos que a carga orgânica de ARF era de 2 a 4 vezes maior que os índices identificados em literatura anterior, o que foi compensado face à diminuição de uso de água nas plantas, o que não mudou significativamente a carga de nutrientes do

resíduo. Conforme as características da ARF e das tecnologias disponíveis, sugeriram a separação dos resíduos em três linhas: linha vermelha (proveniente dos ambientes de abate e esfolia), linha verde (com conteúdo estomacal e miúdos) e diluída (área de desossa e curral). Sustentam que há poucas opções de tratamento para a linha vermelha, mas afirmam que opções como reatores de membrana anaeróbios, eficientes com resíduos gordurosos, podem ser eficientes. A linha verde pode ser tratada em digestores convencionais para sólidos, enquanto a diluída pode servir de co-substrato, ou mesmo enviada diretamente à irrigação ou à remoção de nitrogênio.

- d) Harris e McCabe (2015): lembram que a ARF tem alta concentração de gordura, óleo e graxa (*fat, oil and grease* – FOG), substâncias ricas em carga orgânica em relação a carboidratos e proteínas, mas que exigem pré-tratamento, a fim de que se possam reduzir problemas comumente causados no processo, como entupimento de tubulações, aderência ao lodo e inibição de transferência de massa dos nutrientes, o que conduz a falhas no sistema de digestão anaeróbia. Defendem a necessidade de diluição dos substratos gordurosos com outros co-substratos.
- e) Rodríguez-Abalde et al. (2019): obtiveram remoção de matéria orgânica, em digestão anaeróbia, com a eliminação de compostos intermediários, por meio da co-digestão de esterco de porco, ARF e glicerina; a adição de glicerina ao processo aumentou a produção de metano em quase três vezes.
- f) Alvarez e Lidén (2008): a digestão dos resíduos misturados numa única linha é possível, mas o processo está sujeito a interrupções e falhas, principalmente em virtude da acumulação de altos níveis de amônia livre, o que resulta na digestão dos componentes proteicos ricos em nitrogênio presentes no sangue. A concentração de amônia capaz de inibir o desenvolvimento das bactérias metanogênicas depende de diversos parâmetros, como origem do inóculo, características do substrato, pH e temperatura. Uma solução a esse problema é a co-digestão da ARF com diferentes co-substratos, o que permite o balanceamento dos nutrientes e o consequente aumento da produção de biogás.

- g) Ware e Power (2016): identificaram alto potencial de recuperação energética quando tratado sob uma única linha, vez que a alta concentração de níveis de gordura contribui para a maior produção de metano. Sua análise mostrou a viabilidade da utilização do biogás em sistemas combinados de geração de energia e calor (CHP), cujo excedente, aproveitado na produção do próprio biogás, torna o sistema autossuficiente.
- h) Battimelli et al. (2010): constataram que pré-tratamentos termoquímicos, como a saponificação a 120°C, melhoram significativamente a biodegradabilidade da ARF, resultando em maior geração de biogás.
- i) Pitk, Kaparaju e Vilu (2012): constataram que os resíduos sólidos provenientes da esfola, de categorias 2 e 3, têm alta concentração de lipídios e proteínas e grande potencial de geração de biometano. Segundo os autores, a digestão anaeróbia dos resíduos provenientes da esfola a seco são capazes de recuperar 4,6 vezes mais energia que a necessária à realização do próprio processo de esfola. Entretanto, a alta concentração de proteínas e lipídios pode inibir a digestão devido à alta concentração de amônia e de ácidos graxos de cadeia longa.
- j) Pitk et al. (2014): a ARF, rica em lipídios e proteínas, é um co-substrato bastante útil para aumentar o volume de biogás na co-digestão de soro de laticínios.
- k) Schmidt et al. (2018): demonstraram que a adição de elementos-traço, na digestão anaeróbia de ARF que operam em temperaturas mesofílicas (Fe, Ni, Co, Mn e Mo), contribui para intensificar a digestão da matéria orgânica, aumentar a produção de biogás, melhorar a estabilização do processo e diminuir o tempo de retenção hidráulica dos reatores.
- l) Nguyen et al. (2019): determinaram que o pico de produção de metano provém da digestão das carcaças trituradas de animais, no quarto dia de retenção.
- m) Ozturk e Yilmaz (2019): ao estudarem a eficiência de processos de oxidação eletromecânica na digestão de ARF, identificaram que a mineralização total dos compostos orgânicos foi obtida após quatro horas de tratamento, o que, considerando-se os grandes volumes de efluentes

- de um frigorífico, pode tornar impraticável sua realização. Identificaram, ainda, que o eletrólito mais útil na remoção dos contaminantes foi o NaCl.
- n) Al Smadi, Al-Hayek e Abu Hajar (2019): analisaram o tratamento de ARF em reator anaeróbio compartimentado (*anaerobic baffled reactor*), especialmente com relação à influência direta da temperatura no processo. A temperaturas entre 15 e 23°C foram obtidas remoção de 70% de DQO e 33% de sólidos totais, sem produção significativa de biogás; a 40°C obtiveram-se ganhos expressivos na eficiência do processo, passando-se à remoção de 90% de DQO e 44% de sólidos totais, com expressivo aumento na produção de biogás.
- o) Musa et al. (2018): seu estudo avaliou a eficiência da utilização de reatores UASB operando a temperatura mesofílica (35° C). O tempo de retenção hidráulica de um dia foi suficiente para a remoção de mais de 70% de DQO, produzindo biogás com concentração de 89% de metano. O estudo apurou ainda a importância do impacto da taxa de carregamento do reator em sua eficiência e na integridade do ecossistema microbiótico, destacando que o aumento da taxa de carregamento reflete diretamente no incremento da produção de metano.
- p) Mugodo, Magama e Dhavu (2017): identificaram a versatilidade do reator perfeitamente agitado (*continuous stirred-tank reactor* – CSTR) na digestão da ARF. Por conta do excesso de gordura, proteína e sólidos lignocelulósicos, há necessidade de aumento do tempo de retenção do efluente no biodigestor, a fim de que os microrganismos permaneçam mais tempo em contato com a ARF, resultando em aumento da produção de biogás. A alta concentração de proteína causa instabilidade no processo, o que exige a utilização de outros substratos ricos em carbono para a co-digestão, como o estrume. Os reatores CSTR também reclamam constante monitoramento, a fim de evitar-se falha na planta. Os autores lembram que, na Alemanha, esse tipo de reator responde por 90% do total.
- q) Reategui et al. (2017): analisaram a digestão de esterco bovino enriquecido com ARF. Diferentes proporções de cada substrato foram utilizadas, sendo que a combinação mais eficiente testada, na produção de biogás, constituiu-se de 10% de esterco bovino, 20% de conteúdo

estomacal e 70% de sangue e água, com tempo de retenção de 6 dias e temperatura de operação de 39° C.

4.2 Questionários aplicados a especialistas

Os resultados, individualizados por pesquisador que respondeu aos questionamentos, são expostos adiante.

4.2.1 Pesquisador 1

O Pesquisador 1 é Professor titular da University of Natural Resources and Life Sciences, da Universität für Bodenkultur, em Viena, Áustria, e cientista sênior do Instituto de Biotecnologia Ambiental.

É membro da Task 37, da International Energy Agency Bioenergy (IEA), um grupo de trabalho internacional que estuda a digestão anaeróbia de biomassa, incluindo resíduos agrícolas, águas residuárias, resíduos sólidos e resíduos industriais. O grupo foca seus estudos na produção de biogás por meio de referidos substratos para aquecimento, geração de energia, produção de biometano e de biofertilizante. É coautor do livro *Pretreatment of Feedstock for Enhanced Biogas Production*, de 2014 (MONTGOMERY; BOCHMANN, 2014).

Ao questionamento, respondeu:

1) *Quais são as tecnologias atualmente utilizadas para tratamento de água residuária de frigoríficos (ARF) e que são eficientes na produção de biogás?*

R. CSTR, lagoas cobertas, UASB ou EGSB, este último apenas para a porção líquida.

2) *Como as tecnologias de tratamento informadas no item anterior se caracterizam com relação a:*

a) custos de implementação (construção, instalações, locação da área);

R. CSTR: alto custo; lagoa: muito baixo custo; UASB/EGSB: alto custo.

b) custos de operação e manutenção (energia elétrica consumida, salários, insumos);

R. CSTR: baixo custo; lagoa: baixo custo; UASB/EGSB: baixo custo.

c) viabilidade técnica;

R. CSTR, lagoa e UASB/EGSB são tecnologias já estabelecidas, com variedade de oferta de equipamentos no mercado.

d) eficiência na remoção de carga orgânica;

R. CSTR: alta eficiência, dependendo do tempo de retenção; lagoa: baixa eficiência; UASB/EGSB: alta eficiência.

e) eficiência na produção de biogás.

R. CSTR: muito boa, dependendo do tempo de retenção hidráulica; lagoa: ineficiente; UASB/EGSB: o biogás provém apenas da porção líquida do resíduo, e por isso depende da quantidade de DQO.

3) Como as etapas de tratamento de resíduos (primária, secundária, terciária e remoção de patógenos) se aplica ao tratamento de ARF? Existe relevância na sequência dessas etapas de tratamento?

R. Depende diretamente do material utilizado como substrato.

4) A ARF deve atender a pré-requisitos físico-químicos a fim de que possa ser degradada pelas tecnologias mencionadas nos itens anteriores? Se sim, quais são essas características físico-químicas?

R. Dependem muito do equipamento e da linha de resíduos utilizada na digestão.

5) Alguns frigoríficos separam os resíduos contaminados com sangue (chamada linha vermelha) dos resíduos sem contaminação com sangue (linha verde). Para a degradação dos resíduos em sistemas de biodigestão anaeróbia é necessária a separação entre as linhas vermelha e verde?

R. Geralmente não é necessário. Vai depender principalmente da forma de disposição dos resíduos.

4.2.2 Pesquisadora 2

Graduada em Engenharia Química (EQ/UFRJ), Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos (EQ/UFRJ) e Doutora em Bioquímica (IQ/UFRJ), a Professora Pesquisadora 2 é Titular do Departamento de Engenharia Bioquímica da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. É responsável pelo Laboratório de Tecnologia Ambiental da EQ/UFRJ, onde orienta pesquisas sobre

tratamento biológico de efluentes industriais, com ênfase em biorreatores anaeróbios e produção de biogás.

Ao questionamento, respondeu:

1) Quais são as tecnologias atualmente utilizadas para tratamento de água residuária de frigoríficos (ARF) e que são eficientes na produção de biogás?

R. A tecnologia anaeróbia está inserida há algum tempo no setor de alimentos, incluindo os frigoríficos. Neste setor são gerados grandes volumes de efluentes com elevada concentração de matéria orgânica biodegradável, requisito desejável e perfeitamente compatível com a tecnologia anaeróbia. Desconheço outras tecnologias utilizadas, além da anaeróbia.

2) Como as tecnologias de tratamento informadas no item anterior se caracterizam com relação a:

a) custos de implementação (construção, instalações, locação da área);

R. Não saberia te informar com precisão; seria necessário consultar empresas que vendem tecnologia anaeróbia;

b) custos de operação e manutenção (energia elétrica consumida, salários, insumos);

R. Idem à resposta anterior.

c) viabilidade técnica;

R. Totalmente viável, desde que tratamentos anteriores sejam promovidos para a redução da concentração de gordura, antes do biológico anaeróbio;

d) eficiência na remoção de carga orgânica;

R. No mínimo 70% para unidades industriais. Dependendo do controle, pode se atingir eficiências maiores.

e) atendimento às normas ambientais previstas pelo CONAMA;

R. Só com o biológico anaeróbio não é possível. Teria de se acoplar ao anaeróbio algum sistema de pós-tratamento físico-químico ou biológico aeróbio, a fim de que as leis pertinentes sejam respeitadas.

f) eficiência na produção de biogás.

R. Embora não saiba informar dados de unidades industriais, acredito que a eficiência seja boa.

3) Como as etapas de tratamento de resíduos (primária, secundária, terciária e remoção de patógenos) se aplica ao tratamento de ARF? Existe relevância na sequência dessas etapas de tratamento?

R. Este efluente deve passar por etapas de tratamento preliminar e primário anteriores à etapa secundária (biológico anaeróbio), para remoção de sólidos grosseiros, sólidos suspensos e principalmente de gordura (óleos e graxas - O&G).

4) A ARF deve atender a pré-requisitos físico-químicos a fim de que possa ser degradada pelas tecnologias mencionadas nos itens anteriores? Se sim, quais são essas características físico-químicas?

R. Pensando somente no biológico anaeróbio, deve conter basicamente matéria orgânica biodegradável, nitrogênio e fósforo – macronutrientes necessários para a atividade microbiana, e pH em torno do neutro. Deve-se atentar para características indesejáveis, como altas concentrações de sulfato, gordura e salinidade. Na literatura encontram-se fatores ambientais que influenciam a digestão anaeróbia.

5) Alguns frigoríficos separam os resíduos contaminados com sangue (chamada linha vermelha) dos resíduos sem contaminação com sangue (linha verde). Para a degradação dos resíduos em sistemas de biodigestão anaeróbia é necessária a separação entre as linhas vermelha e verde?

R. Acredito que não, a separação é feita somente com fins de aproveitamento do sangue. Para a digestão anaeróbia a corrente com sangue seria fonte de orgânicos e também de nitrogênio e fósforo.

4.2.3 Pesquisadora 3

A Professora Pesquisadora 3 é Licenciada em Economia pela Universidade de Buenos Aires (UBA) e Doutora em Ciências Econômicas pela Faculdade de Ciências Econômicas da UBA. É Professora adjunta na Faculdades de Ciências Econômicas

da UBA e da Universidade de Belgrano e pesquisadora do Conselho Nacional de Investigações Científicas e Técnicas e do Centro de Estudos Urbanos e Regionais.

A Professora esclareceu que não tem conhecimento técnico em digestão anaeróbia, e que sua área de pesquisa envolve a perspectiva econômica de projetos dessa natureza. Em sendo assim, o pesquisador precisou mudar de rumo, e passou a questionar a especialista acerca das variáveis que deveria considerar, no estudo, a fim de poder proceder à análise da viabilidade da recuperação energética da ARF.

Em resposta, Professora Pesquisadora 3 recomendou que, além dos custos tradicionais de implementação de sistemas anaeróbios de digestão, se prestasse atenção às práticas organizacionais dos frigoríficos relativamente à gestão da biomassa de seus resíduos. Essas práticas necessitam estar em conformidade com as legislações ambientais aplicáveis, nos três âmbitos (federal, estadual e municipal).

Segundo ela, é de vital importância que o pesquisador compreenda como é organizada tal atividade, como a biomassa residuária é gerida atualmente, a fim de se identificar quais as mudanças necessárias a serem adotadas pelo frigorífico a fim de que possa obter uma produção eficiente de biogás, e se identificar também os custos de tais mudanças.

Tais custos incluirão despesas operacionais (mais trabalhadores, novos equipamentos) e despesas de investimento, necessárias às novas instalações para tratamento ou armazenamento da biomassa.

De acordo com a Professora, esse aspecto geralmente é negligenciado quando se analisa a viabilidade econômica de projetos de digestão anaeróbia, mas é algo que certamente pode desbalancear a equação.

4.2.4 Pesquisador 4

O professor Pesquisador 4 é titular de cadeira na University of Natural Resources and Life Sciences, da Universität für Bodenkultur, em Viena, Áustria, pesquisador e gerente de projetos no Instituto de Biotecnologia Ambiental e membro do conselho consultivo científico da Associação Austríaca de Gestão de Água e Águas Residuais (ÖWAV).

O Professor esclarece que a tendência do mercado é utilizar-se o máximo possível dos resíduos animais. Como exemplo, ele cita setores complementares ao alimentício, que se aproveitam de couro e ossos. Todo o material restante, que não pode ser comercialmente aproveitado, é útil à produção de energia via digestão

anaeróbia. Como exemplo, o Professor Pesquisador 4 cita uma planta que auxiliou a construir quinze anos atrás. É uma referência em digestão anaeróbia, única da espécie no mundo à época, capaz de utilizar exclusivamente ARF com alta concentração de nitrogênio (NH_4), em trono de 8 a 10 g/L. A planta remove mais de 90% de matéria orgânica, e produz cerca de 330 m³/t de DQO de metano.

A respeito das questões, ele comentou:

1) Quais são as tecnologias atualmente utilizadas para tratamento de água residuária de frigoríficos (ARF) e que são eficientes na produção de biogás?

R. Graxaria é a principal rota de tratamento na Europa. A digestão anaeróbia é uma alternativa.

2) Como as tecnologias de tratamento informadas no item anterior se caracterizam com relação a:

a) custos de implementação (construção, instalações, locação da área);

R. Difícil responder. Depende do foco (geração de calor apenas ou calor e eletricidade) e do tamanho da planta. Porém, pode-se estimar os investimentos de instalação em torno de € 5.000 a € 7.000 por kW de capacidade instalada.

b) custos de operação e manutenção (energia elétrica consumida, salários, insumos);

R. A matéria-prima não deve ter qualquer custo de aquisição, deve provir da própria planta, sem necessidade de custos com logística. O consumo de energia do processo tem peso de cerca de 10 a 20% da energia produzida pelo sistema.

c) viabilidade técnica;

R. Há viabilidade.

d) eficiência na remoção de carga orgânica;

R. Mais de 90%.

e) eficiência na produção de biogás.

R. 330 m³ por tonelada de DQO.

3) Como as etapas de tratamento de resíduos (primária, secundária, terciária e remoção de patógenos) se aplica ao tratamento de ARF? Existe relevância na sequência dessas etapas de tratamento?

R. Há necessidade de pré-tratamentos mecânicos e térmicos.

4) *A ARF deve atender a pré-requisitos físico-químicos a fim de que possa ser degradada pelas tecnologias mencionadas nos itens anteriores? Se sim, quais são essas características físico-químicas?*

R. Na União Europeia há três categorias de risco, sendo a de número 1 a de maior risco, cuja utilização em digestão anaeróbia é terminantemente proibida, o que inclui cérebro e coluna vertebral. As categorias 2 e 3 podem ser utilizadas após pré-tratamento térmico, consistente em: 70°C por uma hora, ou digestão anaeróbia a 55° C, com tempo de retenção mínimo de 5 dias, ou de 133°C por 10 minutos para as substâncias de categoria 2.

5) *Alguns frigoríficos separam os resíduos contaminados com sangue (chamada linha vermelha) dos resíduos sem contaminação com sangue (linha verde). Para a degradação dos resíduos em sistemas de biodigestão anaeróbia é necessária a separação entre as linhas vermelha e verde?*

R. Não é necessária a separação.

4.2.5 Pesquisador 5

Pesquisador 5 é professor no Departamento de Engenharia Ambiental da Democritus University of Thrace, em Xanthi, na Grécia, e pesquisador do Laboratório de Microbiologia da Ghent University, em Gent, Bélgica.

Ele respondeu:

1) *Quais são as tecnologias atualmente utilizadas para tratamento de água residuária de frigoríficos (ARF) e que são eficientes na produção de biogás?*

R. ARF consistem tanto em resíduos líquidos (provenientes dos equipamentos e de lavagem do piso), quanto resíduos sólidos e semissólidos, principalmente de subprodutos animais (de categorias 1, 2 e 3). Esses resíduos líquidos são tratados utilizando-se gradeamento e processos de flotação por ar dissolvido (*dissolved air flotation*, DAF) e por tecnologia de

lodos ativados. Os subprodutos animais são tratados conforme a legislação da União Europeia (incineração, reciclagem ou pasteurização). Após isso, os resíduos podem ser utilizados para a produção de biogás em digestores anaeróbios.

2) Como as tecnologias de tratamento informadas no item anterior se caracterizam com relação a:

2.1: O sistema de DAF combinado com processo de lodos ativados, considerando volume de 600m³ e 25kW de aeradores, tem os seguintes custos:

a) custos de implementação (construção, instalações, locação da área);

R. CAPEX € 300.000

b) custos de operação e manutenção (energia elétrica consumida, salários, insumos);

R. OPEX € 30.000 por ano (dos quais 70% de eletricidade e 20% de gestão de lodo);

c) viabilidade técnica;

R. cumprem com as exigências legais e regulatórias europeias (relativamente a indicadores como DBO, DQO, remoção de N etc.);

d) eficiência na remoção de carga orgânica;

R. 95%.

e) eficiência na produção de biogás.

R. não há produção de biogás.

2.2 Processo de digestão anaeróbia, em tanques de volume de 250 m³ e misturador de potência de 5 a 10 kW, seguido por sistema de lodos ativados com capacidade de 150 m³ e aeradores de 6kW:

a1) custos de implementação (construção, instalações, locação da área);

R. CAPEX € 450.000;

b1) custos de operação e manutenção (energia elétrica consumida, salários, insumos);

R. OPEX € 40.000 (70% para operação e manutenção e 20% para energia elétrica).

c1) viabilidade técnica;

R. Atende às regulamentações governamentais com relação aos indicadores exigidos (DBO, DQO etc.).

d1) eficiência na remoção de carga orgânica;

R. 95%.

e1) eficiência na produção de biogás.

R. 550 m³ por dia, com teor de 70% de metano.

3) Como as etapas de tratamento de resíduos (primária, secundária, terciária e remoção de patógenos) se aplica ao tratamento de ARF? Existe relevância na sequência dessas etapas de tratamento?

R. O gradeamento remove sólidos grosseiros, como pelos etc. DAF promove a separação de gordura, óleo e graxa e sólidos suspensos, que são considerados subprodutos animais. Tratamentos aeróbios ou anaeróbios-aeróbios servem à remoção de matéria orgânica e nitrogênio. Por fim, a cloração (com hipoclorito de sódio) serve à desinfecção do efluente.

4) A ARF deve atender a pré-requisitos físico-químicos a fim de que possa ser degradada pelas tecnologias mencionadas nos itens anteriores? Se sim, quais são essas características físico-químicas?

R. O tratamento aeróbio geralmente é utilizado quando o efluente pré-tratado de frigoríficos possui DQO inferior a 2g/L. Já o tratamento anaeróbio mostra-se interessante quando o DQO é superior a 5 a 7 g/L. Quando há sangue e conteúdo estomacal incluídos nos resíduos, o DQO pode atingir índices de 8 a 10 g/L.

5) Alguns frigoríficos separam os resíduos contaminados com sangue (chamada linha vermelha) dos resíduos sem contaminação com sangue (linha verde). Para a degradação dos resíduos em sistemas de biodigestão anaeróbia é necessária a separação entre as linhas vermelha e verde?

R. Os efluentes contaminados com sangue são caracterizados pela alta concentração de matéria orgânica e são uteis à produção de biogás.

5 DISCUSSÃO

Face ao que foi identificado na pesquisa, compilam-se a seguir as variáveis entendidas como mais relevantes à determinação da viabilidade de implementação de sistemas de aproveitamento energético de ARF.

5.1 Variáveis relevantes selecionadas

Da análise realizada no presente trabalho, exsurtem as variáveis do modelo teórico proposto, que necessitam ser consideradas, a fim de que se possa analisar a viabilidade de implementação de projetos de aproveitamento energético de ARF.

As variáveis podem ser reunidas em três grupos: técnicas (subdivididas em físicas, químicas, tipos de tecnologias, pré-tratamentos e ambientais), econômicas (receita e despesa) e legais. Foram identificados 83 diferentes aspectos que podem influenciar a viabilidade de aproveitamento de ARF, em três categorias e oito subcategorias, a saber:

- Variáveis técnicas:
 - Variáveis físicas:
 - Condições de temperatura (com 4 diferentes características);
 - Variáveis químicas:
 - Características da ARF (4 diferentes características);
 - Quais resíduos entram no processo (analisados sob 10 diferentes ângulos);
 - Tipos de tecnologias:
 - Capacidade de redução do efeito estufa;
 - Tipo do reator (analisado sob 9 diferentes aspectos);
 - Remoção de DQO e sólidos totais (6 itens analisados);
 - Velocidade de digestão e tempo de retenção (5 características analisadas);
 - Tamanho do biodigestor;
 - Taxa de carregamento do reator;
 - Disponibilidade comercial de equipamentos.
 - Pré-tratamentos:

- Pré-tratamentos, substratos e aditivos (subdivididos em 7 subitens);
 - Pré-tratamentos mecânicos e térmicos (2 ângulos analisados).
- Ambientais:
 - Fatores ambientais que interferem na digestão.
- Variáveis econômicas:
 - Receitas:
 - Eficiência na produção de biogás (2 aspectos);
 - Aproveitamento do fertilizante;
 - Potencial de geração de metano (4 itens);
 - Aproveitamento de calor (2 itens analisados);
 - Capacidade instalada.
 - Despesas:
 - Fração degradável;
 - Custos de implantação (analisados sob 5 aspectos);
 - Custos de operação (6 aspectos);
 - Pós-tratamento para atendimento a normas ambientais (4 subitens);
 - Gestão atual de resíduos;
 - Custos de logística;
 - Consumo de energia;
 - Custos de aquisição de matéria-prima.
- Variáveis legais:
 - Atendimento às normas ambientais federais, estaduais e municipais, e de seus órgãos, quando aplicável.

O detalhamento das variáveis, e suas respectivas fontes, consta dos quadros 5 a 12.

São variáveis técnicas:

a) físicas: estão relacionadas às condições de temperatura, pois a mesma influencia diretamente na eficiência de remoção de DQO (quadro 5).

Quadro 5: variáveis técnicas físicas.

Variável	Características	Fonte
Condições de temperatura	Temperaturas mesofílicas ou termofílicas.	MARTÍ-HERRERO; ALVAREZ; FLORES, 2018
	Adição de elementos-traço em sistemas mesofílicos.	SCHMIDT et al., 2018
	Aumento de eficiência na remoção de DQO e produção de biogás a 40° C.	AL SMADI; AL-HAYEK; ABU HAJAR, 2019
	Eficiência a temperatura mesofílica (35°C).	MUSA et al., 2018

Fonte: elaborado pelo autor.

b) químicas: compõem as características da ARF e quais os resíduos que entram no processo (quadro 6).

Quadro 6: variáveis técnicas químicas.

Variável	Características	Fonte
Características da ARF	Características do resíduo varia de planta para planta e influencia na eficiência.	MARTÍ-HERRERO; ALVAREZ; FLORES, 2018
	Mistura de linhas, concentração de amônia livre no resíduo.	ALVAREZ; LIDÉN, 2008
	Alta concentração de matéria orgânica. Resíduos devem estar livres de gordura (óleos e graxas), sulfato e salinidade.	Pesquisadora 2
	Pré-tratamento para remoção de sólidos e gordura. Sangue e conteúdo estomacal aumentam DQO e permitem melhor aproveitamento energético.	Pesquisador 5
Quais resíduos entram no processo	Separação dos resíduos (conteúdo estomacal, esterco, sangue, gordura etc.) por pré-tratamento específico.	MARTÍ-HERRERO; ALVAREZ; FLORES, 2018
	Tratamentos diferentes para cada uma das linhas separadas: vermelha, verde e diluída.	JENSEN et al., 2014
	Única linha possível, mas sujeita a interrupções e falhas. Recomendada co-digestão.	ALVAREZ; LIDÉN, 2008
	Tratamento em linha única. Alta concentração de gordura contribui para metano.	WARE; POWER, 2016
	Resíduos de esfolia têm grande potencial de metano. Proteínas e lipídios atrapalham digestão.	PITK; KAPARAJU; VILU, 2012
	Carcaças com alto potencial de metano.	NGUYEN et al., 2019
	EGSB útil para porção líquida. Diferentes tratamentos para diferentes linhas.	Pesquisador 1
	Pré-tratamento para remoção de gordura, sólidos grosseiros e suspensos. Resíduo deve conter matéria orgânica, N e P e pH neutro.	Pesquisadora 2
	Alta concentração de NH ₄ no resíduo. Necessários pré-tratamentos mecânicos e térmicos. Proibição de digestão de elementos de risco, como cérebro e coluna vertebral.	Pesquisador 4
	Flotação por ar dissolvido no tratamento dos líquidos. Gradeamento, separação de gordura, óleo e graxa. DQO deve ser superior a 5 a 7 g/L.	Pesquisador 5

Fonte: elaborado pelo autor.

c) tipos de tecnologias: referem-se às características do sistema, como capacidade de redução do efeito estufa, tipo do reator utilizado, eficiência de remoção de DQO, velocidade de digestão, tamanho do biodigestor, taxa de carregamento e disponibilidade comercial (quadro 7).

Quadro 7: variáveis de tipos de tecnologias.

Variável	Características	Fonte
Capacidade de redução do efeito estufa	Digestão anaeróbia é melhor estratégia. Capaz de reduzir em 20% emissões.	MARTÍ-HERRERO; ALVAREZ; FLORES, 2018
Tipo do reator	Digestão de resíduos de esfolia a seco.	PITK; KAPARAJU; VILU, 2012
	ARF como co-substrato para laticínios.	PITK et al., 2014
	Adição de elementos-traço na digestão mesofílica.	SCHMIDT et al., 2018
	Oxidação eletromecânica.	OZTURK; YILMAZ, 2019
	Utilização de ABR.	AL SMADI; AL-HAYEK; ABU HAJAR, 2019
	Utilização de UASB em digestão mesofílica.	MUSA et al., 2018
	Utilização de CSTR.	MUGODO; MAGAMA; DHAVU, 2017
	Lagoas cobertas, UASB e EGSB.	Pesquisador 1
	Lodos ativados e DAF.	Pesquisador 5
Remoção de DQO / sólidos totais	90% de DQO e 44% de sólidos totais, a 40° C.	AL SMADI; AL-HAYEK; ABU HAJAR, 2019
	70% de DQO, a 35° C.	MUSA et al., 2018
	CSTR, UASB e EGSB têm alta eficiência na remoção. Lagoa tem baixa eficiência.	Pesquisador 1
	Mínimo de 70%.	Pesquisadora 2
	Mais de 90%.	Pesquisador 4
	95%.	Pesquisador 5
Velocidade de digestão/tempo de detenção hidráulica	Impacta no tamanho dos digestores e nos custos de implantação e operação.	JENSEN et al., 2016
	Necessidade de co-digestão com outros substratos para diminuição de tempo.	ALVAREZ; LIDÉN, 2008
	Elementos-traço adicionados diminuem o tempo de detenção.	SCHMIDT et al., 2018
	Pico de digestão no quarto dia.	NGUYEN et al., 2019
	Mineralização total em quatro horas.	OZTURK; YILMAZ, 2019
Tamanho do biodigestor	Influenciado pelo potencial de metano, fração degradável e velocidade de digestão.	JENSEN et al., 2016
Taxa de carregamento do reator	Aumento da taxa incrementa produção de metano e afeta integridade dos microrganismos.	MUSA et al., 2018
Viabilidade técnica (disponibilidade de fornecedores de equipamentos)	CSTR, lagoa e UASB/EGSB têm variedade de oferta de equipamentos no mercado.	Pesquisador 1

Fonte: elaborado pelo autor.

d) pré-tratamentos: estão relacionados aos procedimentos prévios necessários à preparação da ARF para biodigestão (quadro 8).

Quadro 8: variáveis técnicas referentes a pré-tratamentos.

Variável	Características	Fonte
Pré-tratamentos, substratos e aditivos	Diluição dos substratos gordurosos para redução de entupimento, aderência ao lodo e inibição de transferência de massa dos nutrientes.	HARRIS; MCCABE, 2015
	Co-digestão de esterco de porco, ARF e glicerina.	RODRÍGUEZ-ABALDE et al., 2019
	Co-digestão da ARF com diferentes co-substratos.	ALVAREZ; LIDÉN, 2008
	Saponificação a 120°C melhora biodegradabilidade.	BATTIMELLI et al., 2010
	Esterco bovino enriquecido com ARF (conteúdo estomacal, sangue e água).	REATEGUI et al., 2017
	Sequência de etapas de tratamento depende do substrato.	Pesquisador 1
	Remoção da gordura, sólidos suspensos e grosseiros, antes do processo anaeróbio.	Pesquisadora 2
Pré-tratamentos mecânicos e térmicos	Necessidade de pré-tratamentos mecânicos e térmicos anteriores à digestão.	Pesquisador 4
	Gradeamento e DAF, para remoção de gordura e sólidos suspensos.	Pesquisador 5

Fonte: elaborado pelo autor.

e) ambientais: consideram questões ambientais que influenciam na digestão anaeróbia (quadro 9).

Quadro 9: variáveis técnicas ambientais.

Variável	Características	Fonte
Fatores ambientais que interferem na digestão anaeróbia	Diversos fatores ambientais que influenciam a eficiência da digestão.	Pesquisadora 2

Fonte: elaborado pelo autor.

São variáveis econômicas:

a) receitas: são itens que influenciam na eficiência da produção do biogás, aproveitamento do digestato e do calor, potencial de geração de gás e capacidade do sistema (quadro 10).

Quadro 10: variáveis econômicas relativas a receitas.

Variável	Características	Fonte
Eficiência na produção do biogás	Variação conforme características da ARF, tipos de resíduos, substratos e pré-tratamentos.	MARTÍ-HERRERO; ALVAREZ; FLORES, 2018
	Parâmetros aproximados de 330 m3 por tonelada de DQO.	Pesquisador 4
Aproveitamento do fertilizante	Digestato da digestão anaeróbia, resultado da mineralização da matéria orgânica, é útil como fertilizante.	MARTÍ-HERRERO; ALVAREZ; FLORES, 2018
Potencial de geração de metano	Variação influencia na viabilidade econômica do processo.	JENSEN et al., 2016
	Tratamento em linha única e alta concentração de gordura potencializa produção de metano.	WARE; POWER, 2016
	Varia conforme combinação entre características da ARF, tipo de digestor e tempo e retenção hidráulica.	Pesquisador 1
	Conteúdo orgânico biodegradável, macronutrientes e pH específicos determinam a produção.	Pesquisadora 2
Aproveitamento de calor	Utilização em sistemas combinados de energia e calor (CHP), este reaproveitado na digestão.	WARE; POWER, 2016
	Co-geração influencia tanto no custo de instalação quanto no operacional.	Pesquisador 4
Capacidade instalada	Capacidade e potência do conjunto gerador instalado.	Pesquisador 4

Fonte: elaborado pelo autor.

b) despesas: são variáveis que têm influência direta com os valores monetários que necessitarão ser desembolsados, a fim de que se possa implementar o sistema de aproveitamento energético (quadro 11).

Quadro 11: variáveis econômicas relativas a despesas.

Variável	Características	Fonte
Fração degradável	Redução na quantidade de sólidos finais, que reduz custo de disposição final de resíduos.	JENSEN et al., 2016
Custos de implantação	Velocidade da digestão impacta nos custos de implantação.	JENSEN et al., 2016
	Alto custo para CSTR, UASB e EGSB, baixo custo para lagoa.	Pesquisador 1
	Mais trabalhadores, novos equipamentos, instalações, armazenamento de biomassa.	Pesquisadora 3
	Em torno de € 5.000 a € 7.000 por kWh de capacidade instalada.	Pesquisador 4
	Construções civis, instalações e locação de área.	Pesquisador 5
Custos de operação	Velocidade da digestão impacta nos custos de operação.	JENSEN et al., 2016
	Taxa de carregamento impacta no custo de operação.	MUSA et al., 2018
	Baixo custo para CSTR, UASB, EGSB e lagoa.	Pesquisador 1
	Energia elétrica, salários, insumos.	Pesquisadora 2
	Custos adicionais de disposição de biomassa final.	Pesquisadora 3
	Energia elétrica e gestão final do lodo.	Pesquisador 5
Pós-tratamento para atendimento das normas ambientais	Necessário pós-tratamento físico-químico ou biológico aeróbio.	Pesquisadora 2
	Pós-tratamento necessário.	Pesquisadora 3
	Tratamentos necessários, com alguns tipos de resíduos proibidos de participarem do processo.	Pesquisador 4
	Incineração, reciclagem ou pasteurização.	Pesquisador 5
Gestão atual de resíduos pelos frigoríficos	Atenção às práticas atuais de gestão de biomassa de resíduos, a fim de identificar possíveis impactos no custo.	Pesquisadora 3
Custos de logística	Matéria-prima não deve envolver qualquer custo de aquisição ou logística, deve estar disponível in loco.	Pesquisador 4
Consumo de energia	10 a 20% da energia produzida pelo sistema é consumida pelo próprio processo.	Pesquisador 4
Custos de aquisição de matéria prima	Matéria-prima gratuita, sem custo de aquisição.	Pesquisador 4

Fonte: elaborado pelo autor.

São variáveis legais:

a) atendimento às normas ambientais federais, estaduais e municipais: os tratamentos utilizados, bem como as características dos efluentes finais, devem se submeter a todas as normas (leis, decretos, regulamentos, resoluções, portarias etc.) nas três esferas de competência, federal, estadual e municipal (quadro 12).

Quadro 12: variáveis legais.

Variável	Características	Fonte
Legal	Os processos utilizados na digestão e as características dos efluentes finais devem obedecer às normas pertinentes dos órgãos responsáveis.	Pesquisadora 2; pesquisadora 3.

Fonte: elaborado pelo autor.

5.2 *Framework* das variáveis coletadas

A fim de se permitir uma compreensão global dos resultados alcançados pela presente pesquisa, utiliza-se do *framework* conceitual, uma ferramenta visual capaz de ilustrar a origem de cada variável identificada, de acordo com a fonte pesquisada (revisão bibliográfica e questionários com especialistas), conforme se observa das figuras 4 e 5.

Figura 4: *Framework* conceitual das variáveis coletadas nas referências bibliográficas.

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 5: *Framework* conceitual das variáveis coletadas por meio dos questionários com especialistas.

Fonte: elaborada pelo autor.

5.3 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa sugerido condensa as categorias de variáveis selecionadas por meio da presente pesquisa, conforme demonstra a figura 6. Em cada categoria não de ser analisadas, individualmente, cada uma das variáveis especificadas no item anterior, a fim de que se possa ter uma visão sistêmica e abrangente da viabilidade da implementação de sistemas de aproveitamento energético de ARF.

Figura 6: Diagrama de Ishikawa das variáveis selecionadas na pesquisa.

Fonte: elaboração própria. Legenda: balões em azul: variáveis técnicas; em verde: variáveis econômicas; em roxo: variáveis legais.

Pretendia-se, de início, identificar as variáveis suficientes e relevantes à análise da viabilidade do aproveitamento de ARF para a geração de energia. Com efeito, acredita-se que foi possível a construção de um modelo teórico para apoio à tomada de decisão. De igual forma, foi possível a utilização de uma ferramenta gráfica – consubstanciada no diagrama de espinha-de-peixe – capaz de servir de início a futuras análises aprofundadas de viabilidade.

Relevante e consistente literatura, corroborada por questionários aplicados a especialistas, foram capazes de detalhar as principais características dos sistemas de tratamento biológico de ARF, que servem à produção de biogás. A partir desse conteúdo, o modelo teórico foi construído e convenientemente condensado por ferramenta específica.

Os resultados do presente trabalho, portanto, vêm ao encontro das metas preconizadas nas ODS, principalmente em virtude da preocupação com o planeta e à geração de energia renovável (PNUD, 2015): o investimento de recursos na implementação de sistemas avançados de tratamento de ARF reduz o potencial poluidor de tal resíduo e diminui a emissão de GEE, culminando assim por auxiliar na proteção da degradação dos mananciais e contribuindo para a mitigação do aquecimento global; por outro lado, a análise de viabilidade de referidos projetos é capaz de contribuir com o atingimento do objetivo 7, que prevê o acesso à energia sustentável, confiável e moderna, especialmente em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil (PNUD, 2015).

Ademais, importante observar que o cenário regulatório também apresenta oportunidades aos frigoríficos, especialmente em virtude da já mencionada Resolução 482/2012 da ANEEL (ANEEL, 2012), que proporciona grande incentivo aos micro e mini geradores de energia e possibilita a formação de consórcios entre diferentes empresas do grupo que produzam a energia que consumirão e, caso atinjam a autossuficiência, ainda têm a possibilidade de comercialização ou compensação de seu excedente.

Todavia, como bem lembra Wu (2013), as ações sustentáveis não se estabelecem sem a concomitância dos três pilares fundamentais, e a sustentabilidade econômica é um deles. Dessa forma, entende-se que somente é possível o atingimento das ODS mencionadas anteriormente se o projeto de aproveitamento energético de ARF for financeiramente viável, e para isso faz-se necessária a correta tomada de decisão de investimento.

Bazerman e Moore (2013) alertam para algumas armadilhas cognitivas comuns ao tomador de decisão, que acabam resultando em prejuízo quando da realização de investimentos sem a devida cautela. Dentre as questões que afetam a tomada de decisão de investimento, salientam o excesso de confiança, o otimismo, a negação de eventos aleatórios e da regressão à média, a ancoragem, o *status quo* e adiamento e a teoria perspectiva (BAZERMAN; MOORE, 2013). De igual forma, Clemen e Reilly (2014) salientam a importância da rigorosa análise de cenários e variáveis previamente à tomada de decisão, consistente num processo que proporciona um método estruturado, que permite esclarecer a decisão a ser tomada.

Tais vieses e erros na tomada de decisão acerca de investimento, sustentam Clemen e Rielly (2014), podem ser elididos por meio de ferramentas analíticas específicas, desenhadas para melhorar as habilidades na tomada de decisão.

Nesse sentido, lembram Ahmad, Ghani e Arshad (2013), há uma série de ferramentas que facilitam a tomada de decisão por meio da prévia análise de viabilidade de determinado investimento, sejam elas financeiras (como *payback*, análise de ponto de equilíbrio, valor presente líquido, ROI etc.) ou não financeiras (como *Balanced Scorecard*, *Information Economics* e diversos métodos de tomada de decisão multicritério).

Todavia, o recurso eleito na presente pesquisa – o Diagrama de Ishikawa – se amolda melhor à proposta porque, como versátil ferramenta visual, consegue condensar, em uma única tela, uma série de variáveis complexas, de diferentes naturezas (quantitativas e qualitativas) e, principalmente, interdependentes. De fato, Ahmad, Ghani e Arshad (2013) já defenderam a possibilidade de utilização do diagrama de espinha-de-peixe para a análise dos fatores que influenciam o sucesso em investimentos em Tecnologia da Informação.

O presente trabalho, porém, vai além, e propõe a adequação do Diagrama como ferramenta útil à análise de fatores que podem influenciar o sucesso na implantação de sistemas de aproveitamento energético de ARF.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tinha, por objetivo geral, a identificação das variáveis relevantes à determinação de aproveitamento energético de ARF. Após extensa coleta de dados via revisão bibliográfica, complementada com questionários aplicados a especialistas da área, pode-se afirmar que tal objetivo foi alcançado.

A análise de viabilidade de sistemas de aproveitamento de ARF mostrou-se tarefa desafiadora e complexa. De fato, este estudo foi capaz de identificar o total de 83 diferentes aspectos que podem influenciar a viabilidade financeira, ambiental e social de projetos de tratamento e aproveitamento de ARF, subdivididas em três principais categorias (variáveis técnicas, econômicas e legais) e em 8 subcategorias específicas.

A contribuição desta pesquisa foi além de tão-somente identificar as variáveis que influenciam a viabilidade de projetos de aproveitamento de ARF, vez que resultou na condensação de todos os itens, diferentes e interdependentes, numa única ferramenta visual de apoio à tomada de decisão.

Igualmente, os objetivos específicos (caracterizar os sistemas de tratamento e construir um modelo teórico de apoio à tomada de decisão) foram atingidos, e estão consubstanciados em duas ferramentas visuais simples mas completas (*framework* e diagrama), que condensam o modelo teórico.

Esse modelo, criado com base na descoberta das variáveis, possibilita a tomada de decisões de investimento na implementação de projetos de aproveitamento de ARF o que, por fim, atende aos objetivos específicos da presente pesquisa.

A propósito, outra importante contribuição do presente trabalho consiste não apenas na identificação das variáveis que impactam na viabilidade dos investimentos, como também na utilidade e adequabilidade da utilização do diagrama de espinha-de-peixe para a finalidade de análise e apoio à tomada de decisão. Tal ferramenta permite uma análise holística, sistêmica dos fatores interdependentes que impactam na viabilidade do projeto, antes que o mesmo seja levado a cabo. Sua utilização, com o objetivo de análise de viabilidade de projetos de aproveitamento de resíduos de frigoríficos, é algo não encontrado em trabalhos anteriores.

Esta pesquisa teve, como limitação, o pequeno número de respondentes aos questionários, ainda que, em trabalhos qualitativos como o presente, é mais relevante

a profundidade dos questionários e a relevância dos respondentes, que o número de participantes.

De igual forma, o conhecimento acumulado em pesquisas científicas é igualmente limitado, vez que a área é pouco explorada. O tema pesquisado mostrou-se bastante incipiente, e há muitas experiências sendo realizadas em escala laboratorial, mas não comercial ou industrial, o que restringe o conhecimento adquirido na área a poucos pesquisadores.

Futuros trabalhos poderão seguir no sentido de proceder-se à criação de um modelo para valoração das variáveis encontradas, bem como à sua validação, por meio de testes com dados reais, o que contribuirá com subsídios para a tomada de decisão gerencial. Também seria oportuno que se expandisse a presente pesquisa por meio de estudos de casos com empresas, no exterior, que já fazem o aproveitamento energético da ARF, a fim de que se possam identificar indicadores de eficiência e produtividade, comparando-se-os, por exemplo, aos tipos de reatores utilizados em cada planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFAZELI, H. et al. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 380–386, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 112, de 18 de maio de 1999. Estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de en. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 18 maio, 1999.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Autorizativa nº 328, de 12 de agosto de 2004. Aprova o Estatuto do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 12 ago., 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 304, de 4 de março de 2008. Altera dispositivos da Resolução nº 371, de 29 de dezembro de 1999, que regulamenta a contratação e comercialização de reserva de capacidade por autoprodutor ou produtor independente para atendimento a un. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 13 mar., 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providên. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 19 abr., 2012.
- AHMAD, F.; GHANI, W. A. A.; ARSHAD, N. H. Ishikawa diagram of critical factors for Information Technology investment success: a conceptual model. 4th International Conference on Information Systems Management and Evaluation. **Anais...Ho Chi Minh City**: 2013
- AL SMADI, B. M.; AL-HAYEK, W.; ABU HAJAR, H. A. Treatment of Amman Slaughterhouse Wastewater by Anaerobic Baffled Reactor. **International Journal of Civil Engineering**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 2019.
- ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, v. 33, n. 4, p. 726–734, 2008.
- ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A. **An introduction to management science**: quantitative approaches to decision making. 11. ed. Mason: South-Western, 2005.
- APPELS, L. et al. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 6, p. 755–781, 2008.
- ARAÚJO, G. J. F. DE. **Análise energética, ambiental e econômica de biodigestores de circulação interna e concentradores de vinhaça para geração de eletricidade, fertilizantes e créditos de carbono em diferentes cenários**

econômicos. 2017. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2017.

BATTIMELLI, A. et al. Slaughterhouse fatty waste saponification to increase biogas yield. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 10, p. 3388–3393, 2010.

BAZERMAN, M. H.; MOORE, D. A. **Judgement in managerial decision making**. 8. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

BORJA, R. et al. Anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater using a combination sludge blanket and filter arrangement in a single reactor. **Bioresource Technology**, v. 65, n. 1–2, p. 125–133, jul. 1998.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. 2011. ed. Brasília: MME, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 16 dez., 2015.

BRASIL. Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960. Cria os Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 22 jul., 1960.

BRASIL. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 8 jul., 1995.

BRASIL. Decreto nº 2.003, de 10 de SETEMBRO de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 11 set., 1996.

BRASIL. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 13 fev., 1997a.

BRASIL. Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 7 ago., 1997b.

BRASIL. Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 3 jul., 1998a.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 28 set., 1998b.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 18 out., 2001a.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 20 dez., 2001b.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 29 abr., 2002.

BRASIL. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 16 mar., 2004a.

BRASIL. Decreto nº 5.177 de 12 de agosto de 2004. Regulamenta os arts. 4º e 5º da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 16 ago., 2004b.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 16 mar., 2004c.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 287–302, 2015.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic–aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 278–289, 2017.

CAIXETA, C. E. T.; CAMMAROTA, M. C.; XAVIER, A. M. F. Slaughterhouse wastewater treatment: Evaluation of a new three-phase separation system in a UASB reactor. **Bioresource Technology**, v. 81, n. 1, p. 61–69, 2002.

CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 17, p. 2195–2210, nov. 2006.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4044–4064, 2008.

CHERNIKOV, B. V.; DASHITSYRENOV, Z. D. Financial modeling of higher educational institution using quality management approaches. **Proceedings of 2017 10th International Conference Management of Large-Scale System Development, MLSD 2017**, 2017.

CLEMEN, R. T.; REILLY, T. **Making hard decisions with Decision Tools**. 3. ed. Mason: South-Western, 2014.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 18 mar., 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da União**, v. Brasília, n. 16 maio, 2011.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Business Research Methods**. 12. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2014.

DAVIS, M. L. **Water and wastewater engineering: Design principles and practice**. 2011. ed. New York: McGraw Hill, 2011.

EK, A E. W. et al. Slaughterhouse waste co-digestion - Experiences from 15 years of full-scale operation. **World Renewable Energy Congress 2011 - Sweden**, p. 64–71, 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

ETZION, D. Research on organizations and the natural environment, 1992-present: A review. **Journal of Management**, v. 33, n. 4, p. 637–664, 2007.

FEROLDI, M. et al. Geração de biogás a partir de efluentes de abatedouros. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, n. especial, p. 130–148, 2014.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FLICK, U. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009a.

FLICK, U. **Qualidade na pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009b.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALL, J. K.; DANEKE, G. A.; LENOX, M. J. Sustainable development and entrepreneurship: Past contributions and future directions. **Journal of Business Venturing**, v. 25, n. 5, p. 439–448, 2010.

HARRIS, P. W.; MCCABE, B. K. Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater. **Applied Energy**, v. 155, p. 560–575, 2015.

HARRIS, P. W.; SCHMIDT, T.; MCCABE, B. K. Evaluation of chemical, thermobaric and thermochemical pre-treatment on anaerobic digestion of high-fat cattle slaughterhouse waste. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 605–610, 2017.

HART, S. L.; MILSTEIN, M. B. Creating sustainable value. **The Academy of Management Executive**, v. 17, n. 2, p. 56–69, 2003.

HENRIQUES, A.; RICHARDSON, J. **The Triple Bottom Line: Does it all add up?** London: Earthscan, 2004.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1988.

IBGE. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1092#resultado>>. Acesso em 4 fev. 2019.

ISHIKAWA, K. **Introduction to Quality Control**. New York: Productivity Press, 1990.

JENSEN, P. D. et al. Analysis of the potential to recover energy and nutrient resources from cattle slaughterhouses in Australia by employing anaerobic digestion. **Applied Energy**, v. 136, p. 23–31, 2014.

JENSEN, P. D. et al. Anaerobic membrane bioreactors enable high rate treatment of slaughterhouse wastewater. **Biochemical Engineering Journal**, v. 97, p. 132–141, 2015.

JENSEN, P. D. et al. Recovery of energy and nutrient resources from cattle paunch waste using temperature phased anaerobic digestion. **Waste Management**, v. 51, p. 72–80, 2016.

JUDGE, W. Q.; DOUGLAS, T. J. Performance Implications of Incorporating Natural Environmental Issues into the Strategic Planning Process: An Empirical Assessment. **Journal of Management Studies**, v. 35, n. 2, p. 241–262, 1998.

KHALID, A. et al. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, n. 8, p. 1737–1744, 2011.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.

LI, S. S.; LEE, L. C. Using fishbone analysis to improve the quality of proposals for science and technology programs. **Research Evaluation**, v. 20, n. 4, p. 275–282, 2011.

LONG, J. H. et al. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 90, n. 3, p. 231–245, 2012.

LUOSTARINEN, S.; LUSTE, S.; SILLANPÄÄ, M. Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 1, p. 79–85, 2009.

MALHOTRA, N. K. **Marketing Research: an applied orientation**. 6. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

MARTÍ-HERRERO, J.; ALVAREZ, R.; FLORES, T. Evaluation of the low technology tubular digesters in the production of biogas from slaughterhouse wastewater treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 633–642, 2018.

MASSE, L.; KENNEDY, K. J.; CHOU, S. Testing of alkaline and enzymatic hydrolysis pretreatments for fat particles in slaughterhouse wastewater. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 2, p. 145–155, 2001.

MONTGOMERY, L. F. R.; BOCHMANN, G. **Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production**. Viena: IEA Bioenergy, 2014.

MORALES, M. M. Avaliação dos resíduos sólidos e líquidos num sistema de abate de bovinos. 2006. 73 f. **Dissertação**, (Mestrado em Agronomia-Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

MOUKAZIS, I.; PELLERA, F. M.; GIDARAKOS, E. Slaughterhouse by-products treatment using anaerobic digestion. **Waste Management**, 2017.

MUGODO, K.; MAGAMA, P. P.; DHAVU, K. Biogas Production Potential from Agricultural and Agro-Processing Waste in South Africa. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 7, p. 2383–2392, 2017.

MUSA, M. A. et al. Effect of organic loading rate on anaerobic digestion performance of mesophilic (UASB) reactor using cattle slaughterhouse wastewater as substrate. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 10, 2018.

NEWNAN, D. G.; LEVALLE, J. P. **Fundamentos de Engenharia Econômica**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

NGUYEN, D. D. et al. Thermophilic anaerobic digestion of model organic wastes: Evaluation of biomethane production and multiple kinetic models analysis. **Bioresource Technology**, v. 280, n. February, p. 269–276, 2019.

OZTURK, D.; YILMAZ, A. E. Treatment of slaughterhouse wastewater with the electrochemical oxidation process: Role of operating parameters on treatment efficiency and energy consumption. **Journal of Water Process Engineering**, v. 31, n. April, p. 100834, 2019.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína)**. São Paulo: CETESB, 2006.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno)**. São Paulo: CETESB, 2006.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Tecnologias disruptivas de baixo carbono para setores-chave no Brasil: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: PBMC, COPPE –

UFRJ, 2017.

PALOMINO, J. M. G. **Formação de preço de energia elétrica gerada por biomassa no Ambiente de Contratação Livre brasileiro**: uma abordagem computacional baseada em agentes. 2009. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

PITK, P. et al. Mesophilic co-digestion of dairy manure and lipid rich solid slaughterhouse wastes: Process efficiency, limitations and floating granules formation. **Bioresource Technology**, v. 166, p. 168–177, 2014.

PITK, P.; KAPARAJU, P.; VILU, R. Methane potential of sterilized solid slaughterhouse wastes. **Bioresource Technology**, v. 116, p. 42–46, 2012.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**/Res/70/1, 2015.

RAJESHWARI, K. V et al. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 4, n. 2, p. 135–156, jun. 2000.

REATEGUI, O. J. et al. Biogas production in batch in anaerobic conditions using cattle manure enriched with waste from slaughterhouse. 2017 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2017. **Anais...**San Diego: 2017

RIBEIRO, L. H. M. **Risco de mercado na comercialização de energia elétrica**: uma análise estruturada com foco no ambiente de contratação livre - ACL. 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

RODRÍGUEZ-ABALDE, Á. et al. Characterization of microbial community dynamics during the anaerobic co-digestion of thermally pre-treated slaughterhouse wastes with glycerin addition. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, 2019.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, p. v--vi, jun. 2007.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. DEL P. B. **Metodología de la investigación**. 6. ed. Cidade do México: McGraw-Hill, 2014.

SCARASSATI, D. et al. Tratamento De Efluentes De Matadouros E Frigoríficos. **III Fórum de Estudos Contábeis**, v. d, p. 9, 2003.

SCHMIDT, T. et al. Effect of trace element addition and increasing organic loading rates on the anaerobic digestion of cattle slaughterhouse wastewater. **Bioresource Technology**, v. 264, n. March, p. 51–57, 2018.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Background on the UNFCCC**, 2018.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural ServiceUsda**, 2018.

VALLADÃO, A. B. G. et al. Evaluation of different pre-hydrolysis times and enzyme pool concentrations on the biodegradability of poultry slaughterhouse wastewater with a high fat content. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 243–249, 2009.

VALLADÃO, A. B. G. et al. Profiles of fatty acids and triacylglycerols and their influence on the anaerobic biodegradability of effluents from poultry slaughterhouse. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 14, p. 7043–7050, 2011.

VALLADÃO, A. B. G.; FREIRE, D. M. G.; CAMMAROTA, M. C. Enzymatic pre-hydrolysis applied to the anaerobic treatment of effluents from poultry slaughterhouses. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 60, n. 4, p. 219–225, 2007.

WARE, A.; POWER, N. Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. **Renewable Energy**, v. 97, p. 541–549, 2016.

WU, J. Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 6, p. 999–1023, 2013.

ZHANG, L. et al. How can fuel cell vehicles bring a bright future for this dragon? Answer by multi-criteria decision making analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 39, p. 17183–17192, 2016.