



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Química

Fábio Viana de Abreu

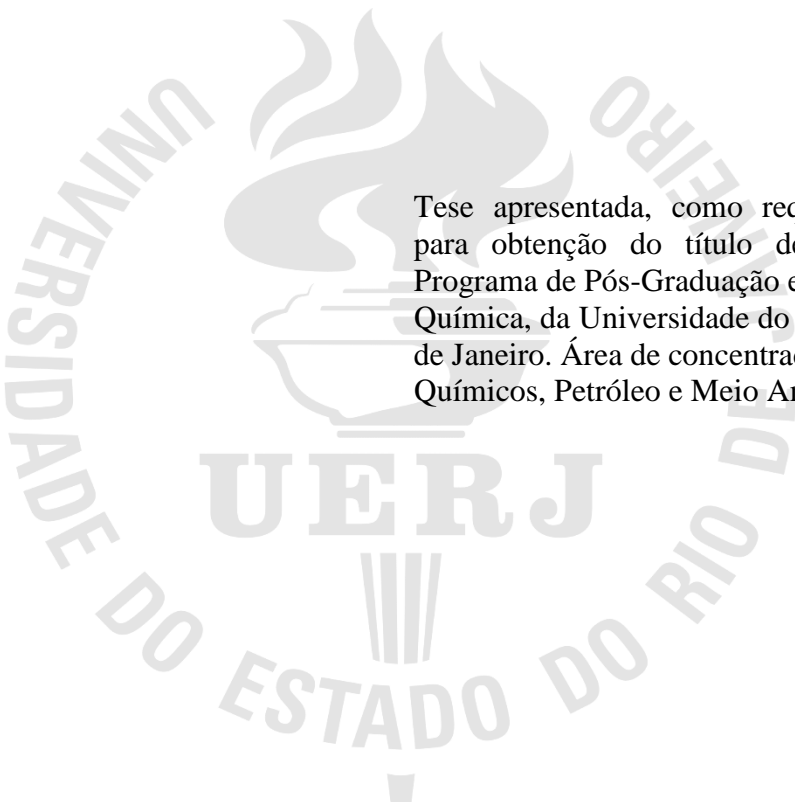
**Análise de tecnologias de processamento de vinhaça no Brasil considerando
aspectos ambientais**

Rio de Janeiro

2020

Fábio Viana de Abreu

Análise de tecnologias de processamento de vinhaça no Brasil considerando aspectos ambientais



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Químicos, Petróleo e Meio Ambiente

Orientadores: Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo
Prof. Dr. André Luís Alberton

Rio de Janeiro

2020

Fabio Viana de Abreu

Análise de tecnologias de processamento de vinhaça no Brasil considerando aspectos ambientais

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em: 12 de fevereiro de 2020.

Orientadores:

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo (Orientador)
Instituto de Química - UERJ

Prof. Dr. André Luís Alberton (Orientador)
Instituto de Química - UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Hemerly Costa
Instituto de Química - UERJ

Prof. Dr. Giovani Cavalcanti Nunes
Instituto de Química - UERJ

Dra. Betina Maciel Versiani
COPPE - UFRJ

Prof. Dr. Luiz Carlos De Martini Júnior
De Martini Ambiental

Prof. Dr. Edmilson Pinto da Silva
Petrobras

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e familiares que estimularam meu desenvolvimento acadêmico, pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Marco Antonio Gaya de Figueiredo, por sua dedicação e paciência no processo de orientação dessa tese de doutorado.

André Luis Alberton por sua orientação dessa tese com sugestões sempre serenas e objetivas.

Aderval Severino Luna, por acreditar em meu potencial, apoio e estímulo na busca de novos conhecimentos.

Outros professores do curso de pós-graduação da Engenharia Química pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos. Agradeço à equipe da UERJ pela rapidez e qualidade dos serviços prestados.

Aos amigos Luís Chaves, Lucas Ferrero, Patrick Farias e outros amigos do curso que contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal. Para meus colegas das áreas de Gás e Energia, SMS, Materiais e Universidade Petrobras, especialmente aos meus superiores Deivis Araújo, Otávio Mauro, Gustavo Mesquita, Alex Gasparetto e Leonardo Valladares que permitiram a realização desse curso.

RESUMO

ABREU, Fabio Viana. **Análise de tecnologias de processamento de vinhaça no Brasil considerando aspectos ambientais**. 2020. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

A valoração econômica de aspectos ambientais tem se apresentado a metodologia necessária aliada a proposição de políticas governamentais em busca do melhor aproveitamento do processamento da vinhaça no Brasil. A vinhaça é um material orgânico rico em potássio e a sua destinação inadequada no solo pode contaminar os lençóis freáticos, além da poluição térmica diante da temperatura de geração e lançamento causando danos ao meio ambiente. Fertirrigação, concentração e digestão anaeróbia ou anaeróbica são as principais tecnologias para o processamento da vinhaça. Tais alternativas apresentam diferentes impactos no meio ambiente; no entanto, o peso do aspecto ambiental na decisão permanece em discussão. Em primeiro lugar, foram elaborados questionários, consultando especialistas sobre o aspecto ambiental e econômico da tomada de decisão em mudar para tecnologias mais sustentáveis. As respostas apresentam que as decisões das empresas são motivadas principalmente pela questão econômica, e a mudança da tecnologia atual seria feita somente se a Taxa Interna de Retorno (TIR) estiver no patamar de 25%-30%. Em seguida, foi proposto a quantificação de aspectos ambientais na avaliação econômica das tecnologias. A valoração ambiental foi realizada considerando o crédito de carbono, a economia com fertilizantes minerais e o custo evitado com multas ambientais. Na sequência analisa-se as multas ambientais aplicadas as usinas de cana no Brasil pelos órgãos ambientais e processos judiciais em busca de mapear o risco econômico e jurídico do não tratamento e destinação adequada da vinhaça. Em seguida, foi realizado um estudo de análise ambiental utilizando os sistemas computacionais Simapro e Openlca em busca de uma quantificação de quais são os principais aspectos que impactam a poluição do ambiente ao utilizar as tecnologias mais factíveis de processamento da vinhaça. Enfim, mapeou quais impactos ambientais estão presentes no arcabouço legal e se existe uma forma objetiva de punição e multas para cada impacto ambiental. Por fim, considerando o modelo proposto foi elaborado um projeto de lei propondo o melhor aproveitamento da vinhaça no Brasil.

Palavras-chave: Vinhaça. Análise econômica. Valoração ambiental. LCA. Análise da legislação. Multas ambientais.

ABSTRACT

ABREU, Fabio Viana. **Analysis of vinasse processing technologies in Brazil considering environmental aspects**. 2020. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The economic valuation of environmental aspects of vinasse processing presented as the necessary methodology combined with the proposition of government policies in search of the best use in Brazil. Vinasse is an organic material rich in potassium, and its inadequate disposal in the soil can contaminate groundwater, as well as pollution heat generation and release temperature causing damage to the environment. Fertigation, concentration, and aerobic or anaerobic digestion are the leading technologies for the use of vinasse. These alternatives have different impacts on the environment; however, the weight of the environmental aspect in the decision remains under discussion. Firstly, questionnaires drawn, consulting experts on the environmental and economic aspects of the decision to move to more sustainable technologies. The answers show that the decisions of the companies motivated mainly by the economic question, and the current technological change would make only if the Internal Rate of Return (IRR) is at the level of 25% to 30%. Next, this work proposed the quantification of environmental aspects in the economic evaluation of the technologies. The environmental valuation realized considering the carbon credit, the economy with mineral fertilizers, and the avoided cost with environmental fines. Because of the above, environmental fines applied to sugarcane plants in Brazil were analyzed by environmental agencies and judicial processes to map the economic and legal risk of not treating and proper disposal of vinasse. Then, an environmental analysis study carried out using Simpro and Openlca computational systems to quantify what are the main aspects that influence the environment pollution using the most feasible technologies for processing vinasse. However, it mapped which environmental impacts are present in the legal framework and whether there is an objective form of punishment and fines for each environmental impact. Finally, considering the proposed modeling applied and was writing law proposal seeking the best use of vinasse in Brazil.

Keywords: Vinasse. Economic analysis, Environmental valuation. LCA. Analysis of legislation. Environmental fines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Opções tecnológicas de aproveitamento da vinhaça.....	14
Figura 2 - Concentração da Vinhaça	23
Figura 3 - Biodigestão Anaeróbia - Energia elétrica	25
Figura 4 - Biodigestão Anaeróbia – Gás Natural Renovável	26
Figura 5 - Inventário de ciclo de vida.....	35
Figura 6 - Fertirrigação e Concentração	35
Figura 7 - Digestão Anaeróbia	36
Figura 8 - Estados do Brasil com normas técnicas para aplicação de vinhaça.....	37
Figura 9: Etapas metodológicas da pesquisa	41
Figura 10 - Tecnologias para processamento da vinhaça	50
Figura 12 - Tecnologia de processamento da vinhaça utilizada no Brasil	56
Figura 13 - TIR para mudar de tecnologia?.....	56
Figura 14 - Biodigestor é um processo mais econômico que fertirrigação?	57
Figura 15 - Concentração é um processo mais econômico que fertirrigação	57
Figura 16 - Tecnologias ambientais x vantagens financeiras	58
Figura 17 - O governo oferece pouco incentivo às tecnologias para melhor uso da vinhaça?	59
Figura 18 - É necessário criar um programa de incentivo ao melhor uso da vinhaça?	59
Figura 19 - VPL de opção tecnológica para melhor uso da vinhaça	60
Figura 20 - TIR com análise de cenários	62
Figura 21 - Categorias ambientais das tecnologias investigadas.....	65
Figura 22 - Depleção abiótica.....	66
Figura 23 - Acidificação	67
Figura 24 - Eutrofização	68
Figura 25 - Ecotoxicidade aquática em água doce	69
Figura 26 - Aquecimento Global	69
Figura 27 - Toxicidade humana.....	70
Figura 28 - Depleção da camada de ozônio.....	70
Figura 29 - Oxidação fotoquímica.....	71
Figura 30 - Ecotoxicidade terrestre	72
Figura 31 - Análise de impactos ambientais.....	73
Figura 32 - Normalização ACV vinhaça	74
Figura 33 - Análise ambiental - Fertirrigação baseline	76

Figura 34 - Percentual de produção de etanol por região do Brasil	78
Figura 35 - Números de processos judiciais por região no Brasil	78
Figura 36 - Número de processos e porcentagem estatística por estados no Brasil	79
Figura 37 - Histograma de multas no período	80
Figura 38 - Números x valores monetário das multas	81
Figura 39 - Multas por indústria	82
Figura 40 - Importação de dados de entrada.....	115
Figura 41 – Fertirrigação: entradas e saídas	115
Figura 42 – Produção de etanol	116
Figura 43- Database geral.....	116
Figura 44 – Digestão anaeróbia - energia	118
Figura 45 - Entradas e saídas da produção de energia.....	119
Figura 46 - Digestão anaerobia - RNG	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físicos e químicos da vinhaça.....	16
Tabela 2 - Tecnologias de processamento da vinhaça e suas aplicações	17
Tabela 3 - Métodos de valoração econômica da vinhaça	31
Tabela 4 - Vinhaça e sua Valoração econômica dos recursos ambientais.....	32
Tabela 5 - Trabalhos sobre Valoração ambiental	32
Tabela 6 - Categorias ambientais CML 2 e sua importância.....	34
Tabela 7- Norma Técnica P 4.231 da Cetesb - 2006 e 2015	38
Tabela 8 – Valores de investimentos para diferentes tecnologias	44
Tabela 9 - Análise de cenários.....	47
Tabela 10 - Análise de sensibilidade	48
Tabela 11 - Indústria brasileira de cana-de-açúcar considerada.....	49
Tabela 12 - Informações básicas para ACV	50
Tabela 13 - Outras informações ACV	51
Tabela 14 - Valores de conversão para energia e Gás Natural Renovável.....	51
Tabela 15 - Entradas e saídas deste trabalho	52
Tabela 16 - Impactos ambientais	64
Tabela 17 - Cenários analisados	66
Tabela 18 - Número de ocorrências.....	80
Tabela 19 - Descrição de multas	81
Tabela 20 - Participação na Renovabio	83
Tabela 21 - Principais temas da consulta pública da Renovabio.....	84
Tabela 22 - Renovabio versus análise ambiental	84
Tabela 23 - Impactos ambientais versus leis ou normas	84
Tabela 24 - Leis estaduais e Renovabio com descrições.....	85
Tabela 25 - Fertirrigação: entradas do processo.....	117
Tabela 26 - Fertirrigação: saídas do processo	117
Tabela 27: Sites consultados	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOGAS	Associação Brasileira de Biogás
ACP	Acidificação
ACV	Avaliação do ciclo de vida
ADP	Potencial de depleção abiótica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BIOFOM	Biofertilizante organomineral
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social
CETESB	Companhia ambiental do estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Coferência das partes
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
DBO	Demanda Biológica de oxigênio
DQO	Demanda Química de oxigênio
ETP	Eutrofização
FAPESP	Fundação de amparo a pesquisa do estado de São Paulo
FEP	Ecotoxicidade aquática em água doce
GEE	Gases de efeito estufa
GNR	Gás natural renovável
GWP	Aquecimento global
HTP	Toxicidade humana
ISO	Organização Internacional para Padronização
K _s	Concentração de potássio no solo
K _{vi}	Concentração de potássio na vinhaça em kg de K ₂ O/m ³ .
kWh	Kilowatt por hora
MW	Megawatt
MWh	Megawatt por hora
NA	Não aplicável
NBR	Norma Brasileira
ODP	Depleção da camada de ozônio
pH	Potencial Hidrogeniônico
POP	Oxidação fotoquímica
Renovabio	Política Nacional de Biocombustíveis
SEMADE	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
TEP	Ecotoxicidade terrestre

TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
Ton	Toneladas
UASB	Reatores anaeróbicos de manta de lodo de fluxo ascendente
VDU	Valor direto de uso
VE	Valor de existência
VERA	Valor econômico do recurso ambiental
VIU	Valor indireto do uso
VNU	Valor do não uso
VO	Valor de opção
VPL	Valor presente líquido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
Apresentação	14
Justificativa e relevância do estudo	15
Contextualização da pesquisa	15
Problemática da pesquisa	21
Objetivos	21
Delimitação da pesquisa	22
Estrutura da tese	22
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
1.1 Tecnologias de processamento da vinhaça	23
1.2 Análise econômica considerando aspectos ambientais	27
1.3 Análise do ciclo de vida	33
1.4 Legislações e normas do setor	36
2 METODOLOGIA	41
2.1 Questionários	42
2.2 Análise econômica considerando aspectos ambientais	43
2.3 Análise Ambiental	49
2.4 Legislações e normas do setor	53
3 RESULTADOS	55
3.1 Análise dos questionários	55
3.2 Análise econômica considerando aspectos ambientais	60
3.3 Análise ambiental	63
3.4 Análise das legislações e normas do setor	77
3.5 Considerações finais	85
CONCLUSÕES	87
RECOMENDAÇÕES	89
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE A - Projeto de lei	100
APÊNDICE B - Questionário	110
APÊNDICE C - Openlca	115
APÊNDICE D - Sites consultados	120

INTRODUÇÃO

Nesse item, será apresentado o tema com a sua justificativa e relevância. Além disso, será realizado a contextualização da pesquisa, suas principais problemáticas, seguido dos objetivos principais e específicos. Por fim delimita-se a pesquisa e apresenta-se a estrutura da tese.

Apresentação

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, sendo a vinhaça um resíduo gerado na produção de álcool (BNDES, 2008). Para cada litro de álcool produzido, catorze litros de vinhaça (BONINI; SATO; SOUZA, 2013).

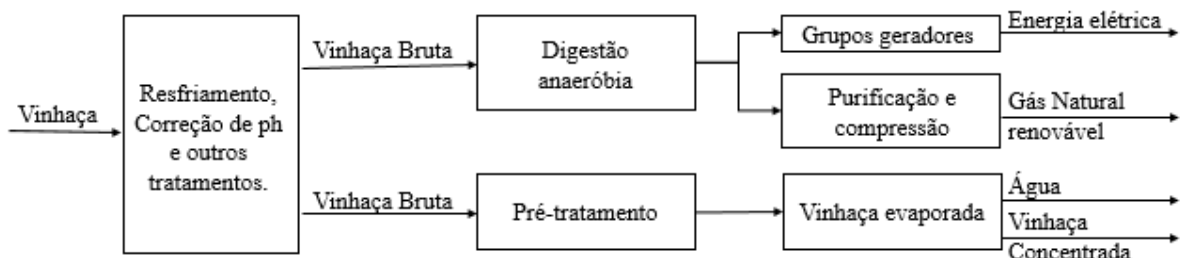
O uso da vinhaça no Brasil é um desafio para os profissionais do setor. A vinhaça é o resíduo oriundo da destilação do fermentado de açúcar para obtenção do etanol com uma temperatura que varia de 90 a 110 ° C, apresentando características ácidas com pH variando de 3,7 a 5 (CETESB, 1982).

A vinhaça é composta por sólidos orgânicos e minerais que contém quantidades residuais de açúcar, álcool e substâncias voláteis de maior massa molar (CAMARGO, 1990).

A composição da vinhaça é de acordo com o preparo do mosto, ou seja, melaço mais água, apenas o caldo de cana ou de forma mista que é a mistura entre melaço e caldo (BRITO et. al., 2007); (BAUTISTA-ZÚNIGA et. al., 2000). Em geral, o seu teor de sólidos é de 7%, sendo que destes 75% são orgânicos e biodegradáveis, com alta demanda química e biológica de oxigênio (DQO e DBO), caracterizando assim seu teor poluente (PASSOS, 2009).

A Figura 1 apresenta as opções tecnológicas para o melhor uso da vinhaça no Brasil que são a biodigestão anaeróbia e a evaporação/concentração da vinhaça.

Figura 1 - Opções tecnológicas de aproveitamento da vinhaça



Fonte: Adaptado Salomon (2007)

De acordo com Diniz (2010) e Pinto (1999), a forma que a vinhaça é composta está relacionada a vários fatores, tais como:

- Natureza e composição da matéria-prima;
- Sistema de fermentação;
- Tipo da levedura utilizada, o seu tratamento (nutrientes à base de nitrogênio e fósforo) e aditivos usados na fermentação (ácidos, antibióticos).
- Qualidade da água utilizada;
- Sistema de trabalho e influência dos operadores.

Justificativa e relevância do estudo

O estudo das alternativas tecnológicas para a aplicação adequada da vinhaça justifica-se diante do baixo uso de tecnologias para melhor aproveitamento da vinhaça, devido aos altos custos de investimento inicial necessários para implementar a respectiva tecnologia (ELIA NETO, 2016; BAUMAN, 1964).

O estudo é relevante porque o arcabouço legal e normativo ambiental do setor restringe o uso e aplicação de forma indiscriminada da vinhaça no solo (CETESB, 2006). Com isso, este trabalho apresenta as alternativas tecnológicas mais factíveis considerando viés ambiental para o melhor processamento da vinhaça.

O tema tem relevância para a academia e para a sociedade, pois é necessário a análise das tecnologias de processamento da vinhaça no Brasil considerando aspectos ambientais com realização da viabilidade econômica. Dessa forma, com a proposição valorização de aspectos ambientais aliadas as políticas governamentais são estímulos ao setor, ou seja, assim será possível o desenvolvimento de usinas no Brasil com o melhor aproveitamento da vinhaça com tecnologias mais sustentáveis em relação ao momento atual.

Contextualização da pesquisa

A vinhaça possui uma alta carga orgânica (DQO da ordem de 29.000 mg/litro) e contém os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), entre outros (GASI; SANTOS, 1984; SANTOS, 2000; ANA, 2009). Essa composição da vinhaça com alto teor orgânico geralmente são característicos dos fertilizantes químicos usados na agricultura (GALINKIN; BLEY, 2009).

De acordo com Moreno e Coelho (2014), a vinhaça possui entre 2,4 e 8,1 ° Brix, que serve para determinar o quociente total de sacarose dissolvida em um líquido (a solução 25 ° Bx contém 25 g de açúcar por 100 g de líquido, por exemplo, em 100 g de dissolução contém 25 g de sacarose e 75 g de água) (CANELLAS et. al., 2003). A vinhaça possui uma quantidade significativa de demanda química de oxigênio e demanda biológica de oxigênio, além de uma concentração significativa de potássio (CETESB, 1982). A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos da vinhaça “in natura”, resultantes de três tipos de mostos diferentes.

Tabela 1 - Parâmetros físicos e químicos da vinhaça

Parametros	Melaço	Caldo	Misto
Ph	4.2 - 5.0	3.7 - 4.6	4.4 - 4.6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg/l O ₂)	25.000	6.000 - 16.500	19.80
DQO (mg/l O ₂)	65.000	15.000 - 33.000	45.000
Sólidos totais (mg/l)	81.500	23.700	52.700
Nitrogenio (mg/l)	450 - 1.600	150 - 700	480 - 710
Potássio (mg/l) K ₂ O	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3.340 - 4.600
Sulfato (mg/l) SO ₄ ⁻²	6.400	600 - 760	3.700 - 3.730
Carbono (mg/l) C	11.200 - 22.900	5.700 - 13.400	8.700 - 12.100
Material orgânico (mg/l)	63.400	19.500	38.000

Fonte: (CORTEZ; FREIRE; ROSILLO-CALLE, 1996)

De acordo com Souza et. al., (1992) e Souza (2005), a vinhaça tem poder poluidor cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, rica em matéria orgânica, baixo pH, alta corrosividade e altos níveis de demanda bioquímica de oxigênio - DBO (20.000 a 35.000 mg / l), bem como alta temperatura na saída dos destiladores - de 85 a 90 ° C (SOUZA, 2005).

O descarte descontrolado da vinhaça em solos gera diversos problemas ambientais, como contaminação das águas subterrâneas, poluição do solo, eutrofização e alta taxa de mortalidade de peixes (LANGANKE, 2016). A questão é a fiscalização (ou a dificuldade / falta) dos órgãos governamentais sobre esse assunto. Em todo o país, vários regulamentos e leis foram publicados, buscando uma aplicação mais racional da vinhaça no solo, como a Resolução da Companhia Ambiental do estado de São Paulo (Cetesb) número P4.231, que se replicou para outros estados brasileiros.

Segundo Salomon (2007), a digestão anaeróbia da vinhaça é uma maneira de minimizar o potencial poluidor da vinhaça, deixando em níveis adequados a Demanda Biológica do Oxigênio - DBO e pH. Assim, é possível produzir gás metano (LAMO, 1991) para a geração de energia térmica, elétrica ou veicular, bem como a produção de biofertilizantes e organo-minerais. De acordo com o anexo ao Decreto 4.954/2004, o

fertilizante organo-mineral é um produto resultante da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

Segundo Pires e Ferreira (2008), o uso direto da vinhaça como fertilizante é vantajoso devido à riqueza de matéria orgânica, potássio e enxofre. No entanto, a vantagem é que a concentração reduz os custos de transporte em longas distâncias (FERREIRA, 2017, 2016). Além disso, a vinhaça concentrada adquire estabilidade biológica e pode ser armazenada por um período prolongado e aplicada ao solo quando necessário (REZENDE, 1984).

Em relação aos biofertilizantes, Gurgel (2012) e Dedini (2017) propôs o BIOFOM, formulado com vinhaça concentrada, torta de filtro, cinzas de caldeira e fuligem das chaminés e complementado com fertilizantes minerais, para obter um produto equivalente ao uso em uma adubação convencional de cana-de-açúcar, mitigando assim possíveis danos aos lençóis freáticos (HIRATA, 1991).

Segundo Feam (2017) e Rodrigues et al. (2012), as aplicações mais difundidas da vinhaça são a conversão em biogás e usá-lo como combustível em caldeiras, fornos, estufas, geração de eletricidade, cogeração (eletricidade e calor), injeção na linha de gás natural e combustível de veículos. A Tabela 2 apresenta as tecnologias e aplicações da vinhaça.

Tabela 2 - Tecnologias de processamento da vinhaça e suas aplicações

Tecnologias	Aplicações
Fertirrigação	<ul style="list-style-type: none"> Método de fertilização com irrigação de aplicação natural. Tecnologia que é economicamente eficiente apenas a distâncias de até 15 quilômetros (devido a custos com diesel).
Biodigestão anaerobia	<ul style="list-style-type: none"> Geração de energia Produção de Gás Natural renovável Obtenção de biofertilizantes.
Combustão em caldeiras e grupos geradores	<ul style="list-style-type: none"> Geração de energia. Eficiência energética.
Concentração da vinhaça	<ul style="list-style-type: none"> Uso de evaporadores e redução dos custos de transporte (óleo diesel) da vinhaça para aplicação no campo.
Fermentação aeróbica da vinhaça	<ul style="list-style-type: none"> Produção de proteína para uso como complemento da alimentação animal.

Fonte: Adaptado Salomon (2007)

Fertirrigação

O destino mais comum da vinhaça é a aplicação no solo como fertilizante do cultivo da cana-de-açúcar, devido ao seu alto teor de matéria orgânica e nutrientes (principalmente nitrogênio, potássio e fósforo) (NICOCELLI, 2012). A fertirrigação é uma forma de irrigação e fertilização do solo (CAMILOTTI et. al., 2009; CARMO et. al., 2013; LYRA et. al., 2003).

Uma situação comum é o armazenamento da vinhaça a céu aberto em lagoas. E das mesmas, a vinhaça pode transportar através de canais, dutos, caminhões tanque e trens (LORENCINI, 2009).

Estudos sobre a vinhaça realizado por (MORENO; COELHO, 2014), a fertirrigação foi uma opção de uso, com aplicação direta ou por pulverização nos canaviais. O baixo investimento é um dos fatores que incentivam o uso dessa rota tecnológica, utilizada em mais de 90% das usinas de cana no Brasil (CHRISTOFOLETTI, 2013; EMBRAPA, 2014; OLIVEIRA et. al., 2017) .

No entanto, a prática do descarte de vinhaça em plantações de cana-de-açúcar, embora na maioria das vezes traz bons retornos econômicos sob o aspecto de melhoria de produtividade, pode causar graves danos ambientais, especialmente em áreas onde a vinhaça é aplicada de forma inadequada e sem controle (TORRES et. al. 2012). Portanto, é necessário um preparo adequado do efluente para obter a melhor distribuição uniforme do solo e minimizar os efeitos que comprometem a qualidade da cana, como a salinização do solo (GOMES; SILVA; SILVA, 2001; PIRES; FERREIRA, 2008)

Digestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia de acordo com Aquino (2016) ocorre com o desempenho de microrganismos que convertem compostos orgânicos complexos em metano, dióxido de carbono, água, gás sulfúrico e amônia (MCCARTY, 1991; LETTINGA; RINZEMA, 1985; COSTA et. al., 2006). As reações bioquímicas que ocorrem são divididas em hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (FUESS, 2018).

Salomon et al. (2009), Barreira et. al (2016) apresentam uma análise da produção de energia através da biodigestão anaeróbia da vinhaça e suas vantagens, dentre elas destacam-se:

- Geração descentralizada de energia a partir de recursos renováveis;
- A possibilidade de renda extra da energia gerada a partir do biogás e vendida às concessionárias de energia;
- A possibilidade de usar processos de cogeração; e
- A redução das emissões de metano na atmosfera, porque o metano é um importante gás de efeito estufa, além da redução de odores.

A opção de usar a vinhaça através da digestão anaeróbia para a captura de biogás com a geração de eletricidade foi objeto de estudo por (FAPESP, 2015; MORENO; COELHO,

2014; SALOMON, 2007; MORAES, 2014; MORAES et al., 2014; COELHO et. al., 2006). O efluente do biodigestor pode ser usado como biofertilizante. O biogás pode ser utilizado como combustível em grupos geradores para produção de energia que pode atender à demanda de energia da usina de cana e o excedente exportado para o Sistema Interligado Nacional (SALOMON, 2007).

Combustão da vinhaça

Nesse caso, a combustão é uma forma de geração de energia pela queima ou incineração da vinhaça.

Moreno e Coelho (2014) têm a opção de realizar a incineração além da geração de eletricidade: Primeiro, a vinhaça concentrada até 65°Bx, que possui energia térmica suficiente para ser incinerada na caldeira juntamente com combustível auxiliar, neste caso, gás natural. O calor utilizado para a geração de vapor e energia elétrica utilizado em cargas internas e cujo excedente exportado para o Sistema Integrado Nacional.

Concentração da vinhaça

A opção tecnológica de concentração da vinhaça se caracteriza por um processo que reduz o teor de água através do uso de evaporadores, assim elevando a concentração de nutrientes, minimizando o volume de vinhaça a ser transportado.

Os evaporadores utilizados na indústria de alimentos, papel, celulose, álcool de açúcar, polímeros, fertilizantes, compostos orgânicos e inorgânicos, entre outros (BIGATON, 2017; AMORIM, 2011; GRACIANO, 2007; BIASE, 2007).

A concentração ou evaporação tem o objetivo de obter produtos mais concentrados com uma porcentagem menor de um soluto volátil, na maioria das vezes água. Segundo Elia Neto (2016), Moreno (2014), Carvalho (2010), Guarani (2011) as vantagens do processo de evaporação com concentração são:

- Redução do volume de vinhaça;
- Custos reduzidos de transporte de vinhaça (caminhões movidos a diesel em geral) devido ao volume reduzido de vinhaça;
- Redução dos custos de fertilização, ou seja, com menos vinhaça, é possível usar a tecnologia de fertirrigação apenas para áreas mais próximas à usina de cana e, assim, gerar menor consumo de diesel. Em geral, nas áreas mais distantes, utiliza

fertilizantes minerais;

- A diminuição do consumo de água na destilaria da usina;
- Mitigação do consumo de vapor, de acordo com a capacidade de evaporação da planta.

Os evaporadores são grandes consumidores de energia, mas várias estratégias são usadas para reduzir o consumo de energia. Nesse arranjo, um evaporador é montado sequencialmente um ao outro, de modo que o vapor gerado a partir de um evaporador (primeiro efeito) seja usado para aquecer outro evaporador (segundo efeito) e assim por diante. O vapor gerado no último efeito passa por um condensador, encerrando assim o processo (AMORIM et. al, 2011).

Uma planta de concentração de vinhaça integrada à destilaria de etanol, que consiste em uma combinação de tubos do tipo evaporativo com função de referência de coluna, condensador de vapor de álcool e evaporador de concentração, separadores, pré-aquecedores, bombas de fluxo, remoção de ar e sistema de geração de vácuo, duto de vapor e evaporativo condensador alimentado exclusivamente pela energia de condensação do vapor alcoólico da segunda coluna de destilação de álcool. (CITROTEC, 2017).

A evaporação da vinhaça é um processo amplamente utilizado pelas usinas de cana-de-açúcar, pois reduz o volume de vinhaça, transformando a vinhaça "in natura" em vinhaça concentrada, que possui maior poder de fertilização (em particular uma concentração mais alta de potássio) que a vinhaça "in natura" (ELIA NETO, 2016; FRANCO 2001).

Fermentação Aeróbica

Segundo Pinto (1999), a fermentação aeróbica tem como objetivo obter concentrado de leveduras e bactérias com alto teor de proteínas no processo aeróbico, além de gás metano e fertilizante no anaeróbio (VERSTRAETE et. al. 1996).

Segundo Chieppe Júnior (2015), Corazza (2006), a aerobiose é o tratamento da vinhaça como efluente de duas fases: o primeiro é anaeróbico (sem oxigênio) e o segundo é aeróbico (com presença de oxigênio). A principal vantagem é a considerável redução de DBO (70 a 90% na primeira etapa) e até 99% na segunda. Os principais problemas decorrentes dessa opção estão associados à necessidade de construir, manter e monitorar grandes tanques ou lagoas para tratamento, devido aos grandes volumes de resíduos (GRACIANO, 2007; FADEL et. al., 2014).

Segundo Pinto (1999), a fermentação aeróbica considera o uso da vinhaça como substrato microbiano para a produção de proteína unicelular, utilizada como complemento na formulação de ração animal. A vantagem de produzir proteína por processo de fermentação está na velocidade do desenvolvimento da biomassa, superior à taxa de obtenção de fontes convencionais de proteína, através dos ciclos agrícolas. Além disso, essa produção é independente das condições climáticas e não está sujeita à sazonalidade. A principal desvantagem está nos altos investimentos e custos operacionais, devido à necessidade de instalar um sistema de controle de processo complexo (MOESTEDT et. al., 2016).

Problemática da pesquisa

A Fertirrigação é a forma mais comum de utilização da vinhaça no Brasil. Como mudar esse cenário e estimular o melhor aproveitamento da vinhaça (mitigando impactos ambientais, gerando energia, novas receitas, entre outros), ou seja, essa é a problemática da pesquisa. Então o trabalho propõe uma avaliação econômica valorando os aspectos ambientais das principais tecnologias de processamento da vinhaça e a elaboração de políticas governamentais necessárias para estímulo do setor.

Objetivos

O principal objetivo é e a análise de cenários de viabilidade econômica do uso da vinhaça no Brasil, com valoração econômica dos recursos ambientais e proposição de políticas governamentais para o desenvolvimento do setor.

Para alcançar o objetivo principal do presente trabalho, foram propostos os seguintes

objetivos específicos:

- Identificar, no contexto brasileiro, nas alternativas tecnológicas do uso da vinhaça, as mais viáveis de implementação, através de uma análise integrada dos aspectos econômicos e ambientais.
- Analisar o impacto ambiental do processamento da vinhaça com utilização das ferramentas Simapro e Openlca.
- Realizar um mapeamento de multas e notificações ambientais aplicadas por órgãos ambientais nas infrações do uso da vinhaça no Brasil.

- Propor uma política governamental em formato de projeto de lei federal para o desenvolvimento do setor.

Delimitação da pesquisa

A pesquisa está delimitada na análise das usinas de cana do Brasil e estudo das tecnologias utilizadas no país.

Estrutura da tese

A tese está dividida nos seguintes capítulos:

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica desse trabalho.

O capítulo 3 apresenta as rotas metodológicas em busca dos resultados dessa tese.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos após a aplicação da metodologia proposta.

O capítulo 5 apresenta as conclusões dessa tese.

O capítulo 6 apresenta recomendações para trabalhos futuros.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

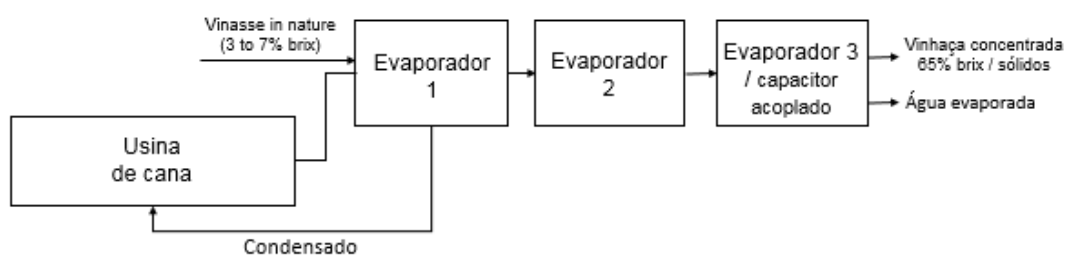
Nesse item serão apresentados as principais tecnologias de processamento da vinhaça no Brasil além de uma análise econômica considerando os aspectos ambientais. Por fim serão apresentados legislações e normas pertinentes ao descarte e processamento da vinhaça.

1.1 Tecnologias de processamento da vinhaça

Moraes et al. (2017), apresenta de forma resumida os benefícios do uso de melhores tecnologias para o desenvolvimento da vinhaça sem estudos econômicos e sem monetizar os aspectos ambientais. As tecnologias apresentadas nesse item são a concentração e biodigestão anaeróbia.

A Figura 2 apresenta a opção tecnológica de processamento da vinhaça através da evaporação / concentração, que consiste no ingresso da vinhaça “in natura” em um sistema de evaporadores acoplados sendo que um evaporador é usado como fonte de calor do seguinte e assim por diante. O resultado desse sistema é a produção de vinhaça concentrada e água evaporada.

Figura 2 - Concentração da Vinhaça



Fonte: Adaptado Poveda (2014)

Nas usinas de cana-de-açúcar, a evaporação para a produção de açúcar utiliza vapor das turbinas de geração elétrica, saturado e com uma pressão de 1,5 kgf / cm² de manômetro (CARVALHO, 2010).

Todo evaporador consiste em uma superfície de aquecimento em que ocorre a transferência de calor do fluido de aquecimento para o fluido do processo e em que ocorre o

vapor gerado a partir do fluido concentrado. O que difere dos diferentes tipos de evaporadores é como a separação entre o vapor gerado que é o vapor da concentração do caldo e usado para aquecimento em usinas e destilarias de etanol e o fluido concentrado produzido (FRANCO, 2001).

Segundo Amorim (2011), o evaporador da concentração de vinhaça é definido por sua capacidade de evaporação e pelo número de efeitos e número de estágios. Este evaporador foi projetado para concentrar a vinhaça na proporção de 10:1, removendo a água que é condensada internamente e retirada pela bomba de condensado.

Segundo Amorim (2011), a aplicação da vinhaça concentrada no campo traz inúmeras vantagens, como:

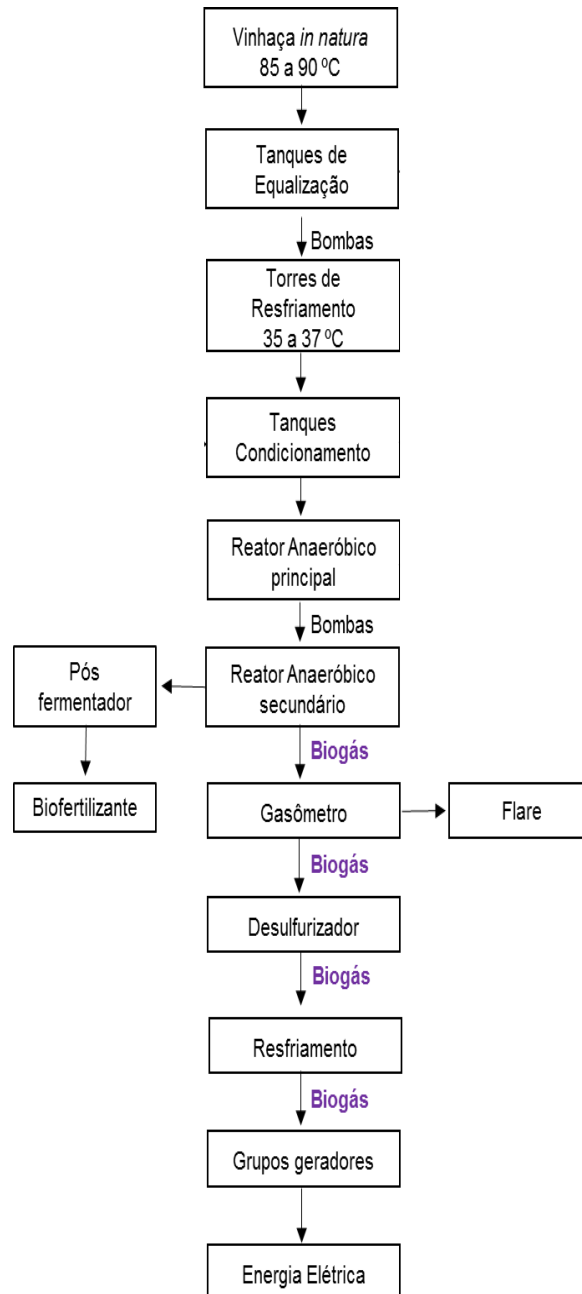
- Racionalização do uso de potássio e sua equalização no solo com otimização de seu resultado agrônômico.
- Aumento da produtividade de 3,0 a 5,0 toneladas por hectare.
- Otimização da gestão ambiental no processo produtivo.
- Produção de etanol com vinhaça já concentrada.
- Operação fácil e automatizada e aço 100% inoxidável, com possibilidade de adaptação em destilarias existentes.
- Concentração através de vapores alcoólicos gerados na destilaria (sem consumo de vapor).

Outra possibilidade tecnológica, segundo Feam (2015), é a tecnologia de biodigestão anaeróbia é uma excelente adequação à produção de biogás a partir da vinhaça onde são os bioreatores, por exemplo, os reatores UASB, devido ao ótimo desempenho e capacidade de operar com efluentes de alta carga orgânica. No entanto, devido à dificuldade na formação de grânulos verificada pelo metano da vinhaça nos reatores UASB nos últimos anos, houve um desenvolvimento tecnológico direcionado exclusivamente ao setor (SOUZA, 2005; SOUZA et al. 1992). Para associar alta eficiência a maior robustez operacional, os sistemas desenvolvidos para o processamento de vinhaça buscam suportar as constantes variabilidades desse efluente em termos de DQO, reduzir a concentração de sulfato e precisar parar durante a entressafra.

Ressalta-se que o processo de digestão anaeróbia, a vinhaça “in natura” da produção de etanol atinge uma temperatura entre 85 e 90°C. A vinhaça passa por trocadores de calor, tanques para homogeneizar o resíduo, neutraliza-lo (para reduzir sua acidez, por exemplo, ajustes de ph) e resfriar para reduzir sua temperatura antes da entrada do reator anaeróbico.

A Figura 3 apresenta a opção tecnológica de processamento da vinhaça através da biodigestão anaeróbia visando a produção de energia elétrica.

Figura 3 - Biodigestão Anaeróbia - Energia elétrica



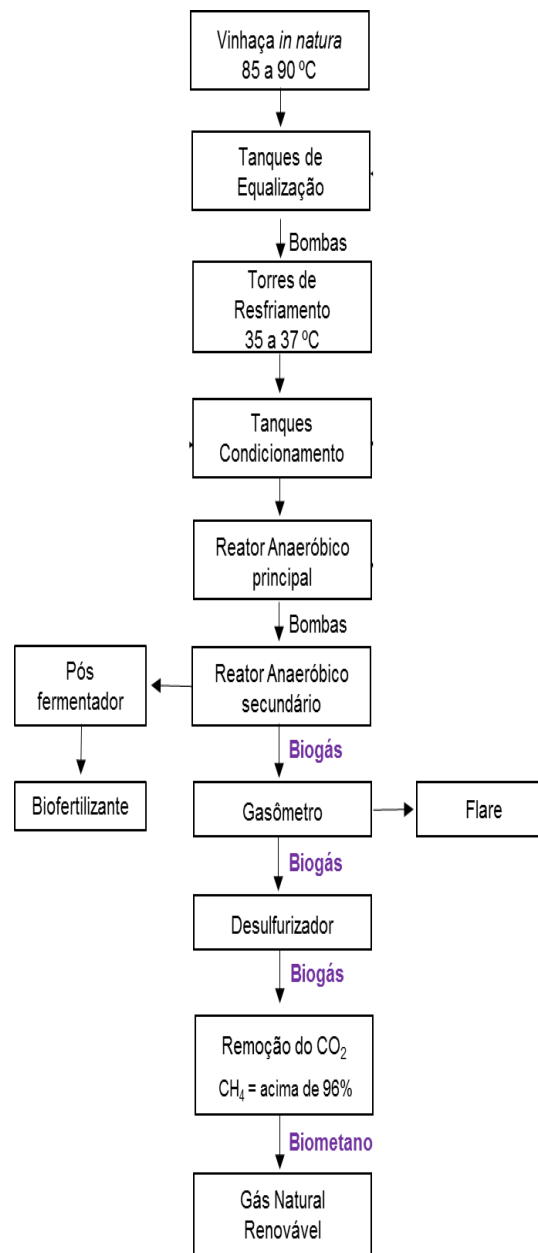
Fonte: Adaptado Salomon (2007)

Como exemplo de aplicação industrial, temos a patente de invenção BR102012020335, que é o sistema utilizado pela Geo energética para produzir 4 MW de energia e além de obter biofertilizantes. O sistema de digestão consiste em tanques de biorreator mais um tanque para digestão, e recebe matéria-prima de um silo de ração agindo em conjunto com um picador com a fragmentação de palha e outros resíduos descarregados

no interior do silo. é caracterizado por um conjunto de transportador de deslocamento controlado do material sólido para os tanques do biorreator. A base do silo inclui uma tubulação de saída de chorume que flui para uma lagoa, que por sua vez inclui tubulação de lixiviados e reciclagem de chorume para tanques de biorreatores (GEOENERGETICA, 2017).

A Figura 4 apresenta a opção tecnológica de processamento da vinhaça através da biodigestão anaeróbia visando a produção de gás natural renovável.

Figura 4 - Biodigestão Anaeróbia – Gás Natural Renovável



Fonte: Adaptado Salomon (2007)

A Figura 4 apresenta diferenças neste diagrama de blocos em relação ao mostrado na Figura 3, com a ausência de grupos geradores para gerar eletricidade e a presença do processo

de remoção de CO₂ e outros gases e particulados para que estejam nos níveis exigidos pela resolução número 8 de 2015 da Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Poveda (2014) e Salomon (2007) afirmaram que a tecnologia da digestão anaeróbia está madura com amplo desenvolvimento do mercado de operação e manutenção e enfatiza que a vinhaça contém alto teor de ácidos graxos voláteis, demanda química de oxigênio (DQO) e é possível produzir biogás usado como energia renovável.

Salomon e Lora (2009) estudam o aprimoramento da digestão e muitos pré-tratamentos de várias tecnologias e tipos de resíduos para insumos do processo: resíduos de aterros, vinhaça e resíduos de animais. O estudo traz as vantagens da tecnologia de biodigestão anaeróbia, sendo as principais elencadas a seguir:

- Geração de energia descentralizada com uma fonte renovável;
- Colaboração e otimização do processo de saneamento básico;
- Possibilidade de um ambiente mais sustentável para a usina de cana e seu entorno.

1.2 Análise econômica considerando aspectos ambientais

Tecnologias para o processamento de vinhaça considerando aspectos ambientais, mas sem avaliação monetária são alvo de estudos de Salomon e Lora (2009), Mota et. al., (2015, 2013), Verstraete et. al., (1996) que apresentam aspectos técnicos e econômicos.

Freeman (1993), Motta (2006) apresentam uma forma de avaliação econômica de recursos ambientais. No entanto, o trabalho não se relaciona com a internalização dessa avaliação no fluxo de caixa de um projeto. Curran (2000) apresenta o ciclo de vida ambiental, mas não se relaciona com a avaliação econômica de recursos ambientais no fluxo de caixa do projeto.

Cruz et al. (2013) apresenta um estudo de viabilidade para o uso da vinhaça apenas na cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, abordando os aspectos ambientais do uso da vinhaça (água, ar e terra) e comenta a necessidade de incluir a avaliação econômica dos impactos ambientais sobre o fluxo de caixa dos próximos empreendimentos do setor.

Em resumo, Cruz et al. (2013) e Ceres Inteligência Financeira (2013) afirmam que a digestão e concentração, essas tecnologias apresentam diversos ganhos em relação ao uso na natureza, sendo a primeira responsável pela mitigação dos GEE e a segunda por uma aplicação mais racional da vinhaça e por uma melhor equação da volumes de água utilizados

pelas usinas e destilarias (MOORE, 2017; VAN HANDEL, 2014, 2005; WALTER et. al., 2011; YANG et. al., 2016).

Poveda e Coelho (2014), Jouppert et. al., (2017), Khatiwada et. al., (2012), Mata-Alvarez (2000) analisam alguns impactos ambientais (GEE, por exemplo) do uso da vinhaça, mas não realizam a monetização dos aspectos ambientais na avaliação econômica do projeto de melhoria da utilização da vinhaça, através da disponibilidade e tecnologias viáveis utilizadas (GEOENERGETICA, 2017; PRADO et. al., 2013).

De acordo com Kraemer (2004), o mesmo defende a contabilização dos benefícios ambientais, valorando economicamente os recursos naturais no fluxo de caixa dos projetos. Contabilizar recursos ambientais significa comercializar recursos ambientais com valor de mercado e com organizações e/ou pessoas com a real disposição para adquirir respectivo recurso.

Com relação a valoração econômica dos recursos ambientais, as mesmas podem ser divididas em métodos diretos e indiretos.

De acordo com Maia (2002), os métodos diretos valoração é uma maneira de valoração do recurso ambiental de acordo com a disposição do mercado na aquisição dos respectivos bens e serviços ambientais. No caso da vinhaça, a comercialização de energia, gás natural renovável, biofertilizantes, venda da água reutilizada, fertilizantes organominerais são bons exemplos.

Com relação aos métodos indiretos, Motta (1998) afirma que é uma forma de valoração dos recursos ambiental derivada de funções ecossistêmicas, como a proteção do meio ambiente, do solo, o que poderia se aplicar no caso da vinhaça e de difícil quantificação no fluxo de caixa de um projeto.

Detalhando os métodos diretos e indiretos, apresenta-se diversas formas de valoração econômica de recursos ambientais. A seguir são elencados as principais utilizadas:

- Método de Valoração Contingente (MVC) – disposição a pagar (DAP) por um serviço ambiental, ou seja, valores de uso mais o de existência (ROMEIRO; MAIA, 2003).
- Método Preços Hedônicos (MPH) – conhecido como preços implícitos, é um método de avaliação de bens, tem por base a hipótese de Lancaster (1966), o que poderia avaliar os benefícios sociais de uma área verde no centro de uma cidade por exemplo.

- Método de Custo de Viagem (MCV) – estima o valor econômico de um patrimônio ambiental, de acordo com a demanda da população por frequentar um parque público em uma cidade, por exemplo.
- Método de Produtividade Marginal (MPM) – atribui valor ao uso do meio ambiente relacionando a quantidade ou qualidade de um recurso ambiental, ou seja, representa valores de uso direto ou indireto dos bens e serviços respectivamente usados no processo produtivo. Como exemplo, isso ocorre com os créditos de carbono, ao mensurar um valor da tonelada de CO₂ equivalente evitada ao adotar uma tecnologia limpa.
- Método de Custo Evitado (MCE) – estima o custo evitado ao adotar uma tecnologia de processamento de vinhaça mais adequada do ponto de vista ambiental, mitigando custos monetários com multas ambientais, por exemplo.
- Método de Custo de Controle (MCC) – valora através de custos de controle relativo a danos ambientais, mitigando perda da qualidade ambiental do valor de uso de bens ou serviços.
- Método de Custo de Reposição (MCR) – valorar o custo da reposição do bem ambiental, considerando que o recurso ambiental possa ser ressarcido em sua totalidade.
- Método de Custo de Oportunidade (MCO) – estima o valor do recurso ambiental por meio do custo da oportunidade, ou seja, determinado bem ambiental poderia ser utilizado de outra forma trazendo mais receitas diretas e indiretas para sociedade.
- Método Damage & Loss Assessment (DaLA) - um método de valoração flexível e adaptável a diversas realidades. Pode incluir perdas por desastres, econômicas pós desastre, valor de reposição de ativos físicos total ou parcialmente destruídos, perdas nos fluxos da economia decorrentes da ausência temporária dos ativos danificados e à situação fiscal do governo. (WORLD BANK, 2016).

Esse último método envolve uma valoração ambiental flexível e baseada em eventos futuros de difícil mensuração para o caso do processamento da vinhaça no Brasil e com isso não foi utilizada nesse trabalho.

Por fim, ressalta-se que o valor econômico do recurso ambiental (VERA) classifica aspectos da avaliação ambiental. VERA é composta pela soma do Valor de Uso (VU) e do

Valor de Não Uso (VNU), cada um deles pode ser dividido em outros termos, como mostra a Equação 1 (MOTTA, 2006 e MOTTA, 1998):

$$VERA = \frac{(VDU + VIU + VO)}{VE} + \frac{VE}{VNU} \quad (1)$$

onde:

- VDU = Valor direto do uso: valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício é em decorrência de seu uso direto.
- VIU = Valor indireto do uso: valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício de seu uso deriva das funções do ecossistema.
- VO = Valor de opção: é o valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manter a opção de um dia para usar, direta ou indiretamente um recurso ambiental.
- VE = Valor de existência: valor que deriva de uma posição moral, cultural ou altruísta.
- VNU = Valor do não uso: Valor atribuído pelo não uso de um recurso ambiental.

De acordo com MOTTA (1998), um recurso ambiental de um bem ou serviço com valorização de uso direto, os preços de mercado desse bem ou serviço aplicado para avaliar economicamente o recurso ambiental. A construção analítica do método apresentada pela seguinte Equação 2.

$$Z = F(X, E) \quad (2)$$

onde:

Z: é o nível de produção;

F: é a função produção;

X: É o conjunto de insumos formados por bens e serviços e

E: Representa o benefício de um bem ou serviço ambiental

De acordo com Motta (1998), os métodos indiretos a valoração advém do próprio sistema ambiental, exceto a questão do crédito de carbono que é um direito de uma pessoa física ou jurídica de país desenvolvimento poluir em prol de um investimento na redução de toneladas equivalentes de carbono em projetos de energias renováveis em países subdesenvolvidos.

De acordo com Motta (1998), o valor da opção é o que se atribuí aos bens e serviços ambientais que sua opção de uso direto ou indireto no futuro pode estar ameaçada. Um exemplo disso é a água que pode ser reutilizada no processo produtivo da usina de Cana após tratamento da vinhaça via processo de concentração da mesma.

O Valor de existência e o Valor de não uso, o mesmo não se quantifica, pois o exemplo dessa classificação é a busca de um mundo sustentável ou a lei das espécies ameaçadas que proporciona a proteção da fauna e flora em geral.

Em relação ao processamento da vinhaça, é proposto a seguinte aplicação da VERA apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Métodos de valoração econômica da vinhaça

Métodos de valoração			Valor de uso			Valor de não uso
			VDU	VIU	VO	VE
Métodos indiretos	Produtividade marginal		Crédito de carbono	NA	NA	
	Mercado de Bens de substituição	Custos evitados	Multas ambientais	NA	NA	
		Custos controlados	Tecnologias para melhor uso da vinhaça	NA	NA	
		Custos de substituição	Custos da aplicação inadequada da vinhaça no solo.	NA	NA	
		Custo de oportunidade	Economia com a produção de biofertilizantes	NA	NA	
Métodos diretos	Mercado real	Custo de viagem	Disposição inadequada da vinhaça próximo a pontos turísticos	NA	NA	
		Preços hedionicos	Uma usina de cana-de-açúcar que reduz a poluição pode aumentar o valor do solo e das áreas próximas		NA	
	Mercado hipotético	Avaliação contingente	Renovabio e outras formas de mercado hipotético para o uso da vinhaça			

Fonte: Adaptado Motta (2006)

Legenda: NA – não aplicável.

Com relação aos métodos indiretos, por exemplo, embora os custos de substituição de uma ação mais poluente por outra mais amigável ambientalmente é fácil de se visualizar mas difícil de se quantificar economicamente.

Outra forma de classificação do valor econômico dos recursos ambientais é por sua capacidade de gerar fluxos de serviços ecossistêmicos. De acordo com MEA, 2005, os serviços ambientais podem ser em serviços de provisão (valor de uso), regulação (valor de uso), suporte (valor de uso) e culturais (valor de não-uso).

A Tabela 4 apresenta uma correlação entre as classificações propostas por Motta (1998) e MEA (2005), além da apresentação de uma proposição para o aproveitamento da vinhaça no Brasil em suas respectivas classificações de valoração econômica dos recursos ambientais considerando valores de uso e não uso.

Tabela 4 - Vinhaça e sua Valoração econômica dos recursos ambientais

Valor de Uso				Valor de Não-Uso
MOTTA (1998)	Valor de Uso Direto	Valor de Uso Indireto	Valor da opção	Valor de existência
MEA (2005)	Serviços de Provisão	Serviços de Regulação	Serviços de Suporte	Cultural
Vinhaça no Brasil	Venda de energia, gás natural renovável e/ou biofertilizantes.	Obtenção de créditos de carbono, além da melhoria qualidade do ar e da água nos lençóis freáticos.	Melhoria na conservação de recursos que podem estar ameaçados para o uso, como é o caso da energia e/ou água.	São questões culturais como à busca de um mundo sustentável, preservação de bens que nem terá acesso aos mesmos como os ursos polares.

Fonte: Adaptado Motta (1998) e Mea (2005)

Enfim, após todas opções apresentadas e elencadas, foi possível estudar e aplicar os seguintes itens neste trabalho:

- Economia de fertilizantes (custos de oportunidade);
- A economia com multas ambientais (custos evitados);
- Crédito de carbono (produtividade marginal).

Ressalta-se que diversos são os artigos e trabalhos abordam a questão da valoração ambiental como instrumento de gestão ambiental conforme alguns apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Trabalhos sobre Valoração ambiental

Autor	Título	Local da publicação
BOJO, J.	The cost of land degradation in Sub-Saharan Africa	Ecological Economics, vol.16, n. 2, fevereiro 2006.
SBSTTA,	Economic Valuation of Biological Diversity	Convention on Biological Diversity, UNEP/CDD/SBSTTA/2/13, Julho 2016
WILLIS, K.; GARROD, G. E SHEPPERD, P.	Towards a Methodology for Costing Biodiversity Conservation in the UK	HMSO, Department of the Environment, London, 2016.
BATEMAN, I.J. E R. K. TURNER.	The contingent valuation method	In: Turner, K. (ed.) Sustainable Economics & Management: Principles and Practice, Belhaven, London, 2013.
BRISCOE, J., ET AL.	Toward equitable and sustainable rural water supplies: a contingent valuation study in Brazil	The World Bank Economic Review, 4 (2): 115, 2010.
EHRlich, P.R. E EHRlich, A.G.,	The value of biodiversity	Ambio, n.21, pp.219-226, 2012.
KAHNEMAN D. E KNETSCH, J.L.	Valuing public goods: the purchase of moral satisfaction,	Journal of Environmental Economics and Management, vol. 22, nº1, pp. 57-70, 2012.
MOTTA, R. S.; E MENDES, A.P.	Custos de saúde associados à poluição do ar,	Pesquisa e Planejamento Econômico, vol 25, n.1, abril 2015.

FEREEIRA, K.; CURADO, P. H. C. F.; ANDRADE, E. A.	Economia Ambiental, a importância de se valorar os impactos ambientais.	Revista acadêmica Alfa, 2014.
DEBEUX, C. B S. A	Valoração econômica como instrumento de gestão ambiental – o caso da despoluição da Baía de Guanabara.	COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.
EBERLE, W.D. E HAYDEN, F.G.	Critique of contingent valuation and travel cost method for valuing natural resources and ecosystems,	Journal of Economic Issues, Vol. 25, pp. 649-685, 2011.

Fonte: Autor, 2020

Por fim, a questão da valoração econômica de aspectos ambientais é uma questão que ainda não foi aplicada ao potencial de aproveitamento da vinhaça no Brasil. Em outros países esse estudo também não foi desenvolvido visto que as usinas de cana de açúcar não contêm a produção o etanol, de onde é oriunda a vinhaça.

1.3 Análise do ciclo de vida

Para realização do estudo das opções de processamento da vinhaça no Brasil, com a proposição da valoração econômica dos recursos ambientais é necessário analisar quais são as categorias de impacto ambiental que são mais significativas para que possa subsidiar a proposição de políticas governamentais.

A seleção dos programas foi por conta da disponibilidade, visto que os mesmos estão a disposição dos pesquisadores com licença sem custo monetário, além de banco de dados com informações específicas da vinhaça das usinas de cana do Brasil.

A metodologia desse item é baseada em uma ferramenta chamada Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao processamento da vinhaça. Esta tese utilizou a ACV de acordo com a norma ISO 14.040/44. Para realizar uma análise ambiental, o OpenLCA e o Simapro foram utilizados pois esses softwares realizam uma planilha de cálculo de forma automatizada através das adições e subtrações em cada categoria de impacto ambiental, sendo ótimos instrumentos para avaliação do ciclo de vida.

Para uso do OpenLCA e Simapro é necessário a entrada de informações da vinhaça encontrada no Brasil em um modelo matemático, ou seja, um método que é um meio intermediário para cálculo dos impactos ambientais. Esse método foi elaborado pelo Centre for Environmental Science of Leiden University (CML) que utiliza indicadores referenciais.

Os resultados são convertidos através de fatores de caracterização, obtendo assim um indexador dos impactos ambientais por classe de impacto. Este método foi atualizado em 2000 e segundo Guinée et. al., (2001), o CML2 é a metodologia de avaliação de impacto mais utilizada em estudos na área de resíduos e vinhaça.

A Tabela 6 apresenta as iniciais das categorias, unidades e os principais elementos químicos que contribuem para cada categoria de impacto ambiental.

Tabela 6 - Categorias ambientais CML 2 e sua importância

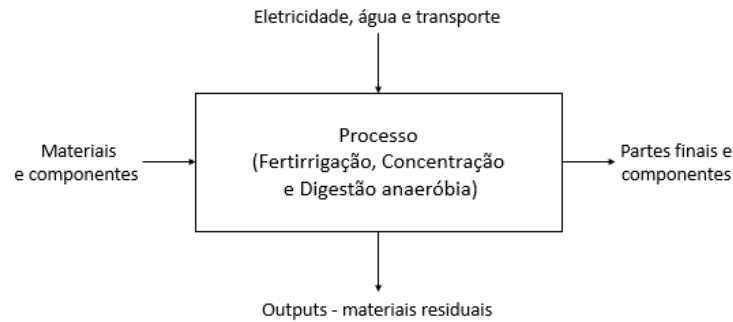
Iniciais	Categorias	Unidades	Principais Contribuições
ADP	Depleção abiótica	kg Sb eq.	Petróleo bruto, minério de ferro, derivados de petróleo em geral.
ACP	Acidificação	kg SO ₂ eq.	Dióxido de enxofre (SO ₂), NO _x , Amônia (NH ₃).
ETP	Eutrofização	kg PO ₄ ⁻³ eq.	Fósforo (PO ₄ ⁻³),
FEP	Ecotoxicidade aquática em água doce	kg 1,4-DB eq.	Óxido nitroso (N ₂ O), Amônia (NH ₃), Dióxido de enxofre (SO ₂) e Cádmio.
GWP	Aquecimento global	kg CO ₂ eq.	Dióxido de carbono (CO ₂) e óxido nitroso (N ₂ O)
HTP	Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq.	Óxido nitroso (N ₂ O), amônia (NH ₃), dióxido de enxofre (SO ₂), NO _x , cádmio e acrilonitrila.
ODP	Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq.	Clorofluorocarboneto (CFC)
POP	Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq.	Monóxido de carbono (CO), NO _x e Tolueno.
TEP	Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq.	Óxido nitroso (N ₂ O), amônia (NH ₃), dióxido de enxofre (SO ₂), cádmio, entre outros

Fonte: Adaptado Guinée et. al., (2001)

Ambientalmente, para o melhor uso do tratamento com vinhaça, é essencial destacar a possibilidade de aumentar o suprimento de energia renovável na matriz energética brasileira, de acordo com a Conferência das partes (COP 21) em Paris.

A Figura 5 apresenta o inventário do ciclo de vida, que é a análise de dependentes dos tipos e quantidades de recursos naturais (água, energia, transporte de vinhaça) e dos materiais e componentes utilizados no processo de produção do produto, dos métodos de transporte e quais são os produtos produzidos e materiais residuais.

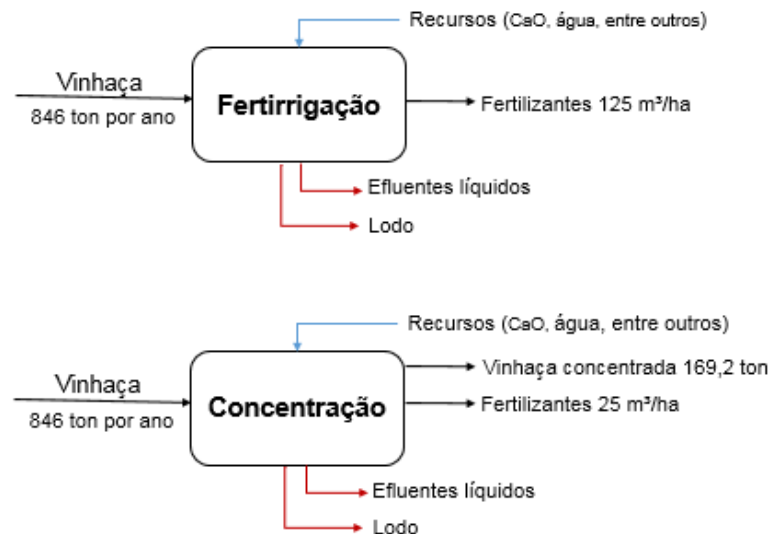
Figura 5 - Inventário de ciclo de vida



Fonte: Autor, 2020

A Figura 6 apresenta as principais características das tecnologias de concentração e fertirrigação. Veja que na tecnologia da fertirrigação temos como saída do processo apenas fertilizantes. Já a tecnologia da concentração da vinhaça é gerado pelo processamento da vinhaça, fertilizantes e a vinhaça concentrada que pode ser aplicada em locais mais distantes da usina de cana.

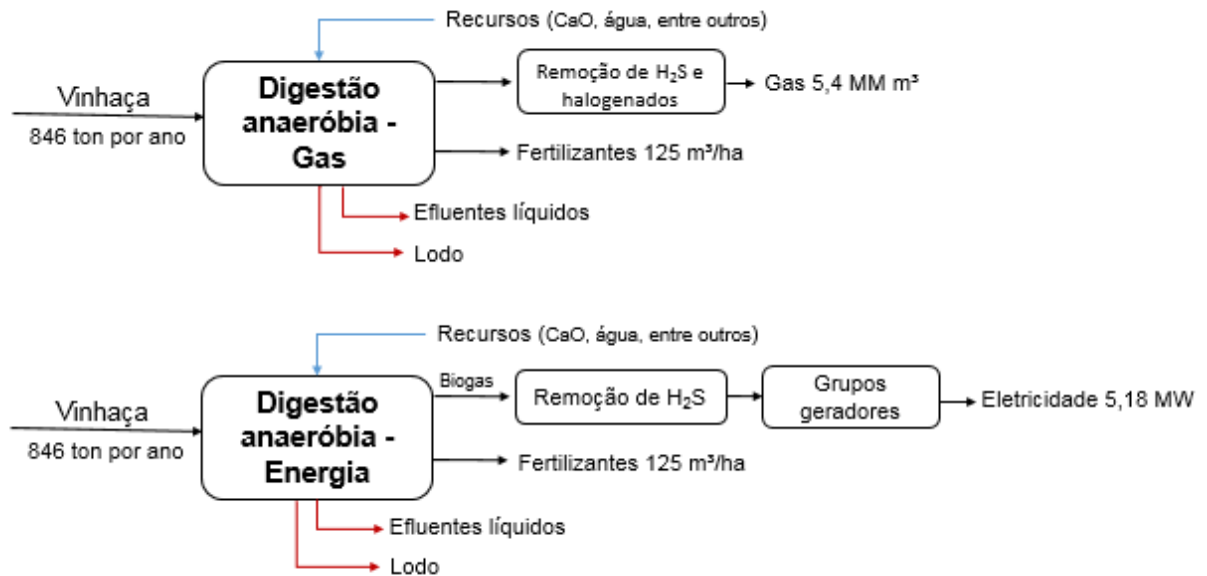
Figura 6 - Fertirrigação e Concentração



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 7 apresenta as entradas e saídas para a tecnologia de digestão anaeróbia, ou seja, no primeiro caso para geração de gás natural renovável (GNR) é necessário a remoção de ácido sulfídrico e halogenados para que o GNR esteja adequado para o uso, seja na indústria, veículos ou injeção nos gasodutos. Já a opção da produção de energia elétrica é necessário a injeção do biogás nos grupos geradores para a produção de energia que pode ser consumida localmente ou distribuída para a rede.

Figura 7 - Digestão Anaeróbia



Fonte: Autor (2020)

1.4 Legislações e normas do setor

Em 1967, o Governo Federal publicou o decreto-lei nº 303, que proíbe a destinação da vinhaça “in natura” em rios e lagoas para mitigar a poluição do meio ambiente. Segundo Freire e Cortez (2000), em 1980, foram realizadas iniciativas para reduzir o inadequado lançamento de vinhaça em rios, lagoas e afins que foram refletidas no arcabouço de normas e leis que surgirão nos anos seguintes.

Em 1988, a Constituição Federal determinou que é a União Federal, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios a proteger o meio ambiente, combatendo todas as formas de poluição, seja através do ar, da água ou do solo.

A Figura 8 apresenta os estados que possuem normativas com padrões técnicos para a aplicação da vinhaça atualmente, apenas os principais estados produtores de etanol no Brasil já desenvolveram legislação específica sobre o assunto.

Figura 8 - Estados do Brasil com normas técnicas para aplicação de vinhaça



Fonte: Autor (2020)

No estado de São Paulo, a Cetesb - empresa ambiental do estado de São Paulo - apresenta a norma técnica 4.231 / 2006 com os principais aspectos, critérios e procedimentos para aplicação do solo agrícola. É um documento técnico principal para esta área. Em Minas Gerais, o Copam - Conselho Estadual de Política Ambiental - apresenta a Resolução Normativa nº 164, de 30 de março de 2011, que estabelece normas complementares para usinas de açúcar e destilarias de álcool, relativas ao armazenamento e aplicação de vinhaça e efluentes em solo agrícola.

No Mato Grosso do Sul, a Semade - que é Secretária de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - cria a Resolução Estadual nº 19, de 09/09/2015, que apresenta os principais aspectos que apresentam procedimentos para o armazenamento, distribuição e aplicação no solo agrícola da vinhaça fresca e águas residuais geradas a partir do processamento da cana-de-açúcar.

No Paraná, a Sema - que é a Secretaria de Estado do Meio Ambiente, cria o Decreto nº 10.068, de 02/06/2014, apresenta prazos e procedimentos para a adequação ambiental das

Usinas de Processamento de Cana para a produção de Etanol, Açúcar e Energia Elétrica e outras medidas.

Em geral, o que acontece é que todas essas legislações estaduais estabelecem regras para o descarte de vinhaça em solo agrícola, com o objetivo de estabelecer os critérios e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça, gerados pela atividade de açúcar e álcool no processamento da cana-de-açúcar.

No entanto, não há correlação direta entre os danos ambientais causados pelo uso inadequado da terra e as multas impostas por não cumprimento dessas leis ambientais. Idealmente, isso deve ser bem regulamentado pelo governo federal para gerar estabilidade regulatória e ambiental para a indústria e a sociedade.

O cenário atual não possui legislação federal para aplicação de vinhaça no solo. Por isso nessa tese no Apêndice A será proposto um projeto de lei federal para suprir essa lacuna. Enfim, é fato que muitos estados que ainda não possuem legislação específica utilizam o procedimento estabelecido pela Norma Técnica Cetesb P4.231 / 2006 como referência.

O estado de Goiás, por meio de seu ministério público estadual, publicou a recomendação número 3, de 13 de junho de 2007, onde orienta as usinas de cana-de-açúcar a seguir os parâmetros estabelecidos no padrão técnico publicado pela Cetesb para a aplicação da vinhaça no solo. A Tabela 7 apresenta a evolução do Padrão Técnico Cetesb P 4.231 desde sua primeira publicação em 2005 até os dias atuais.

Tabela 7- Norma Técnica P 4.231 da Cetesb - 2006 e 2015

Status	2005	2016
Área de proteção de poços	<ul style="list-style-type: none"> O item 5.1.4 não permitiu a aplicação de vinhaça em áreas protegidas. 	<ul style="list-style-type: none"> Permite a aplicação da vinhaça a uma distância mínima de 100 metros, se a área de proteção do poço não estiver definida.
Aplicação da vinhaça	<ul style="list-style-type: none"> Critérios definidos como limite para aplicação de vinhaça. 	<ul style="list-style-type: none"> Estudo necessário considerando o relevo, a necessidade das culturas, a profundidade e fertilidade do solo e a concentração de potássio na vinhaça; A aplicação não pode causar erosão, acúmulo de vinhaça na superfície, gerar odores e proliferar vetores.
Monitorando a qualidade do solo e das águas subterrâneas	<ul style="list-style-type: none"> O item 5.10.2 faz considerações gerais sobre a monitoramento da qualidade do solo. 	<ul style="list-style-type: none"> Na Seção 5.9.2, são estabelecidos valores de referência para o solo e as águas subterrâneas.

Fonte: Autor, 2020 baseado na NT Cetesb

Características diferentes de temperatura, solo, entre outros aspectos, impossibilitam a elaboração/regulamentação de legislação federal com os mesmos parâmetros técnicos de aplicação da vinhaça.

A aplicação deve respeitar os parâmetros técnicos considerando especialmente a concentração do potássio da vinhaça. Para tanto, é necessário a proposição de legislação específica para cada estado, principalmente os produtores de cana, para tratar desse assunto. No entanto, essas normas estaduais tornam mais eficaz o princípio da prevenção e o princípio do desenvolvimento sustentável consagrado no art. 225 da Constituição Federal, Lei Federal nº 6.938 / 1981, que trata da Política Nacional do Meio Ambiente e da Declaração do Rio de Janeiro de 1992.

A vinhaça a ser utilizada em aplicações no solo deve caracterizar os seguintes parâmetros de pH (potencial de hidrogenação), resíduo total não filtrável, dureza, condutividade elétrica, sódio, sulfato, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, entre outras características (LOPES et 2017; SIQUEIRA NETO et al. 2016).

De acordo com Semade 19/2015, a necessidade de caracterização da vinhaça deve ser o resultado de pelo menos duas amostragens realizadas no local de aplicação da vinhaça durante a colheita, antes da apresentação do plano de aplicação.

A norma técnica 4.231 / 2005 do estado de São Paulo permite a seguinte quantidade máxima de volume de vinhaça por hectare, de acordo com a Equação (3) (CETESB, 2006):

$$\text{Volume da vinhaça} \left(\frac{m^3}{ha. ano} \right) \leq \frac{3744 \cdot (0,05 \cdot CTC - ks) + 185}{kvi} \quad (3)$$

onde CTC é a capacidade de troca catiônica, ks é a concentração de potássio no solo e kvi é a concentração de potássio na vinhaça. A mesma norma técnica ainda estabelece a necessidade de construção de geomembranas de impermeabilização sintéticas para o armazenamento de vinhaça.

O uso de energias renováveis e o processamento da vinhaça através das tecnologias mais apropriadas e ecológicas é a melhor opção neste caso. Vale ressaltar que o Brasil está discutindo amplamente o assunto com o advento da implementação do RenovaBio, que é a Política Nacional de Biocombustíveis instituída pela Lei 13.576 / 2017, com os seguintes objetivos:

- Fornecer uma contribuição essencial para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil nos termos do Acordo de Paris;
- Promover a expansão adequada dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase no fornecimento regular de combustíveis;

- Garantir a previsibilidade do mercado de combustíveis, induzindo ganhos em eficiência energética e redução de emissões de gases de efeito estufa na produção, comercialização e uso de biocombustíveis.
- Cumprir a Portaria ANP nº 303/2018: É o Grupo técnico da RenovaBio no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis.

É essencial dizer que, em 5 de junho de 2018, foi realizada pela agência nacional de petróleo, uma audiência pública para deliberar os deveres da agência reguladora ao lado do programa renovável e quais são os direitos e deveres de cada ator econômico e órgãos reguladores.

Em resumo, apresenta-se outros fatos principais da estruturação da reforma que ocorreram após a publicação desta política pública que tem como foco a redução de gases de efeito estufa, mas que não se preocupa com outros aspectos, como doenças humanas, por exemplo.

- Resolução ANP nº 758/2018: Regulamenta a certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis referida no artigo 18 da lei nº 13.576 / 2017, e o credenciamento de empresas de inspeção.
- Resolução ANP nº 791/2019: Dispõe sobre a individualização de metas anuais obrigatórias para a redução de emissões de gases de efeito estufa na comercialização de combustíveis, no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).
- Decreto número 9.888 / 2019: Dispõe sobre a definição das metas anuais obrigatórias para redução das emissões de gases de efeito estufa para a comercialização de combustíveis, referidas na Lei nº 13.576 / 2017, e estabelece o Comitê de Política.
- Comitê Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio. Resolução CNPE número 15/2019: define as metas obrigatórias anuais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa para a comercialização de combustíveis.

Por fim, é necessário entender a maneira que as ações do RenovaBio podem mitigar as principais conseqüências nocivas da vinhaça no meio ambiente, sejam elas a poluição do ar, da água e da terra.

2 METODOLOGIA

Nesse capítulo será apresentada a metodologia utilizada nessa tese. Inicialmente foram realizadas as pesquisas bibliográficas para que pudesse mapear quais são as tecnologias para o melhor aproveitamento da vinhaça no Brasil.

Em um segundo momento foi aplicado os questionários (Apêndice B) aos especialistas do setor para ratificar quais eram as tecnologias mais utilizadas pelo setor e os gargalos que dificultam o uso de tecnologias que trazem mais benefícios ao meio ambiente.

Em um terceiro momento será apresentada a metodologia de valoração econômica de recursos ambientais apresentando uma avaliação econômica para as opções tecnologias factíveis para o Brasil.

Em um quarto momento é apresentado a metodologia de uma avaliação ambiental utilizando os sistemas computacionais Simapro e Openlca em busca de uma quantificação de quais são os principais aspectos que impactam a poluição do ambiente ao utilizar as tecnologias mais factíveis de processamento da vinhaça. No Apêndice C é apresentado como ocorre a utilização desses sistemas computacionais.

Em um quinto momento, será apresentada a metodologia utilizada para análise normativa e legislação do setor em busca de mapear quais impactos ambientais estão presentes no arcabouço legal e se existe uma forma objetiva punição e multas para cada impacto ambiental encontrado pela análise ambiental realizada no Openlca e Simapro.

Por fim, será apresentada a metodologia do modelo construído, considerando os aspectos ambientais (multas, créditos de carbono, entre outros) para realização da avaliação econômica do processamento da vinhaça. Além disso, os aspectos mais danosos ao meio ambiente, por exemplo, que serão identificados na avaliação ambiental serão elementos fundamentais a serem utilizados na proposição de políticas governamentais, que nessa tese será o projeto de lei do programa nacional da vinhaça presente no Apêndice A.

A Figura 9 apresenta as etapas do estudo, métodos de pesquisas usados em busca de atingir os objetivos propostos.

Figura 9: Etapas metodológicas da pesquisa

	Conhecimento prévio		Formulação do modelo			Aplicação
	Etapa 1: Diagnóstico	Etapa 2: Estado Atual	Etapa 3: Base de dados e avaliação econômica	Etapa 4: Base de dados e avaliação ambiental	Etapa 5: Base de dados e avaliação normativa	Etapa 6: Aplicação do modelo
OBJETIVO	Identificar, no contexto brasileiro, com base nas possíveis alternativas tecnológicas factíveis a serem executadas.	Ratificar as principais tecnologias usadas no processamento da vinhaça no Brasil e gargalos para o melhor aproveitamento.	Análise de cenários que permitam verificar a viabilidade econômica do uso da vinhaça no Brasil	Análise do impacto ambiental do processamento da vinhaça .	Mapeamento de multas e notificações ambientais aplicadas por órgãos ambientais no Brasil.	Análise integrada considerando os aspectos econômicos e ambientais e proposição de políticas governamentais.
METODOLOGIA	Estudo da literatura através das publicações em periódicos, patentes, entre outros além da análise da realidade do setor.	Consulta aos especialistas através de questionário aplicado digitalmente durante os anos de 2017 e 2018.	Modelagem do estudo de viabilidade econômica (Usina de cana padrão) com as tecnologias factíveis (questionários).	Utilização de sistemas de avaliação ambiental (Openlca e Simapro) e banco de dados específicos da vinhaça do Brasil.	Consulta base de dados aos órgãos ambientais (Cetesb), além dos processos em tribunais de justiça no Brasil.	Utilização da ferramenta construída e proposição de um Projeto de lei para o setor.

Fonte: Autor (2020)

2.1 Questionários

Segundo os estudos de Marconi e Lakatos (2003), os questionários são um instrumento de coleta de dados, contendo uma ordem lógica de perguntas, que neste trabalho foram respondidas por um sistema contratado da empresa e site "Survey Monkey" e sem a presença do pesquisador. No Apêndice B é apresentada o questionário completo aplicado aos especialistas.

Em geral, os questionários cumprem dois objetivos: descrever as características e mensurar determinadas variáveis de um grupo de profissionais de um determinado setor, sendo, em essência, uma entrevista altamente estruturada e segmentada (RICHARDSON et. al., 1999).

Nesse sentido, os questionários representam uma forma rígida e rica de troca de informações (GIVEN, 2008). Nessa tese, é possível mapear essas tecnologias utilizando o melhor uso da vinhaça e qual retorno da taxa interna necessário para motivar esse investimento.

Segundo Brinkmann (2008) a importância de trabalhar com questionários é devido a possibilidade de medir a opinião do mercado sobre uma determinada tecnologia a ser utilizada e qual a análise qualitativa de um determinado assunto, como por exemplo, a análise qualitativa cuja porcentagem de viabilidade econômica motiva a mudança de uso de uma tecnologia.

De acordo com Richardson et al. (1999) mostrando muitas e mútuas contribuições entre as duas abordagens, indicando que os métodos qualitativos podem apoiar a pesquisa quantitativa das seguintes maneiras:

- Utilizar questionários e técnicas de observação como ferramentas para auxiliar na formulação de problemas durante toda a fase de planejamento da pesquisa;
- Uso de questionários, entrevistas, observações e discussões em grupo para enriquecer o processo de coleta de dados; e
- Uso de questionários e outras técnicas qualitativas neste trabalho e relacionando-os com métodos quantitativos.

Segundo Martins (2010), o trabalho com abordagens quantitativas e qualitativas não são discrepantes ou mutuamente exclusivos, mas, pelo contrário, são complementares. Muitas pesquisas qualitativas forneceram técnicas estatísticas para o tratamento e quantificação de

parte dos dados coletados. É possível a conexão entre uma visão quantitativa e qualitativa em busca de uma solução integrada para melhor aproveitamento da vinhaça no Brasil.

O questionário foi aplicado a trezentas pessoas e respondido por trinta e nove pessoas, profissionais da área e especialistas do setor, correspondendo a 13% do universo.

A seguir, são apresentadas as perguntas feitas aos respondentes do questionário:

1. Qual é o setor profissional?
2. Qua e a tecnologia usada no Brasil?
3. Qual é a Taxa interna de retorno (TIR) para mudar a tecnologia?
4. A digestão anaeróbia é um processo mais econômico que a fertirrigação?
5. A concentração é um processo mais econômico que a fertirrigação?
6. Tecnologias ambientais versus vantagens financeiras?
7. O governo oferece pouco incentivo para tecnologias para melhor uso da vinhaça?
8. É necessário criar um programa nacional para incentivar o melhor uso da vinhaça no Brasil?

No segundo momento, após verificação das respostas do questionário, foram definidas quais tecnologias viáveis para implementação e em larga escala para o processamento da vinhaça.

No capítulo de resultados dessa análise, será avaliado através da geração de gráficos e análise crítica dos resultados, a concatenação desse item com os aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais da busca de um melhor aproveitamento da vinhaça no Brasil.

2.2 Análise econômica considerando aspectos ambientais

A Tabela 8, apresenta valores presentes para uma usina de açúcar com 200 m³ por hora de vinhaça, que é uma usina de um tamanho médio calculado pelo autor com as informações Unica (2018) do valor de m³ por hora de cada usina de cana do Brasil. A coluna “investimento” apresenta os valores estimados em dólar do capital necessário para implementar a respectiva tecnologia. AnTecCosts (análise de tecnologias e custos) apresenta os valores de custos de operação e manutenção de cada tecnologia durante o ano.

Tabela 8 – Valores de investimentos para diferentes tecnologias

Tecnologia	Investimento (\$)	AnTecCosts - Custos anuais para cada tecnologia (\$)	Referência
Fertirrigação	≈ 0	480,000	(Elia Neto, 2016)
Concentração e fertirrigação	4,000,000	70,600	(Poveda, 2014)
Digestão anaeróbia (energia)	7,800,000	62,500	(Salomon, 2007)
Digestão anaeróbia (gás natural renovável)	8,134,000	77,720	(Salomon, 2007)

Fonte: Adaptado Salomon (2007), Poveda (2014), Elia Neto (2016)

As diferenças entre os valores de investimento inicial, operação e manutenção está relacionado a robustez de cada tecnologia e a necessidade ou não de mais operações unitárias de cada caso. De acordo com Salomon (2007), a operação e manutenção da produção de gás natural renovável se deve a operação unitária adicional em relação a produção de energia que é a purificação do biogás para se tornar biometano necessitando de tratamento de redução de ácido sulfídrico e halogenados, por exemplo.

Segundo Abreu (2014), Poveda (2014) e Salomon (2007), é necessário apresentar as equações para o cálculo da avaliação econômica dos recursos ambientais que serão apresentadas a seguir, a partir da Equação 4 que traz o cálculo do Valor presente líquido (VPL).

$$VPL = Investimento - \sum_{n=1}^{10} \frac{Receitas_n}{(1 + TMA)^n} \quad (4)$$

onde TMA é a taxa mínima de atratividade, indicador típico em análise de investimentos. A TMA é a taxa que motiva o investimento em um projeto ou negócio.

De acordo com Gitman (2004), o valor presente líquido (VPL) determina o valor presente de um investimento pela soma descontada de todos os fluxos de caixa recebidos do projeto.

Na Equação 5, as receitas atuais de um ano “n”, podem ser calculadas considerando a venda de energia e o gás natural renovável (GNR) além da economia ambiental, composta por crédito de carbono e custos evitados, tais como multas ou notificações ambientais pelo descarte inadequado da vinhaça.

$$Receitas_n = \left(\begin{matrix} Venda \\ energia \end{matrix} \right)_n + \left(\begin{matrix} Venda \\ Gas \end{matrix} \right)_n + \underbrace{\left(\begin{matrix} Economia \\ Ambiental \end{matrix} \right)_n}_{\substack{\text{Crédito de carbono,} \\ \text{custos evitados: multas}}} - AnTecCosts_n \quad (5)$$

A Equação 6 apresenta o valor de venda de energia que é o produto da produção de vinhaça por ano multiplicado por seu valor energético além da multiplicação por seu valor monetário em R\$/kWh.

$$\left(\frac{Venda}{Energia} \right) = \left(\frac{kWh}{ton\ vinhaça} \right) \cdot \left(\frac{R\$}{kWh} \right) \cdot \left(\frac{Produção\ de\ vinhaça}{por\ ano} \right) \quad (6)$$

A Equação 7 apresenta o valor de venda do gás que é calculado com o mesmo raciocínio da energia, mudando apenas a multiplicação por seu valor monetário em \$/m³.

$$\left(\frac{Venda}{Gas} \right)_n = \left(\frac{m^3\ de\ gás}{ton\ de\ vinhaça} \right) \cdot \left(\frac{R\$}{m^3} \right) \cdot \left(\frac{Vinhaça\ produzida}{por\ ano} \right) \quad (7)$$

A Equação 8 apresenta o cálculo das receitas totais considerando os aspectos ambientais.

$$REC = \left(\frac{Energia\ da\ vinhaça}{vinhaça} \right) \cdot \left(\underbrace{0.451 \frac{ton\ CO_2}{MWh\ of\ vinhaça}}_{\substack{\text{Toneladas de CO}_2 \\ \text{equivalente por} \\ \text{unidade de vinhaça}}} \right) \cdot \left(\underbrace{20.74 \frac{\$}{ton\ CO_2}}_{\substack{\text{Crédito de carbono} \\ \text{valor de mercado}}} \right) \cdot \left(\frac{Produção\ de\ vinhaça}{por\ ano} \right) \quad (8)$$

A Equação 9 apresenta os custos evitados, nesse caso com possíveis multas ambientais.

$$\left(\frac{Multas}{Evitadas} \right) = \left(\frac{Número\ de\ incidentes}{de\ incidentes} \right) \cdot \left(\underbrace{25,000 \frac{\$}{incidentes}}_{\text{custo com um incidente}} \right) \quad (9)$$

A Equação 10 apresenta o cálculo da produção anual de vinhaça.

$$Produção\ de\ vinhaça = \underbrace{200 \frac{m^3}{hr}}_{\substack{\text{vinhaça da cana} \\ \text{processada}}} \cdot \underbrace{5040 \frac{hr}{yr}}_{\substack{\text{horas de} \\ \text{operação} \\ \text{no ano}}} \cdot \underbrace{0,070 \frac{m^3}{ton}}_{\substack{\text{quantidade} \\ \text{etanol} \\ \text{por ton de} \\ \text{cana}}} \cdot \underbrace{12 \frac{L}{L}}_{\substack{\text{litros de} \\ \text{vinhaça} \\ \text{por litro} \\ \text{de álcool}}} = 846.720 \frac{m^3}{yr} \quad (10)$$

Com uma planta de 200 m³ por hora de cana processada é possível calcular à seguinte quantidade de produção de vinhaça por ano.

A Equação 11 apresenta que a quantidade de energia elétrica produzida com a geração de biogás pode ser calculada como:

$$Q \text{ biogas por ano} = \text{Volume de Biogas} * (1 - \text{perdas}) * \text{poder calorífico} \quad (11)$$

onde:

Vol = volume

Poder calorífico do biogás = 17.765 Kj porNm³

Perdas = 5%

A Equação 12 apresenta a produção de energia para todas as opções de análise tecnológica e de cenários.

$$\text{Energia} = Q \text{ biogas por ano} * \text{eficiência energética} \quad (12)$$

A Equação 13 apresenta a valoração económica dos aspectos ambientais levantados da seguinte forma, para o cenário de produção de energia:

$$\text{REC} = \left(\text{Energia de vinhaça} \right) \cdot \underbrace{\left(0.451 \frac{\text{ton CO}_2}{\text{MWh de vinhaça}} \right)}_{\substack{\text{Toneladas de CO}_2 \\ \text{equivalente por} \\ \text{unidade de vinhaça}}} \cdot \underbrace{\left(20.74 \frac{\$}{\text{ton CO}_2} \right)}_{\substack{\text{Crédito de carbono} \\ \text{valor de mercado}}} \quad (13)$$

A Equação 14 apresenta a economia com biofertilizante (BO), calculado da seguinte forma:

$$\text{BO} = \underbrace{80\%}_{\substack{\text{percentual de} \\ \text{fertilizantes substituído} \\ \text{por biofertilizantes}}} \cdot \underbrace{\left(350 \frac{\$}{\text{ton fertilizantes}} \right)}_{\substack{\text{preço do fertilizante mineral}}} \cdot \left(\frac{\text{Demanda anual} \\ \text{de fertilizante pela} \\ \text{capacidade da planta}}{\text{capacidade da planta}} \right) \quad (14)$$

A Equação 15 apresenta o número de “x” incidentes, multiplicado pelo custo estimado de cada multa ambiental.

$$\text{EC} = \underbrace{x \text{ incidentes}}_{\substack{\text{número} \\ \text{de incidentes} \\ \text{em 10 anos}}} \cdot \underbrace{\left(25,000 \frac{\$}{\text{incidente}} \right)}_{\substack{\text{custo com um incidente}}} \quad (15)$$

A Equação 16 apresenta a valoração ambiental para cada ano k , por exemplo, $AnValEnvRes_k$ que é calculado.

$$\text{AnValEnvRes}_k = \underbrace{\text{REC}_k}_{\substack{\text{crédito} \\ \text{carbono}}} + \underbrace{\text{BF}_k}_{\substack{\text{bio} \\ \text{fertilizante}}} + \underbrace{\text{EC}_k}_{\substack{\text{custos} \\ \text{evitados}}} \quad (16)$$

A Equação 17 apresenta o valor total de cada receita a ser calculada.

$$AnValTot_k = \varphi \cdot AnValEnvRes_k - AnTecCosts_k \quad (17)$$

onde:

$AnValTot_k$ = Soma total

$AnValEnvRes_k$ = Soma total: valoração econômica, ambiental e custos evitados.

$AnTecCosts_k$ = Soma total dos custos evitados

A análise econômica deste trabalho considerou a relação de um dólar para quatro reais (moeda brasileira), de acordo com a taxa de câmbio brasileira.

A Tabela 9 apresenta o cenário para avaliação econômica de aspectos ambientais, considerando as opções tecnológicas, onde os custos evitados, por exemplo, são multas ambientais que podem ser aplicadas à cana-de-açúcar que violam as leis ambientais. Considera-se o custo de multas padrão evitadas do setor que está no patamar de R\$ 100.000 (cem mil reais) ou \$25.000 (vinte e cinco mil dólares). Esse valor foi obtido após consulta do autor aos órgãos estaduais e federais de controle no Brasil.

Tabela 9 - Análise de cenários

Indicadores de viabilidade	Concentração - Cenário 1	Concentração - Cenário 2	Concentração - Cenário 3
Multas ambientais	*	*	Sim
Licenciamento Ambiental	*	*	Sim
Economia com fertilizantes	Sim	Sim	Sim
TMA	15%	10%	10%
Indicadores de viabilidade	Energia - Cenário 1	Energia - Cenário 2	Energia - Cenário 3
Multas ambientais	*	*	Sim
Licenciamento Ambiental	*	*	Sim
Crédito de carbono	*	*	Sim
TMA	15%	10%	10%
Indicadores de viabilidade	Gás Natural renovável - Cenário 1	Gás Natural renovável - Cenário 2	Gás Natural renovável - Cenário 3
Multas ambientais	*	*	Sim
Licenciamento Ambiental	*	*	Sim
Isenção de tributos	*	*	Sim
TMA	15%	10%	10%

*Não considerado.

Fonte: Autor (2020)

onde:

Crédito de carbono: A redução de gases de efeito estufa é o principal objetivo do mercado de crédito de carbono. O valor usado para o crédito de carbono foi o valor de mercado em novembro de 2018, US \$ 20,74 (INVESTING, 2018).

Isenção de tributos: isenção do imposto predial de veículos automotores, sendo uma política governamental proposta pelo autor em busca do melhor uso da vinhaça.

O licenciamento ambiental é a economia com isenção de taxas de licenciamento ambiental devido à política ambiental proposta pelo autor para aumentar o melhor uso da vinhaça. Ou seja, neste item foi retirado completamente do custo do projeto a arrecadação de 0,5% do valor total do investimento.

A economia de fertilizantes é uma economia de fertilizantes minerais devido à redução da fertirrigação devido à concentração da vinhaça através de evaporadores. O valor de mercado considerado para este trabalho foi de US \$ 350 a tonelada de fertilizante mineral.

Esta tese apresenta análise de sensibilidade com o cenário conservador, que mostra um aumento de receita de 10% em relação ao cenário padrão. O cenário otimista apresenta um aumento de 50% e um cenário otimista de 90%.

A Tabela 10 apresenta, em resumo, as propostas de análise de sensibilidade dos aspectos ambientais, propondo cenários conservadores, otimistas e super otimistas.

Tabela 10 - Análise de sensibilidade

Indicadores de viabilidade	Concentração - Conservador	Concentração - Otimista	Concentração - Super Otimista
Economia com fertilizantes	10%	50%	90%
Indicadores de viabilidade	Energia - Conservador	Energia - Otimista	Energia - Super Otimista
Valor da energia (\$/MWh)	10%	50%	90%
Crédito de carbono	10%	50%	90%
Indicadores de viabilidade	Gás - Conservador	Gás - Otimista	Gás - Super Otimista
Valor do gás (\$/m ³)	10%	50%	90%

Fonte: Autor (2020)

onde:

Economia com fertilizantes: Se o preço dos fertilizantes minerais aumentar, o que pode ocorrer pela determinação das forças de oferta e demanda do mercado, esse item pode aumentar e gerar uma maior valoração econômica dos recursos ambientais.

Crédito de carbono: o mercado para avaliação do crédito de carbono tem seus preços e variações e, com o tempo é natural aumentar esse preço, assim podemos usar os cenários conservador, otimista e super otimista para realizar essa análise de sensibilidade.

Em todas as análises de sensibilidade, foi utilizada a taxa de inflação de 3% por ano (taxa média do Brasil em 2019) para o ajuste das receitas de insumos energéticos.

2.3 Análise Ambiental

Esta tese utiliza nas simulações, e em todos os cenários, tendo como base a produção de etanol média em usinas do Brasil (Unica, 2018), a capacidade de moagem de 846 toneladas por ano (210 dias).

A planta de tamanho médio é determinada pelas características típicas da cana-de-açúcar brasileira, onde a soma do fluxo de vinhaça das 366 plantas de cana no Brasil (Unica, 2018). Portanto, temos a seguinte usina de cana-de-açúcar padrão apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Indústria brasileira de cana-de-açúcar considerada

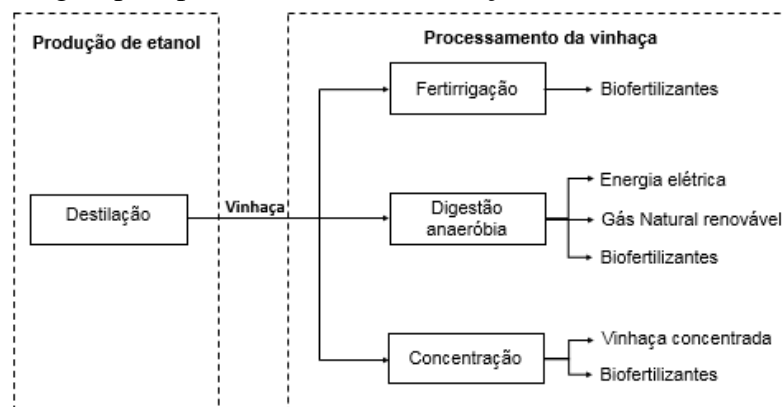
Itens	Valor	Unidade	Fonte
Produção de álcool	84.000	m ³ por ano	Autor
Produção de vinhaça (ano)	846	Ton por ano	Adaptado, Unica (2018)
Produção de vinhaça (hora)	200	m ³ por hora	Autor
Produção de vinhaça por litro de álcool	12	litros / litros	Autor

Fonte: Adaptado Unica (2018)

O cálculo econômico da fertirrigação é a multiplicação do custo médio de transporte e aplicação da vinhaça pelo tempo quantitativo da produção de vinhaça por ano da cana-de-açúcar brasileira. A fertirrigação considerou o cenário base pois a maioria das usinas usam essa tecnologia.

De acordo com Rocha et. al., (2005) é necessário definir os limites do sistema deste trabalho que é apresentado na Figura 10. Dessa forma considera-se as principais alternativas possíveis de tratamento com vinhaça, de acordo com as opções mais técnica, econômica e ambientalmente favoráveis sobre o cenário base.

Figura 10 - Tecnologias para processamento da vinhaça



Fonte: Adaptado Salomon (2007)

A fertirrigação é a opção tecnológica atualmente utilizada na maioria das usinas de cana-de-açúcar no Brasil, por ser a mais atrativa economicamente em relação às demais, além de mão de obra abundantes para atuação na área de operação e manutenção.

Neste trabalho, a referência de produção de vinhaça é a média da produção de vinhaça de todas as usinas de cana no Brasil, calculada e assumidas pelo autor tendo como base em dados da Unica (2018). O valor de doze metros cúbicos de vinhaça por litro de etanol definido pelo autor, utilizando as principais referências do setor (ELIA NETO, 2016; SALOMON 2009; POVEDA, 2014).

Em todas as tecnologias, o insumo nesse sistema é de 846 toneladas de vinhaça por ano, que é a média da geração de vinhaça de todas as plantas de cana no Brasil calculada e produz fertilizantes com aplicação limitada por aspectos regulatórios, técnicos e ambientais.

Para análise ambiental, a avaliação do ciclo de vida deste trabalho, considera as seguintes informações apresentadas na Tabela 12, que apresenta valores sobre fluxos de referência e produtos de vinhaça.

Tabela 12 - Informações básicas para ACV

Ítems	Valor	Unidade	Fonte
Fluxo de referência: Produção de vinhaça	846	Ton	Unica, 2018; Elia Neto, 2016; Salomon 2009; Poveda 2014.
Produção de vinhaça por litro de etanol	12	litros / litros	Elia Neto, 2016; Salomon 2009; Poveda 2014.
Unidade funcional	1,00	ton	Openlca (2019)

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 13 apresenta outras informações para o trabalho de ACV, como unidade e valor sobre energia elétrica e nitrogênio, fosfato e valores padrão de potássio da vinhaça de fertirrigação (SALOMON, 2007).

Tabela 13 - Outras informações ACV

Itens	Valor	Unidade	Fonte
Energia elétrica	1,00	MWh	Openlca (2019)
Nitrogênio	0,162	Ton	
Fosfato	0,127	Ton	
Potássio	0,825	Ton	

Fonte: Adaptado Openlca (2019)

De acordo com Macedo et al. (2004), Macedo (2005), existem algumas formas de fertirrigação, como caminhões realizando aplicações direta de vinhaça, onde o valor recomendado é de 100 m³/ha ou pulverizando com o uso de uma bomba de motor com a recomendação de aplicação de 150 m³/ha.

Assim, foi utilizado o valor médio de 125 m³/ha para este trabalho para vinhaça na natureza e biodigestado. Nesse caso de concentração, esse valor é de 25 m³/ha, devido ao fato de a vinhaça utilizada para a fertirrigação estar concentrada. A tecnologia de concentração reduz a vinhaça produzida em 80%, com isso, a quantidade de vinhaça concentrada atinge o valor de 169,2 toneladas.

A Tabela 14 apresenta as principais informações utilizadas para a realização desse trabalho, em especial, valores de conversão energética.

Tabela 14 - Valores de conversão para energia e Gás Natural Renovável

Item	Valor	Célula	Unidade	Número de conversão	Observações	Fonte
m ³ /ano vinhaça (ou 846 tons)	846.720	A1	m ³ /ano	5040	= 210 dias* 24 horas	Unica (2018)
Biogas	10.160.640	A2	m ³	12	=A1*12	Elia Neto (2016)
1m ³ biogas = 2,57 kWh	26.112.845	A3	KWh	2,57	=A2*2,57	Salomon (2007)
Energia	26.113	A4	MWh	1000	=A3/1000	Sistema Internacional
Energia	5,18	A5	MW	5040	= A4/5040	Sistema Internacional
m ³ /ano vinhaça	846.720	A6	m ³ /ano	5040	= 210 dias* 24 horas	Sistema Internacional
Biogas	10.160.640	A7	m ³	12	=A6*12	Elia Neto (2016)
Metano	5.588.352	A8	m ³	55%	=A7*2,57	Salomon (2007)
Gás Natural renovável	5.420.701	A9	m ³	97%	=A8*97%	Salomon (2007)

Fonte: Autor (2020)

O inventário é uma lista das quantidades de materiais e energia consumidos nos diferentes estágios do ciclo de vida de um produto ou processo. Neste ponto, relacionam-se os materiais e fluxos de energia de um processo de tratamento com vinhaça, apresentados de forma a representar o produto e suas entradas e saídas totais do meio ambiente.

A Tabela 15 apresenta as principais características usadas neste trabalho como entradas e saídas gerais e de energia (produtos, água, solo e ar). Os valores de entrada e saída usados são baseados nos valores padrão do Openlca e Simapro. Esses dados serão “inputs” da metodologia CML 2 para que possamos calcular os impactos ambientais de cada tecnologia.

Tabela 15 - Entradas e saídas deste trabalho

Entradas	Unidades	Valor
Vinhaça	Ton	846
Água (30° C)	Ton	935
CaO (85%)	Ton	3.57
Águas residuais de açúcar	Ton	374
Produtos químicos (Fe III EDTA or Fe ₂ (SO ₄) ₃)	Ton	0.25
Oxigênio	Ton	127
Terra	m ²	28,168
Inputs de energia		
Electricidade	MWh	15.52
Calor	MWh	31.86
Outputs: Produtos		
Electricidade	MWh	42.31
Calor	MWh	48.38
Águas residuais para fertirrigação	Ton	2,292
Enxofre	Ton	0.67
Carga organica	Ton	1.70
Saídas: Emissões para o solo		
Produtos químicos (Ácido iminodiacético (IDA) como EDTA)	Ton	0.21
Produtos químicos (Fe III EDTA ou Fe ₂ (SO ₄) ₃)	Ton	0.01
Outputs: Emissões para o ar		
Enxofre como SO ₂	Ton	0.01
Metano	Ton	0.98
Dióxido de carbono	Ton	34.69
Ácido sulfídrico	Ton	0.00

Fonte: Adaptado Openlca e Simapro (2019)

A fertirrigação descreve a aplicação da vinhaça, a partir da fermentação da cana para uso de fertilizantes. Esta aplicação fornece os nutrientes N, P₂O₅ e K₂O contidos na vinhaça, nomeadamente 4,73E-03 kg N / kg de massa seca, 2,22E-03 kg P₂O₅ / kg de massa seca e

1,77E-02 kg K₂O / kg de massa seca. Esse processo é a aplicação da vinhaça, e as saídas dos passeios são o fornecimento de fertilizantes NPK (ELIA NETO, 2016).

Após escolher o banco de dados com usinas brasileiras de cana-de-açúcar, acessando conforme Apêndice C (OPENLCA, 2019), é possível utilizar como input a vinhaça com características específicas do estudo dessa tese. Na sequencia, inicia-se a análise ambiental dos impactos no ar, na água e no solo da aplicação da vinhaça através de tecnologias, incluindo digestão anaeróbia, concentração e fertirrigação.

A contribuição relativa de cada entrada e saída no sistema do produto para a análise ambiental da respectivas categorias de impacto e convertida em indicadores que representam os possíveis impactos correspondentes no meio ambiente. Isso foi feito multiplicando os resultados do inventário obtido na fase de classificação pelos fatores de caracterização de cada substância dentro de cada categoria de impacto, conforme apresentado na Equação (18) (PENNINGTON et al. 2004).

Categoria de impacto

$$= \sum_s \text{Fator de caracterização (s)} * \text{Inventário de emissões} \quad (18)$$

Os valores dos fatores de caracterização da equação (18) são a contribuição de uma massa de entrada de vinhaça (846 toneladas) que vai gerar saídas para o meio ambiente. Os valores do inventário de emissões são determinados em cada banco de dados.

2.4 Legislações e normas do setor

Foram utilizados sites de tribunais estaduais, tais como, o tribunal de justiça do estado de São Paulo onde se consulta os processos que possuem sentenças de origem de multas ambientais em caso de descarte inadequado da vinhaça. Os sites com os endereços dos virtuais de cada tribunal de justiça e a CETESB apresentados no Apêndice D.

Foi consultado o site da Empresa Ambiental do Estado de São Paulo apresentado no Apêndice D onde foi possível mapear a origem de multas e infrações ambientais cometidas pelos empresários do estado de São Paulo.

Nessa tese, foi realizado através da análise das multas e avaliações encontradas nos sites dos tribunais de justiça estaduais e Cetesb apresentados no Apêndice D, as informações

foram extraídas para uma ferramenta computacional (Microsoft Excel), e apenas multas e infrações ambientais foram filtradas nas usinas de cana-de-açúcar, em particular no caso de descarte inadequado do vinhaça.

Após a pesquisa e os documentos coletados nos sites dos tribunais (Apêndice E) após pesquisa de palavras chaves como “multas” “usinas de cana” “vinhaça”, os resultados obtidos foram analisados e categorizados em um planilha do Microsoft Excel para simplificar a estruturação de um mapeamento de multas e avaliações através de uma metodologia de análise dos dados estatísticos. A etapa de prospecção foi sistematizada para extrair as informações necessárias através da análise estatística específica para o processamento da vinhaça.

O próximo item apresenta os resultados e discussões avaliando e analisando os impactos ambientais por meio do processamento da vinhaça, como esses impactos estão presentes na lei, como as empresas são multadas e quais aspectos ainda não são alvo de multas em busca de um ambiente melhor sob o viés ambiental.

3 RESULTADOS

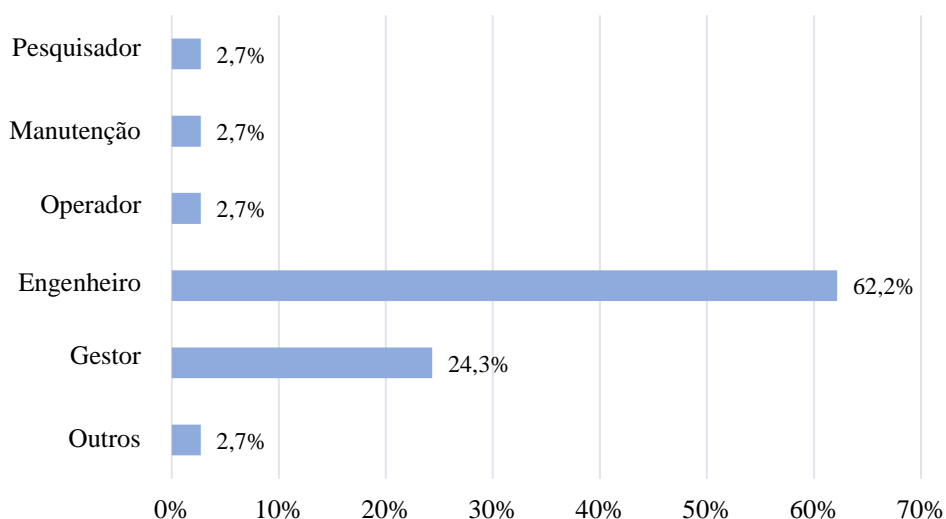
Nesse item serão apresentados os resultados sendo que o primeiro é a análise de questionário. Ressalta-se que os itens se interconectam e de coadunam em busca de políticas governamentais efetivas para o setor.

3.1 Análise dos questionários

O questionário aplicado mapeou a demanda do mercado em busca de novas tecnologias a plicação das mesmas em busca de um ambiente mais sustentável.

A Figura 11 apresenta o percentual de cada categoria profissional que respondeu o questionário (39 respondentes), que foi disponibilizado no ano de 2017 e 2018 de forma digital através do site Survey Monkey.

Figura 11 - Qual é o setor do profissional?



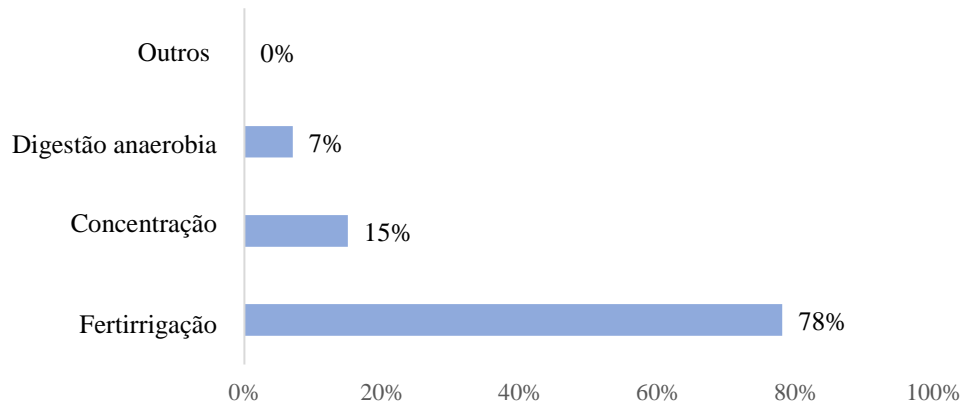
Fonte: Autor, 2020.

Cabe destacar a grande participação dos engenheiros nesta pesquisa, alinhada à realidade do tema pesquisado, que envolve a engenharia em seu processo produtivo, além de gestores para a realização de atividades de operação e manutenção. O baixo percentual de respondentes nas categorias operação, manutenção e pesquisador, justifica-se pela dificuldade

de acesso a esses profissionais diante de agendas atribuladas que impacta o processo de resposta efetiva do questionário.

A Figura 12 apresenta quais são as principais tecnologias atualmente utilizadas nas usinas de cana para destinação final da vinhaça no Brasil.

Figura 12 - Tecnologia de processamento da vinhaça utilizada no Brasil



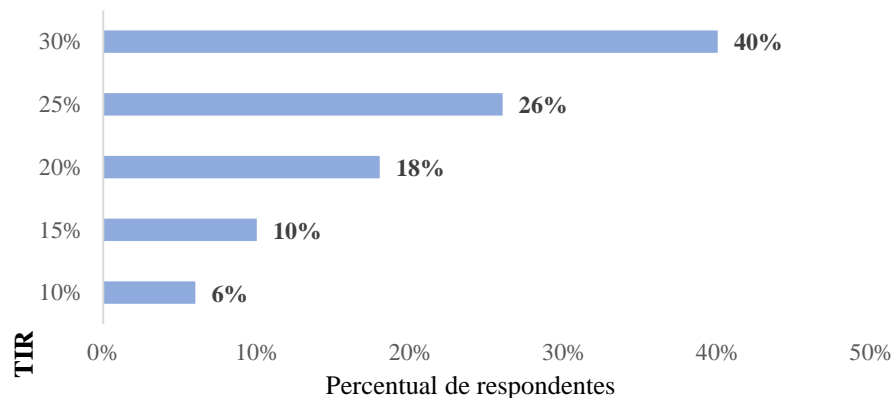
Fonte: Autor, 2020.

É possível observar uma grande importância e predominância que a fertirrigação ainda possui no Brasil, o pouco crescimento da concentração de vinhaça e poucas plantas de digestão. Esta é a imagem tecnológica do país nesta área de acordo com Elia Neto (2016) e Salomon (2007).

A explicação para ter mais plantas de concentração do que a digestão é seu menor valor de investimento inicial em relação à digestão anaeróbia na fase termofílica, em particular (JOPPERT et al., 2017).

A Figura 13 apresenta a taxa interna mínima para motivação de implantação de novas tecnologias de uso da vinhaça na indústria.

Figura 13 - TIR para mudar de tecnologia?

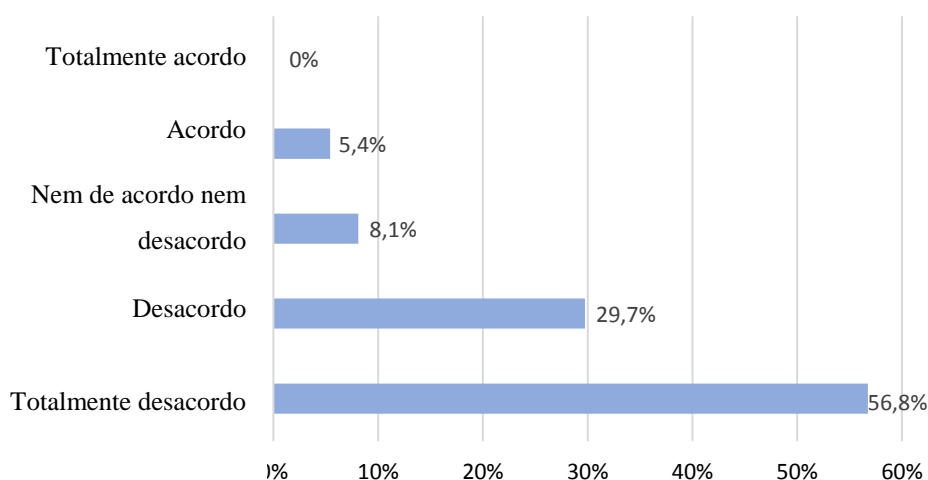


Fonte: Autor, 2020.

Os resultados dos questionários mostram que, dentre os profissionais que responderam, a maioria só mudará a tecnologia para fazer melhor uso da vinhaça se o valor presente líquido for positivo e a taxa interna de retorno do projeto exceder 25%.

A Figura 14 apresenta essa pergunta sobre se a tecnologia de digestão é um processo mais econômico que a fertirrigação, tanto do ponto de vista de investimento inicial quanto operação e manutenção de uma planta de processamento de vinhaça.

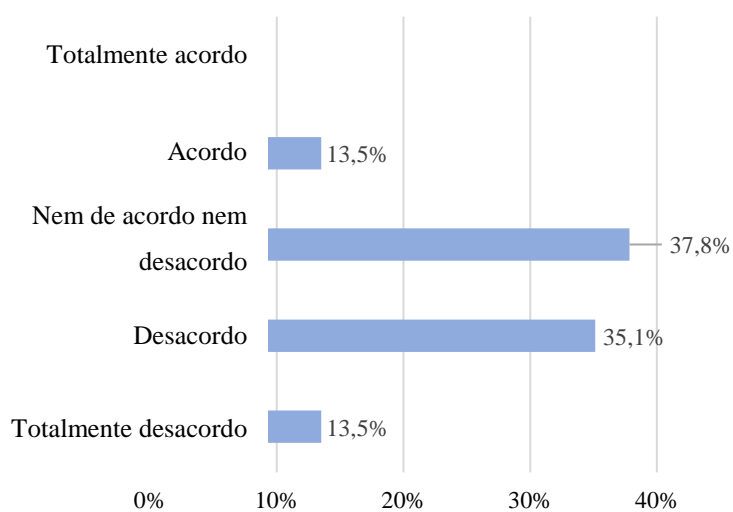
Figura 14 - Biodigestor é um processo mais econômico que fertirrigação?



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 15 apresenta um questionamento se a tecnologia de concentração de vinhaça é um processo de menor impacto ambiental do que a fertirrigação.

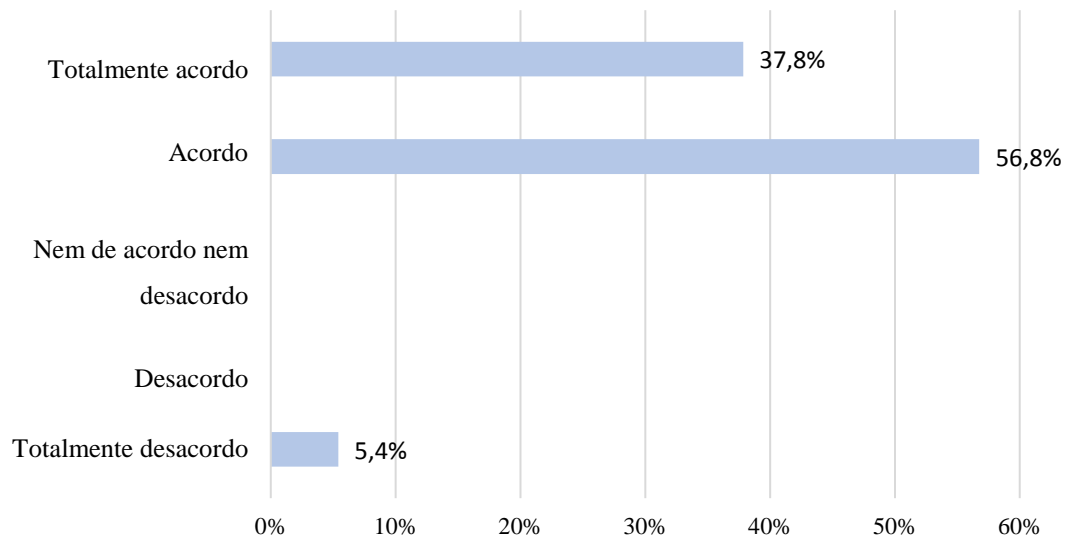
Figura 15 - Concentração é um processo mais econômico que fertirrigação



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 16 apresenta o resultado da questão de se as empresas devem mudar apenas a tecnologia atual para outra com menor impacto ambiental somente se houver vantagens financeiras.

Figura 16 - Tecnologias ambientais x vantagens financeiras



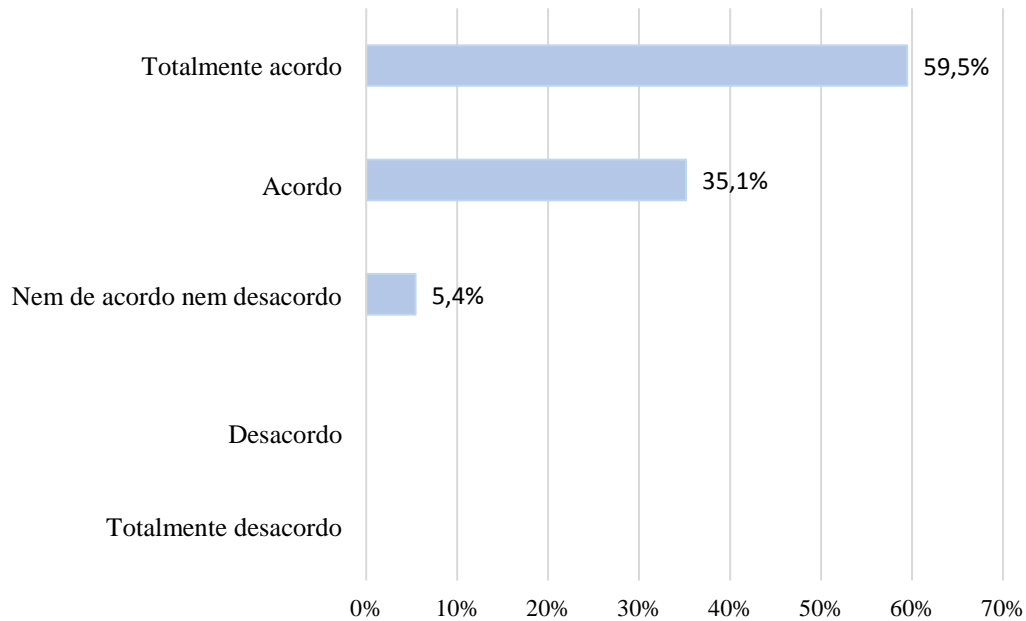
Fonte: Autor, 2020.

É possível visualizar que a maioria dos entrevistados entende que a fertirrigação é mais econômica que a concentração de vinhaça, o que confirma as informações obtidas na academia (SALOMON, 2007; POVEDA, 2014) e no setor industrial (FEAM, 2017).

As respostas mostram que a maioria dos entrevistados entende que a fertirrigação é mais econômica que a digestão, o que confirma as informações obtidas na literatura (ELIA NETO, 2016), empresas especializadas em engenharia do setor, além de associação de classe, como a Associação Brasileira de Biogas.

A Figura 17 mostra que a grande maioria das empresas concorda que só deve mudar a opção de tecnologia para outra com melhor desempenho ambiental se houver benefícios ou vantagens financeiras para a empresa. Ou seja, o fator ambiental por si só não é motivo para tomada de decisão de mudança para opção tecnológica para uma engenharia mais sustentável. Com isso faz necessário valorar aspectos ambientais para que as tecnologias sustentáveis sejam mais atrativas do ponto de vista econômico.

Figura 17 - O governo oferece pouco incentivo às tecnologias para melhor uso da vinhaça?

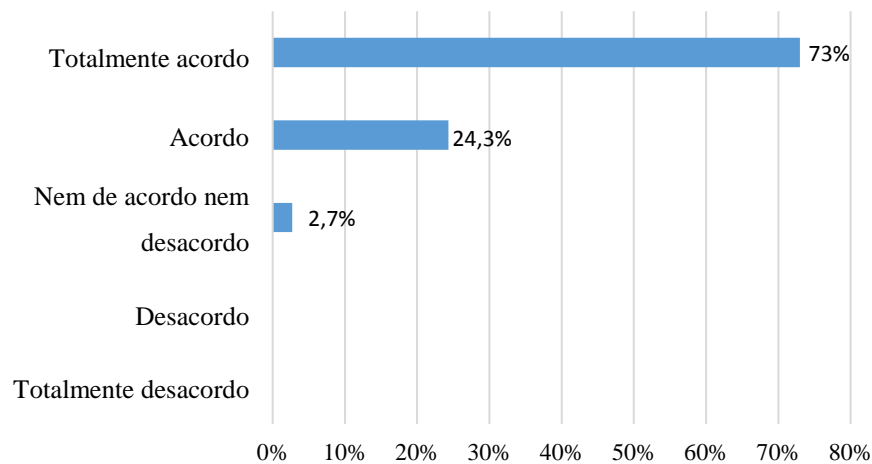


Fonte: Autor, 2020.

Todos os entrevistados concordam que é necessário criar maiores incentivos para o melhor uso da vinhaça, para que possamos disseminar tecnologias que atualmente são mais viáveis em termos ambientais, mas ainda não escalam para serem economicamente competitivas.

A Figura 18 apresenta a pergunta sobre se é necessário criar um programa nacional para incentivar o melhor uso da vinhaça no Brasil.

Figura 18 - É necessário criar um programa de incentivo ao melhor uso da vinhaça?



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 18 mostra que a maioria dos entrevistados concorda que é necessária a criação de um programa nacional para incentivar o melhor uso da vinhaça no Brasil, com linhas de créditos e leilões de energias específicas para esse tipo de entrada de energia.

Finalmente, a valoração econômica dos aspectos ambientais leva a uma maior viabilidade do uso da vinhaça nas tecnologias analisadas e à importância das políticas governamentais com linhas de créditos específicas para estimular o uso dessas tecnologias.

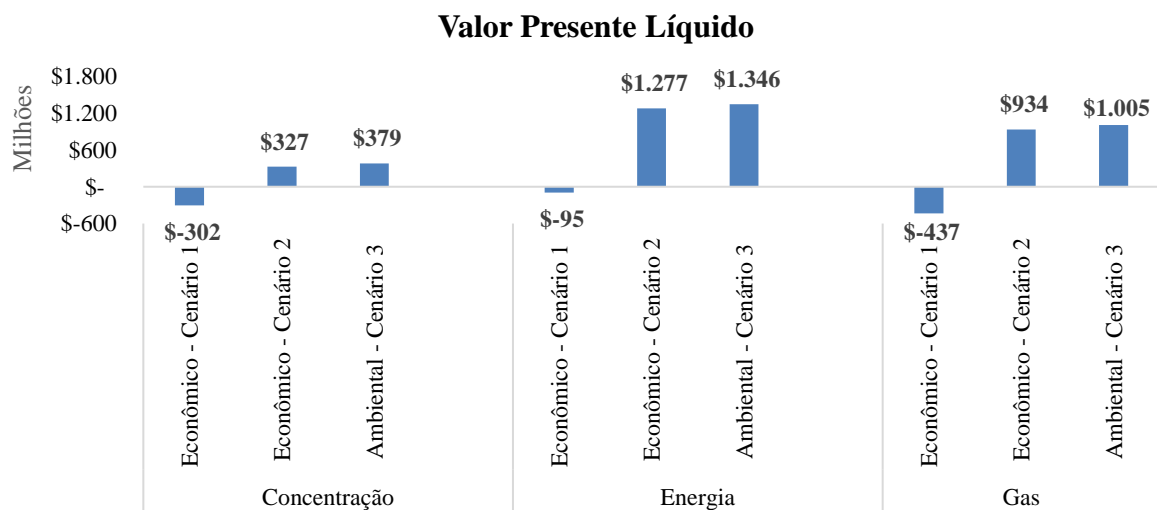
A análise crítica desse item é que os empresários do setor apenas vão escolher uma opção tecnológica ambientalmente mais adequada se a mesma for economicamente competitiva. E são necessários políticas governamentais para o desenvolvimento do setor.

3.2 Análise econômica considerando aspectos ambientais

Os resultados dos questionários mostram de forma clara que a maioria das pessoas mudará a tecnologia para fazer melhor uso da vinhaça se o valor presente líquido for positivo e a taxa interna de retorno do projeto exceder 25%.

A Figura 19 apresenta uma análise econômica das opções tecnológicas para o melhor uso da vinhaça, considerando a valoração econômica dos aspectos ambientais: créditos de carbono, custos evitados da poluição do solo por possíveis multas ambientais e economia com a compra de fertilizantes minerais.

Figura 19 - VPL de opção tecnológica para melhor uso da vinhaça



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 19 apresenta o cenário 1, ou seja, é o cenário que a realização da análise econômica com taxa mínima de atratividade (TMA) de 15% ao ano. O Cenário 2 a TMA é 10%. O cenário 3 considera os aspectos ambientais com a TMA a 10%.

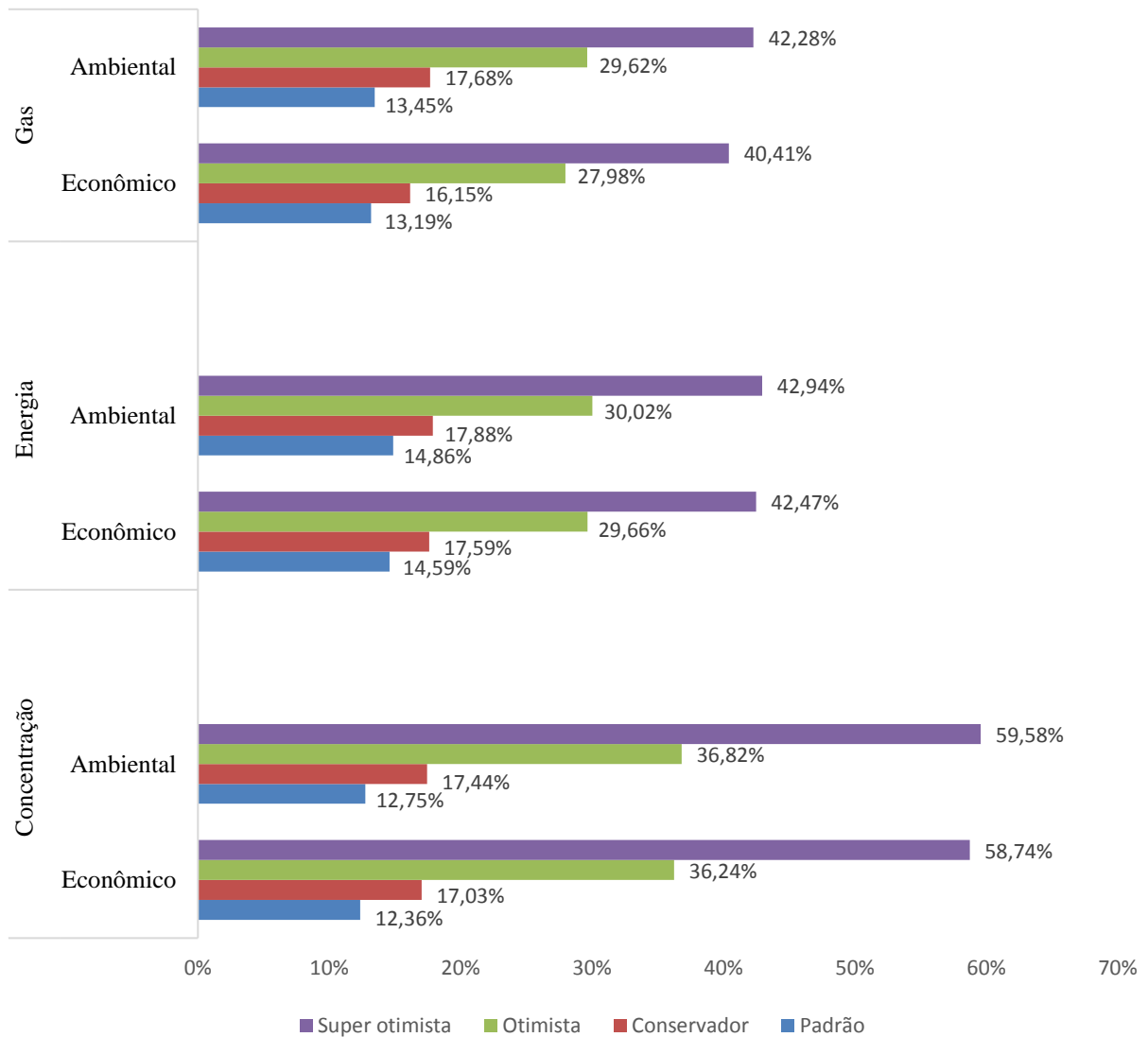
É possível visualizar que a melhor opção para melhor uso da vinhaça após a análise técnica, econômica e ambiental é a geração de energia através da digestão anaeróbia em todas as análises de cenários.

O cenário 3 para gás, o incentivo governamental com a isenção de imposto sobre veículos automotores apenas de cento e vinte automóveis tem um impacto levemente positivo na viabilidade do projeto (cenário 2 para o 3), com o aumento discreto do valor presente líquido desse cenário, mas não o suficiente para superar a opção de geração de energia elétrica.

Deve-se visualizar que os cenários com a redução da taxa mínima de atratividade retornam de quinze a dez por cento (cenários 2 e 3) melhoram a viabilidade econômica em todos os cenários.

A Figura 20 apresenta a taxa interna de retorno da opção tecnológica para melhor uso da vinhaça, considerando cenários econômicos e ambientais, considerando a análise de sensibilidade com Taxa Interna de Retorno e sua evolução com o aumento percentual da receita de 10% no perfil conservador, 50% no otimista e 90% no super otimista para a tecnologia de concentração de vinhaça.

Figura 20 - TIR com análise de cenários



Fonte: Autor (2020)

O meio ambiente apresenta apenas importância mais significativa para a geração de GNR e energia elétrica. No caso da geração de energia elétrica, os aspectos ambientais considerados foram crédito de carbono, multas e licença ambiental, enquanto que para concentração, os aspectos ambientais são multas e licenças ambientais. É particularmente interessante observar que as multas típicas praticamente não afetam a decisão de escolha da tecnologia.

O cenário ambiental relativo ao gás natural renovável, ou seja, (incentivo governamental, multas evitadas e licença ambiental) apenas os incentivos governamentais tem uma maior importância para a decisão do uso da tecnologia. O incentivo governamental projetado nesse aspecto é a isenção de IPVA de carros da usina de cana (no entanto, depende de um programa governamental que ainda não existe - é uma proposta desse trabalho).

3.3 Análise ambiental

A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos através da análise ambiental utilizando as categorias de impactos CML 2 baseline para as tecnologias de processamento da vinhaça (Fertirrigação, Concentração e biodigestão anaeróbia) utilizando os softwares Openlca e Simapro.

Tabela 16 - Impactos ambientais

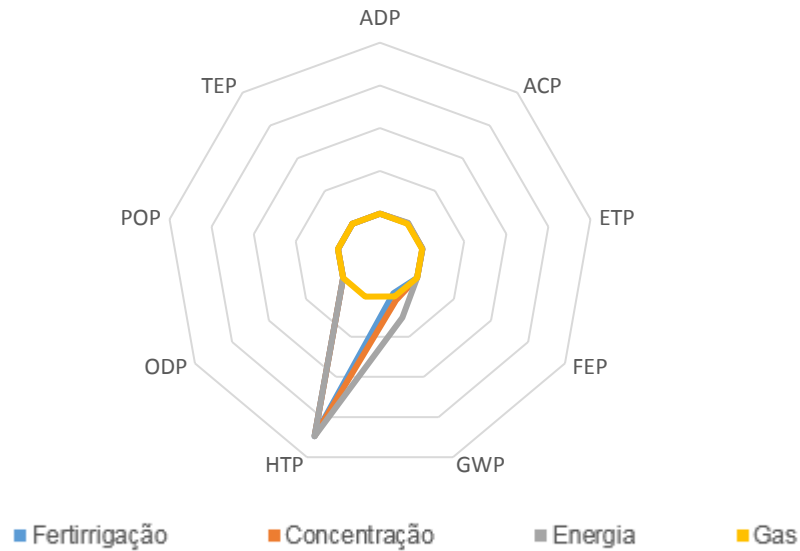
	Fert Open	Fert Sima	Conc Open	Conc Sima	Energy Open	Energy Sima	Gas Open	Gas Sima
ADP	-1,52E+04	-1,34E+04	-7,82E+03	-6,88E+03	-2,84E+04	-2,50E+04	-1,42E+01	-1,25E+01
ACP	1,98E+05	1,74E+05	2,15E+05	1,89E+05	4,24E+05	3,73E+05	2,12E+02	1,86E+02
ETP	1,72E+05	1,51E+05	1,68E+05	1,48E+05	1,65E+05	1,45E+05	8,25E+01	7,26E+01
FEP	2,17E+04	1,91E+04	2,16E+04	1,90E+04	2,18E+04	1,92E+04	1,09E+01	9,60E+00
GWP	-1,59E+06	-1,40E+06	1,80E+06	1,59E+06	1,04E+07	9,16E+06	5,20E+03	4,58E+03
HTP	6,95E+07	6,12E+07	6,94E+07	6,10E+07	6,96E+07	6,13E+07	3,48E+04	3,06E+04
ODP	1,18E-03	1,04E-03	3,12E-04	2,75E-04	7,86E-03	6,92E-03	3,93E-06	3,46E-06
POP	-4,89E+03	-4,30E+03	-3,39E+03	-2,99E+03	7,26E+03	6,39E+03	3,63E+00	3,19E+00
TEP	4,23E+02	3,72E+02	3,93E+02	3,46E+02	5,17E+02	4,55E+02	2,58E-01	2,27E-01

Legenda: ADP- Depleção abiótica, ACP- Acidificação, ETP- Eutrofização, FEP- Ecotoxicidade aquática em água doce, GWP- Aquecimento global, HTP- Toxicidade humana, ODP- Depleção da camada de ozônio, POP- Oxidação fotoquímica, TEP- Ecotoxicidade terrestre, Open- Openlca software, Sima- Simapro software, Fert- Fertilização, Conc- Concentração, Energy - Digestão Anaerobia: energia elétrica, Gas - Digestão Anaerobia: gás natural renovável.

Fonte: Autor e Openlca (2020)

A Figura 21 apresenta os principais impactos ambientais das tecnologias para o melhor uso do tratamento da vinhaça no Brasil.

Figura 21 - Categorias ambientais das tecnologias investigadas



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 21 apresenta que a melhor opção é o gás natural renovável para o tratamento da vinhaça, e a energia é a pior opção, porque a linha está mais distante do centro do gráfico de radar. As tecnologias de concentração e fertirrigação estão aproximadamente no mesmo nível das categorias de impacto ambiental.

Ressalta-se que o gás natural é uma forma de substituir um combustível fóssil por um renovável e limpo. No caso dos automóveis a gasolina ou a diesel, a redução das emissões são imensas o que explica em parte o melhor resultado para o gás natural.

No caso da energia elétrica existem as emissões de dióxido de carbono e outros gases o que gera um viés de baixa do ponto de vista ambiental comparativamente com a opção do gás natural renovável.

No caso da Concentração existe a redução da vinhaça a ser fertirrigada mas existe o gasto e emissões de óleo diesel oriundo dos caminhões da fertirrigação. Na fertirrigação não se reduz o quantitativo mas tem a possibilidade de fertirrigar sem o uso do diesel, em alguns casos, o que faz com que as tecnologias se equivalham do ponto de vista ambiental.

Os efeitos da composição da vinhaça e as categorias do ACV serão apresentadas a avaliação de três cenários, em busca de visualizar e realizar uma análise crítica sobre os mesmos.

A Tabela 17 apresenta a análise de sensibilidade com o planejamento de três cenários em que o cenário dois foi escolhido como ponto central deste experimento, pois com uma planta de 200 m³ por hora de cana, resultando em 846 toneladas por ano (UNICA, 2018) de produção de vinhaça por ano.

Tabela 17 - Cenários analisados

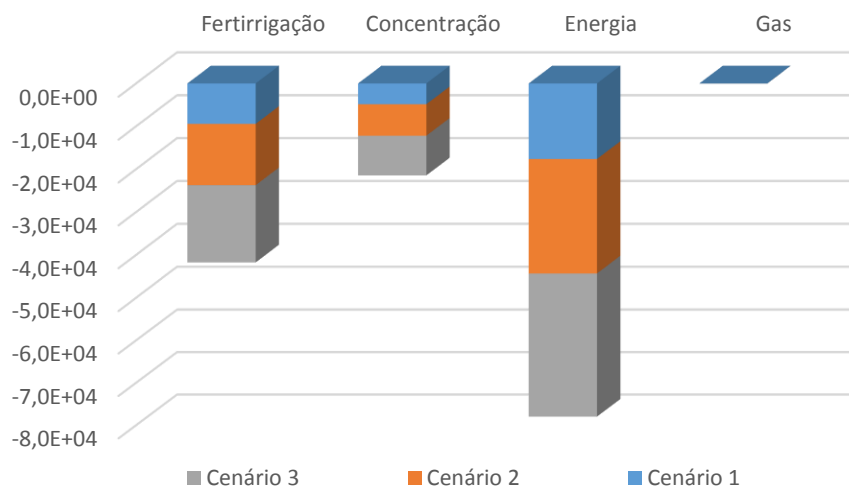
	Potássio	Fósforo	Nitrogênio	Total
Cenário 1	0,58	0,08	0,11	592 ton
Cenário 2	0,82	0,12	0,16	846 ton
Cenário 3	1,06	0,16	0,21	1100 ton

Fonte: Autor, 2020.

No presente trabalho, a seguir são apresentadas cada categoria de impacto ambiental e seus respectivos resultados das tecnologias estudadas em busca do auxílio da tomada de decisões sobre qual caminho seguir.

A Figura 22 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental da depleção abiótica. É essencial entender como, quanto menor o valor do resultado, melhor o impacto ambiental e, no caso de valores positivos, quanto maior o valor do resultado, pior o impacto no meio ambiente.

Figura 22 - Depleção abiótica



Fonte: Autor, 2020.

Recursos abióticos definidos como fontes naturais, como petróleo e energia fóssil, em geral.

A energia elétrica é a melhor opção para reduzir o uso de energia fóssil, porque o que essa categoria (esgotamento abiótico) procura mostrar são quais tecnologias reduzem o uso de combustíveis fósseis. Essa tecnologia para geração de energia que transforma gás metano em dióxido de carbono, ou seja, transforma um gás extremamente poluente em energia limpa e renovável.

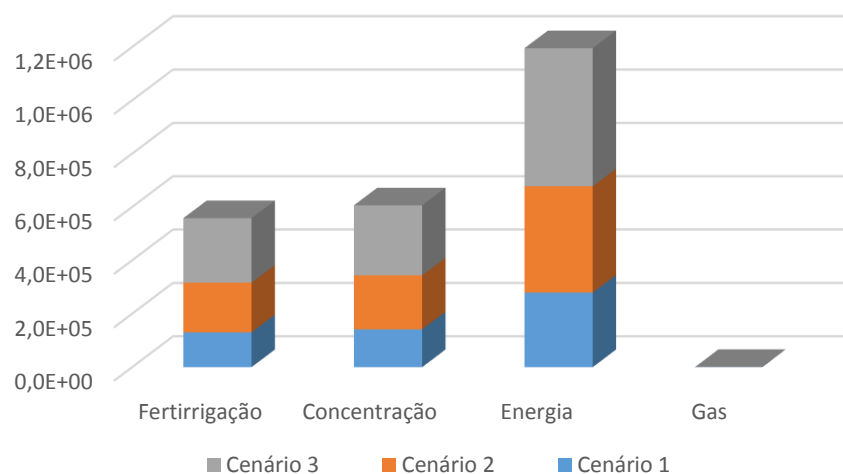
A fertirrigação reduz o uso de fertilizantes minerais, mas ainda sim é necessário o uso em um percentual reduzido o que justifica a segundo pior resultado com relação a categoria de impacto ambiental.

A tecnologia de concentração também torna a fertirrigação da vinhaça menos concentrada, mas com maior qualidade e concentração de potássio. No entanto, próximo às usinas, ainda é necessária a compra de fertilizantes minerais, o que explica a terceira posição nesta categoria.

Para implantação, operação do sistema de gás natural renovável, uma quantidade maior de combustíveis fósseis consumidos que a geração de energia elétrica, pois possui mais usuários no sistema de produção, como o purificador de biogás (para remoção de ácido sulfúrico, enxofre e halogenados em geral), que emitem gases poluentes para o meio ambiente. Como resultado, essa tecnologia gera um resultado pior em comparação com outras tecnologias, mas ainda gera impactos positivos no meio ambiente.

A Figura 23 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental da acidificação.

Figura 23 - Acidificação

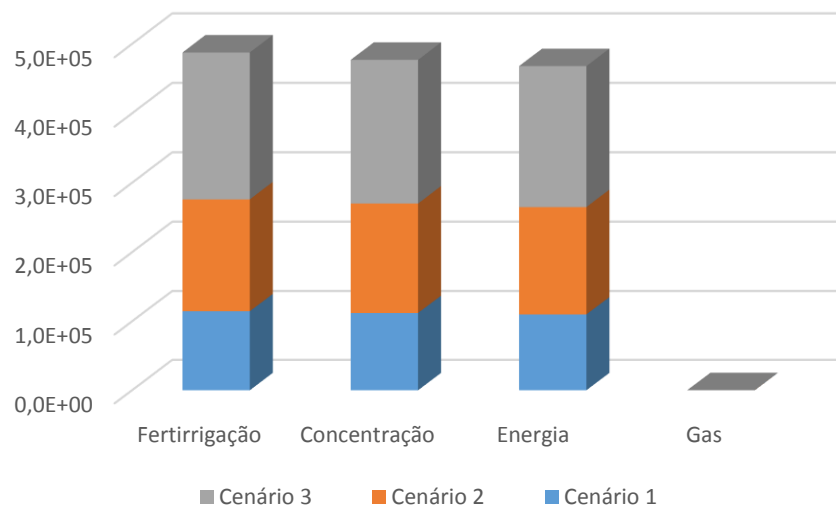


Fonte: Autor, 2020.

O melhor resultado foi para a opção de produção de gás natural renovável. No caso da produção de energia com o uso da vinhaça digerida gera emissões da adubação nitrogenada item que gera pior contribuição ambiental nesse caso.

A Figura 24 apresenta os resultados da categoria de impacto ambiental da eutrofização.

Figura 24 - Eutrofização



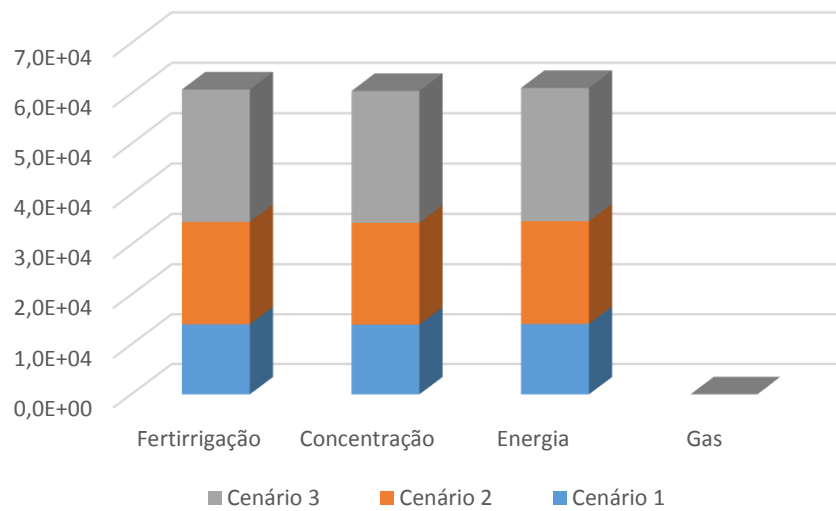
Fonte: Autor, 2020.

Esse melhor resultado é o gás natural renovável, pois reduz os efeitos ao ambiente substituindo o diesel pelo biometano usado pelos veículos automotivos utilizados na fazenda ou no seu entrono.

A fertilização, concentração e digestão anaeróbia para geração de energia têm resultados semelhantes, pois as mesmas acabam fertilizando a vinhaça através de métodos que impactam o meio ambiente de forma similar. .

A Figura 25 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental de ecotoxicidade em água doce.

Figura 25 - Ecotoxicidade aquática em água doce



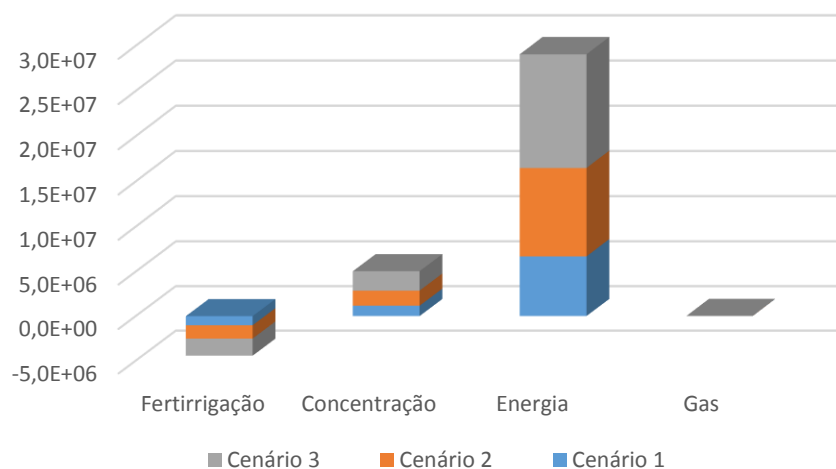
Fonte: Autor, 2020.

Esse melhor resultado é o gás natural renovável, pois reduz mais os impactos da ecotoxicidade aquática da água doce diante da redução de emissão de gases ao ambiente e do pequeno risco do gás natural renovável poluir os mananciais de lençóis freáticos a água doce.

Assim como na categoria de impacto ambiental de eutrofização, fertilização, concentração, digestão anaeróbica para geração de energia, obtêm resultados semelhantes.

Figura 26 apresenta os resultados da categoria de impacto ambiental de aquecimento global.

Figura 26 - Aquecimento Global



Fonte: Autor, 2020.

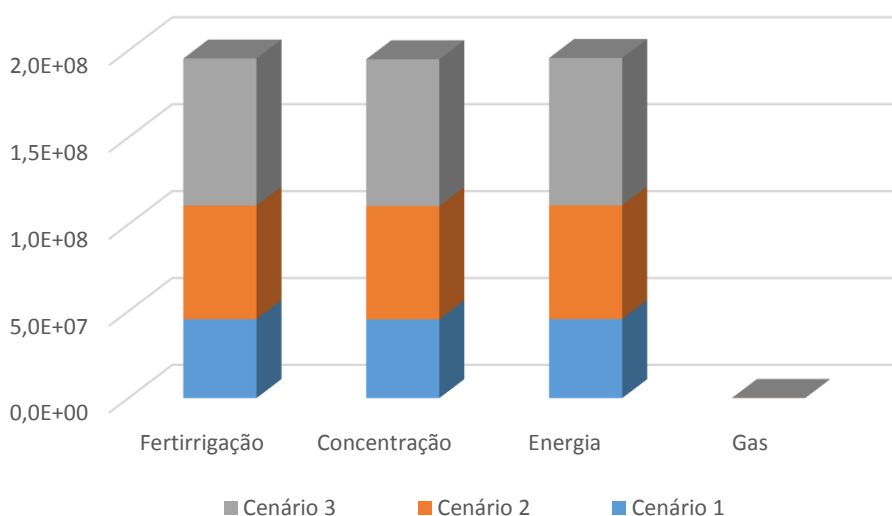
Para esta categoria, o melhor resultado é a fertirrigação, pois o uso da vinhaça como fertilizante natural reduz o uso de fertilizantes minerais.

O segundo melhor resultado é o gás natural renovável, porque é a melhor opção para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. De acordo com Soccol et. al., (2006), a transformação do metano em biometano substitui o uso de óleo diesel em combustível renovável para a fertirrigação de vinhaça digerida, o que justifica o bom desempenho dessa tecnologia nessa categoria de impacto ambiental.

Tanto a concentração quanto a geração de energia elétrica apresentam resultados ruins nessa categoria de impacto ambiental, pois emitem gases de efeito estufa em seus processos tecnológicos, principalmente a geração de energia elétrica que emite dióxido de carbono para o meio ambiente.

Figura 27 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental de toxicidade humana.

Figura 27 - Toxicidade humana

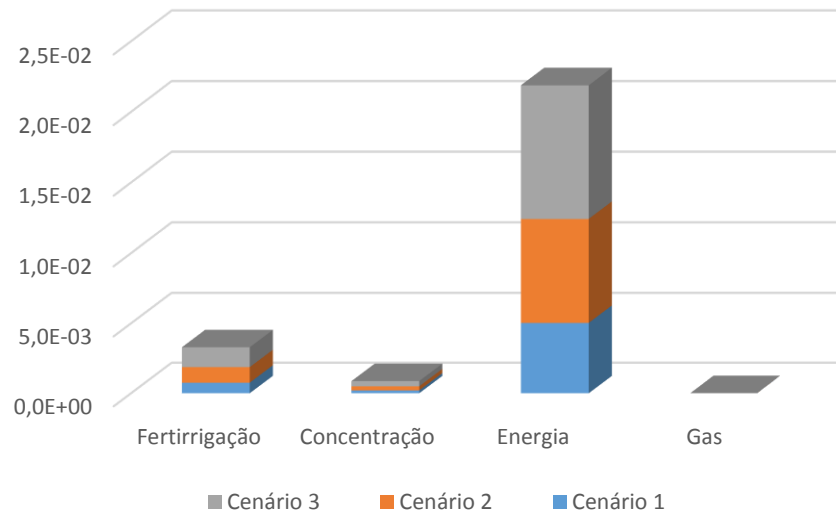


Fonte: Autor, 2020.

Essa é a categoria que mensura até que ponto uma tecnologia afeta a vida humana. O gás natural tem um resultado significativamente positivo e as outras tecnologias tem o mesmo patamar de impacto ambiental diante da emissão de gases e dos efeitos que cada processo produtivo gera a população.

A Figura 28 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental de depleção da camada de ozônio.

Figura 28 - Depleção da camada de ozônio

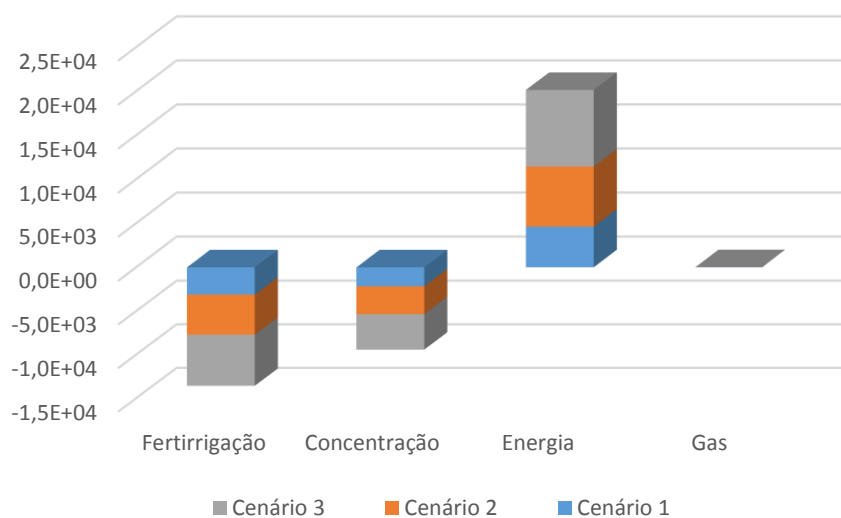


Fonte: Autor, 2020.

Nessa categoria os grandes efeitos são para energia que gera gases como dióxido de carbono através da operação e manutenção dos seus grupos geradores. Em um segundo lugar está a fertirrigação que tem o uso de caminhões a diesel. A tecnologia de concentração tem um impacto ambiental ainda menor devido a redução do quantitativo de vinhaça e o gás tem um impacto ambiental mais reduzido.

Figura 29 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental de oxidação fotoquímica.

Figura 29 - Oxidação fotoquímica



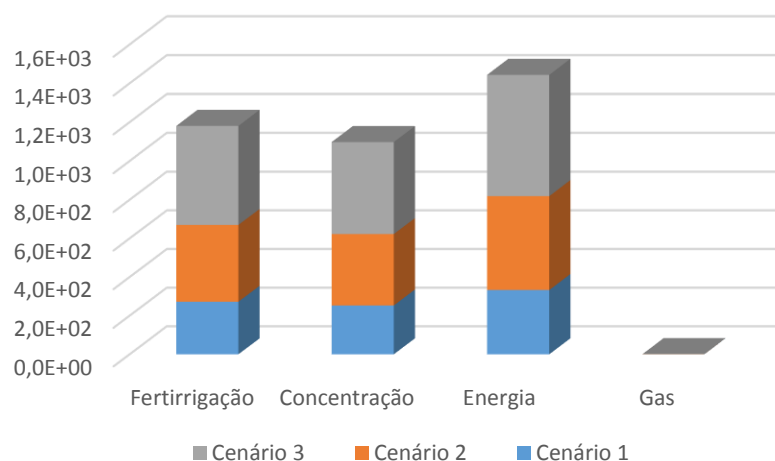
Fonte: Autor, 2020.

Sem considerar a opção de fertirrigação, o melhor resultado é a concentração, porque essa tecnologia é a melhor opção para reduzir o ozônio, tais como gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO), óxido de nitrogênio (NO) e amônio (NH₄).

Todos os gases, monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO), óxido de nitrogênio (NO), entre outros, são emitidos no processo de geração de energia elétrica, o que justifica ser a pior opção tecnológica para essa categoria de impacto ambiental.

Figura 30 apresenta os resultados para a categoria de impacto ambiental de Ecotoxicidade terrestre.

Figura 30 - Ecotoxicidade terrestre



Fonte: Autor (2020)

Esse melhor resultado é o gás natural renovável, porque é a melhor opção para substituir a energia fóssil pelo gás natural renovável, reduzindo as emissões de ecotoxicidade terrestre.

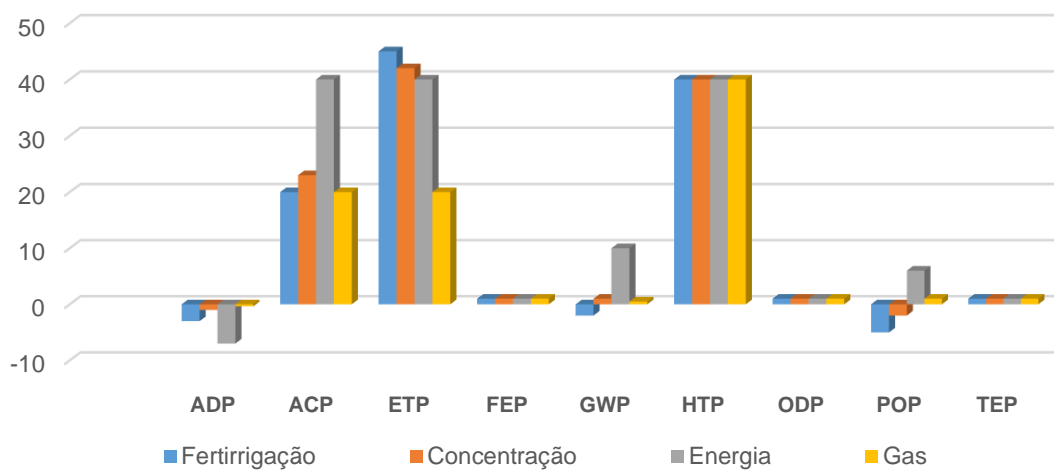
A concentração e a fertirrigação têm resultados semelhantes, e a energia elétrica apresenta pior desempenho ao emitir gases para o meio ambiente (dióxido de carbono, dióxido de enxofre, entre outros), além dos riscos para o solo com a possível aplicação inadequada da vinhaça.

A análise da aplicação da ACV para a avaliação dos impactos ambientais causados pela vinhaça, não permite uma análise completa, porque as incertezas associadas sobre a composição da vinhaça e a conformidade com o plano de aplicação da vinhaça que seguem as leis estaduais existentes no Brasil, especialmente no estado de São Paulo. Além disso, a vinhaça, em especial, potássio, fósforo e nitrogênio que podem ser lixiviados para o solo.

Ambientalmente, a fertirrigação não é viável devido aos custos e emissões de particulados de combustíveis fósseis usados pelos caminhões e a todas as preocupações ambientais com a contaminação das águas subterrâneas.

A Figura 31 apresenta outra visão dos resultados com comparação com cada categoria de impacto dessa análise ambiental e mostra que, do ponto de vista quantitativo, os indicadores ambientais mais relevantes são Toxicidade humana e Aquecimento global. Está essencialmente relacionado ao tamanho do programa, quanto pior o impacto ambiental da respectiva tecnologia em sua categoria de impacto ambiental.

Figura 31 - Análise de impactos ambientais



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 31 apresentou, com base logarítmica, os potenciais de impacto de cada categoria de impacto ambiental, mas não analisando a magnitude comparativa das categorias ou em qual delas deveriam se concentrar na construção de políticas governamentais para o desenvolvimento de tecnologias ambientais.

A normalização é uma parte opcional dos padrões ISO 14.040. A normalização apresenta benefícios porque o indicador de impacto resulta em uma ferramenta de análise para especialistas de mercado e academia. É possível apresentar os indicadores de impacto que podem ser comparados, ou seja, obter um valor de referência, como é mostrado na Equação (19):

$$N_k = S_k / R_k \quad (19)$$

onde:

k é a categoria de impacto;

N é o indicador normalizado;

S é o indicador de categoria da fase de caracterização;

R é o valor de referência.

Fatores de normalização para apresentar a magnitude real ou potencial da categoria de impacto correspondente para os melhores tratamentos de vinhaça no Brasil, por exemplo, de acordo com a melhor escolha para o meio ambiente com a economia. Podem ser utilizados fatores de ponderação que dependem da incorporação de fatores sociais, políticos e éticos. Nesse trabalho essa área não foi desenvolvida devido à assimetria de informação (PENNINGTON et al. 2004).

Finalmente, analisar a avaliação de impacto de um produto específico e seus componentes correspondentes, a avaliação de cada categoria de impacto e o cálculo do impacto final deve apresentar a Equação (20).

$$IMP_j = \sum d_{k,j} * LCIk \quad (20)$$

onde:

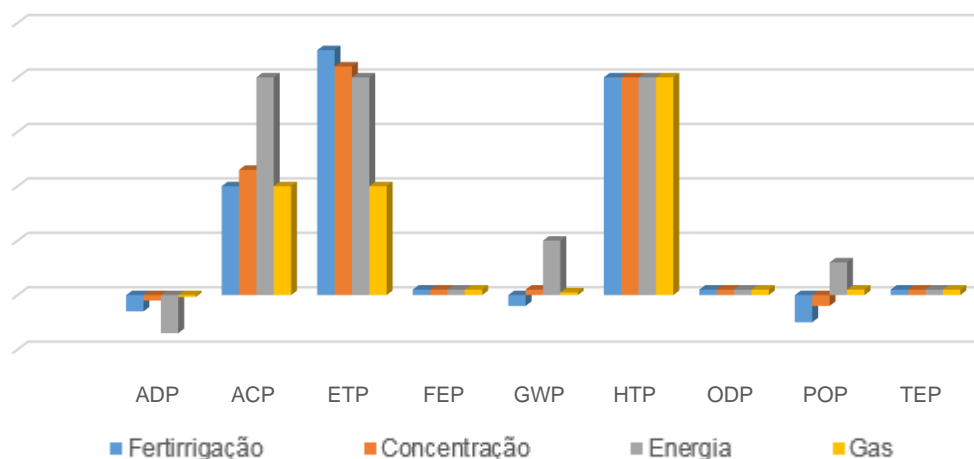
IMP_j é uma categoria de impacto ambiental, ou seja, ecotoxicidade por exemplo.

$d_{k,j}$ é o coeficiente de dano extraído da metodologia ACV, associando o componente k e o impacto j.

$LCIk$ é a entrada do inventário do ciclo de vida.

Figura 32 apresenta a aplicação da normalização com análise por categoria de impacto ambiental.

Figura 32 - Normalização ACV vinhaça



Fonte: Autor, 2020.

Os resultados da eutrofização mostrados neste trabalho são causados principalmente pelos processos de preparação do solo para fertirrigação e aplicação de produtos químicos, tais como fertilizantes minerais, que apresentam uma categoria de impacto ambiental mais significativa, ou seja, com impactos ambientais negativos bem relevantes.

É verdade que a tecnologia de concentração de vinhaça reduz em 80% a vinhaça para ser fertirrigada e, assim, reduz significativamente os impactos ambientais pertinentes a redução de movimentação logística de caminhões para a fertirrigação da vinhaça concentrada. No entanto, a toxicidade humana ainda é o impacto ambiental mais significativo quando uma análise de impacto categorizada é realizada. O destino da vinhaça concentrada no solo ainda gera possíveis danos ao solo, devido à sua irrigação e fertirrigação, e à vida humana e respectiva ecotoxicidade.

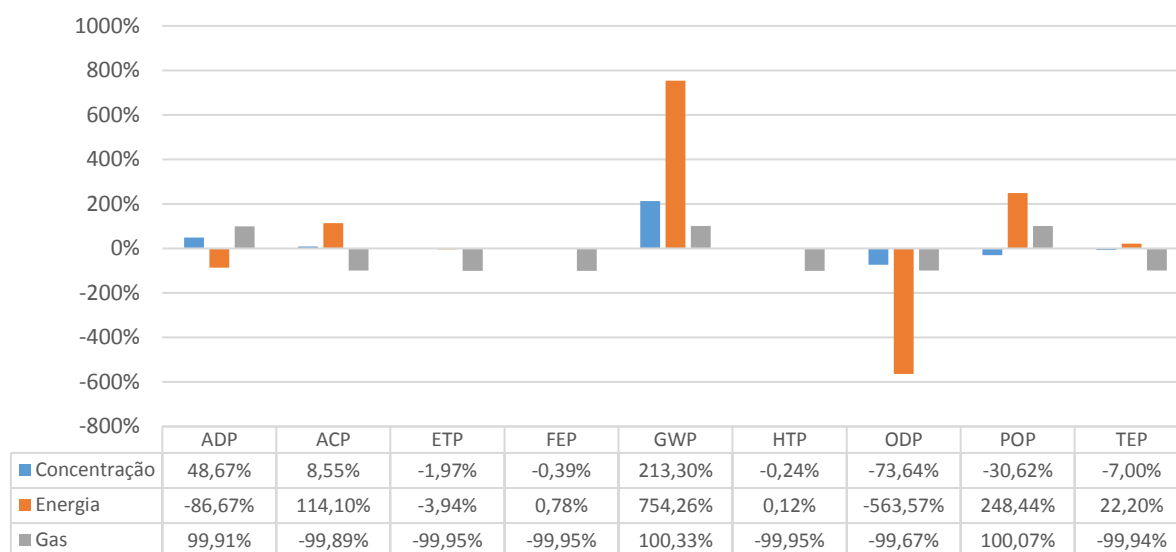
Nesta tecnologia é essencial enfatizar que, ao produzir biometano, ele pode substituir o combustível fóssil de alguns carros da usina, ou injetado na rede de gás natural. No entanto, essa avaliação ambiental falhou em detectar externalidades mais positivas para o meio ambiente, ou seja, outros benefícios ao meio ambiente que o software não considerou, como a melhoria de indicadores da saúde pública, por exemplo, com a redução de gastos públicos com medicamentos pelo meio ambiente na usina e no seu entorno estar mais limpo e sustentável. .

A aplicação de vinhaça biodigestada no solo através da fertirrigação afeta a ecotoxicidade aquática da água doce. Portanto, de maneira comparativa e ponderada, essa categoria relevante é o aquecimento global, por exemplo, que também possui uma redução significativa ao transformar metano gasoso que é vinte e cinco vezes mais poluente que o dióxido de carbono.

É importante enfatizar que o gás metano, quando biodigestado, se torna dióxido de carbono, gera uma externalidade ambiental positiva dessa tecnologia. É possível visualizar que a tecnologia de fertirrigação causa impactos mais significativos no meio ambiente.

Usando a tecnologia de fertirrigação como linha de base, a Figura 33 mostra que porcentagem de outras tecnologias pode ou não melhorar o ambiente.

Figura 33 - Análise ambiental - Fertirrigação baseline



Fonte: Autor, 2020.

No entanto, a quantidade de categorias de impacto ambientais podem gerar dúvidas sobre qual é a melhor opção. Analisando a Figura 33, as três tecnológicas tem pelo menos uma categoria de impacto que é a melhor opção em relação a outras tecnológicas sob o ponto de vista ambiental, ou seja, quanto menor o percentual, melhor é a tecnologia na respectiva categoria de impacto ambiental.

No caso da opção “energia”, a categoria de impacto ambiental depleção abiótica (ADP), por exemplo, tem melhor desempenho em relação as opções de concentração e gás. A produção de energia elétrica reduz as emissões de gases ao efeito estufa, ou seja, substitui as emissões de metano por dióxido de carbono.

A Concentração é a categoria de destaque é a oxidação fotoquímica (POP) em relação as outras tecnologia, pois existe uma redução significativa do material orgânico da vinhaça, ou seja, mitigando a emissão de ozônio além de gases como monóxido de carbono e dióxido de enxofre.

O gás natural é a melhor opção quanto aos impactos ambientais das seguintes categorias: Aquecimento global, ecotoxicidade terrestre, acidificação, eutrofização, Ecotoxicidade aquática em água doce, toxicidade humana. O que justifica esse resultado é que o gás natural renovável é uma energia mais limpa e renovável em relação as outras opções tecnológicas.

Nesse trabalho não se priorizou uma categoria de impacto ambiental tendo um maior peso que uma outra, visto que todas são relevantes para proteção do meio ambiente. Em relação aos impactos ambientais de forma geral, a tecnologia de digestão anaeróbia para geração de energia é a pior opção, e o gás natural renovável é a melhor opção, em especial,

pelo quantitativo de toneladas de dióxido de carbono que deixarão de ser lançadas na atmosfera em relação as outras opções tecnológicas.

3.4 Análise das legislações e normas do setor

Nesse item foram realizadas as análises das contribuições da consulta pública realizada pelo ministério de minas e energia em 05 de junho de 2018 na cidade do Rio de Janeiro, por meio de uma audiência pública que debateu o esboço da resolução da Agência Nacional do Petróleo relacionada à RenovaBio.

Em relação às multas ambientais, todos os locais dos tribunais de justiça de cada estado brasileiro estavam em busca de ações judiciais que envolvessem a alocação e aplicação inadequada da vinhaça, principalmente por meio de fertirrigação.

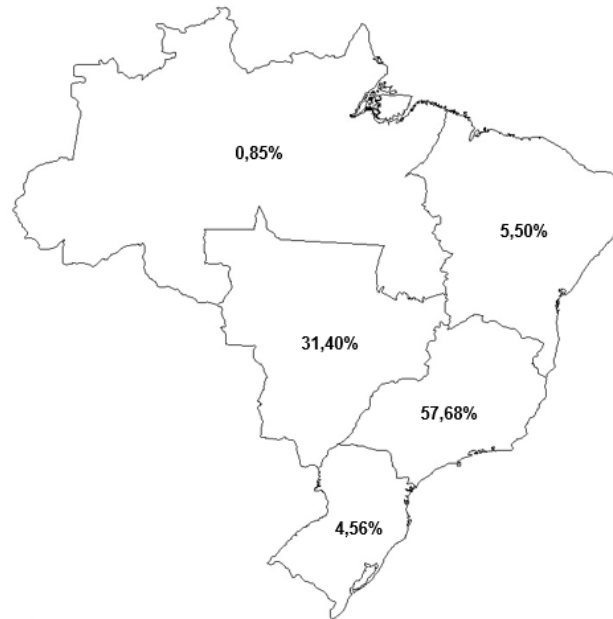
No entanto, apenas a CETESB, apresenta em seu site, a prestação de contas de multas ambientais aplicadas a empresas do estado de São Paulo. O estado de São Paulo é escolhido para este estudo por ser o local com o número mais significativo de plantas de cana no Brasil e um estado de maior força econômica no país.

O estado de São Paulo está na vanguarda da estrutura normativa do tema com a publicação da primeira versão (Lei Estadual número 4.231/2005) dos critérios e procedimentos adequados para o destino da vinhaça pela empresa ambiental do estado de São Paulo (CETESB).

Esta seção referente as multas ambientais apresenta os resultados de um estudo aprofundado sobre o estado de São Paulo, devido ao fato do estado ter o número mais significativo de usinas de cana no Brasil. Este item está correlacionando as multas e notificações ambientais feitas pela Cetesb com ações judiciais visando o cancelamento ou redução de multas impostas por destinos inadequados da vinhaça e problemas ambientais relacionados.

A análise da produção brasileira de etanol por região é fundamental para uma visão aprofundada da questão. Por exemplo, a região Sudeste possui produção de etanol de 16.068 mil m³. A região Centro-Oeste é de 8.749 mil m³ (UNICA, 2018). A Figura 34 apresenta a porcentagem de produção de etanol por região do Brasil.

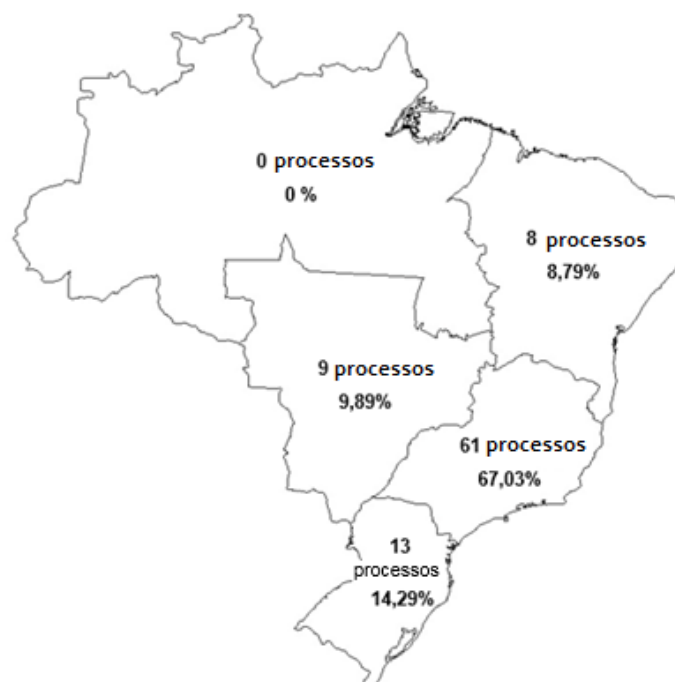
Figura 34 - Percentual de produção de etanol por região do Brasil



Fonte: Adaptado Unica (2018)

Após consulta a todos os sites dos tribunais de justiça estaduais do Brasil (27 sites), foi possível construir a Figura 35, com o cenário resumido no Brasil da quantidade de processos devido à aplicação inadequada de vinhaça e outras multas ambientais em usinas de cana-de-açúcar.

Figura 35 - Números de processos judiciais por região no Brasil



Fonte: Adaptado Apêndice D (2019)

Este trabalho mostra que na região Sudeste há um número maior de ações judiciais que a produção de etanol. Esse resultado foi atribuído ao fato da CETESB ter seu padrão técnico de aplicação adequada da vinhaça desde 2006, o que permitiu maior inspeção pelo órgão ambiental e maior oportunidade de aplicar os respectivos avisos e multas ambientais.

O sul tem uma baixa porcentagem de produção de etanol. No entanto, o estado do Paraná é um estado com órgão ambiental que possui legislação específica para controle adequado da aplicação da vinhaça, resultando em percentual de processos em segundo lugar entre as regiões do Brasil.

O centro-oeste possui uma grande produção de etanol. Porém, apenas o estado de Mato Grosso do Sul possui legislação específica sobre o assunto publicada recentemente, e o estado de Goiás segue a norma técnica Paulista P4.231. O Nordeste não possui legislação estadual específica sobre o assunto, e o resultado do nordeste e centro-oeste é muito semelhante ao percentual de ações judiciais sobre o assunto.

A Figura 36 apresenta o cenário resumido no Brasil do quantitativo de processos devido à aplicação inadequada de vinhaça e outras multas ambientais nessa área.

Figura 36 - Número de processos e porcentagem estatística por estados no Brasil



Fonte: Adaptado Apêndice D (2019)

No estado de Sergipe, por exemplo, o processo é decorrente de duas supostas infrações ambientais: descarga de vinhaça no leito do rio Japarutuba, que causou mortalidade de peixes, violando o artigo 61 do Decreto 6.514/2008. Por fim, o plantio de cana-de-açúcar em área de preservação permanente, incorrendo na infração prevista no artigo 43 do Decreto 6.514/2008.

Com relação ao Estado de São Paulo, de todas as 190 ocorrências desde 2013, 81 resultaram em notificações e 109 em multas financeiras, como mostra a Tabela 18.

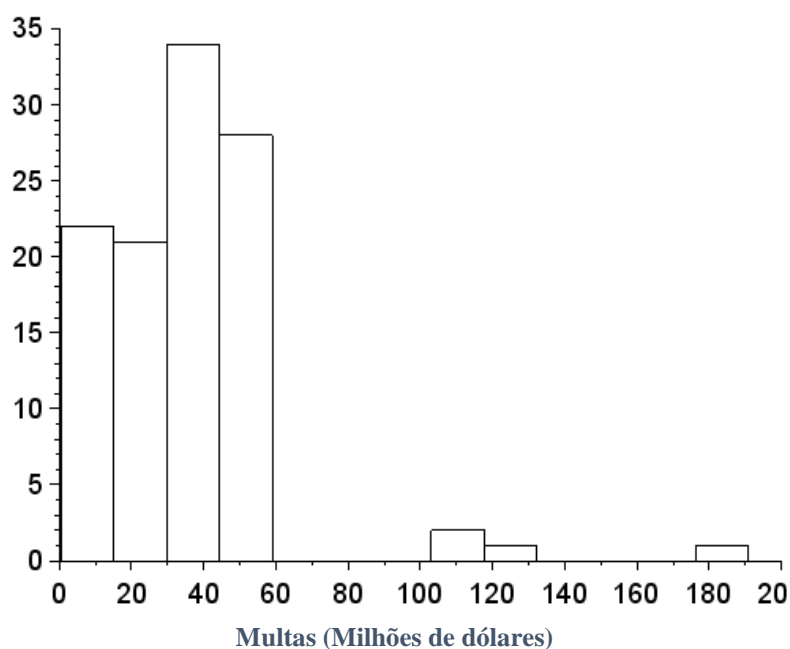
Tabela 18 - Número de ocorrências

Tipo	Número de ocorrências
Notificações	81
Multas	109
Total	190

Fonte: Autor, 2020.

O histograma da distribuição de multas apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Histograma de multas no período



Fonte: Autor, 2020.

Pode-se observar que as multas mais presentes abaixo de US\$ 60.000,00, sendo o valor mais comum entre US\$ 30.000,00 e US\$ 40.000,00. Poucas multas atingiram valores superiores a US\$ 100.000,00. As multas podem ser classificadas por suas descrições, conforme mostrado na Tabela 19.

Tabela 19 - Descrição de multas

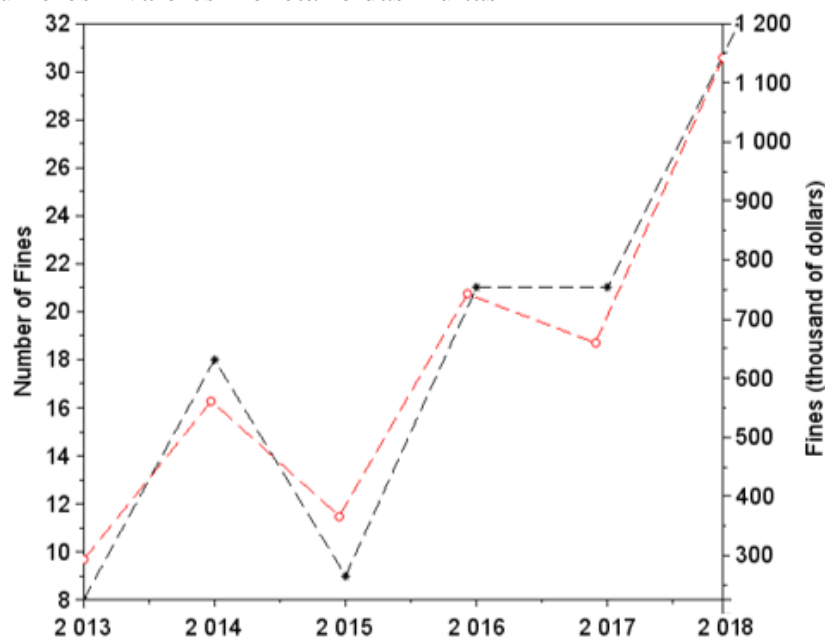
Descrição	Número de itens	Valor total (\$)	Valor médio (\$)
Destruir / desrespeitar Área de preservação permanente	11	367,051.00	33,368.00
Falta de licença para nova fonte de poluentes	5	57,198.00	11,440.00
Poluição da água	8	236,485.00	29,561.00
Poluição da água, ar ou solo	15	524,525.00	34,968.00
Poluição do ar e queimadas irregulares	69	2,577,142.00	37,350.00
Poluição do solo	1	777.00	777.00
Total	109	3,763,179.00	--

Fonte: Adaptado Apêndice D (2020)

Como pode ser visto, na maioria das vezes, os valores das multas mais robustos estão associados à poluição do ar e queimaduras irregulares, além da incidência das mesmas (número de 69 de 109 multas). Apenas 24 das 109 multas estão associadas à poluição do ar, da água ou do solo. As multas que envolvem o destino da vinhaça se inserem nesse grupo, o que sugere que não é frequente uma indústria processada pela vinhaça com uma penalidade financeira. O valor médio das multas permanece semelhante entre as categorias, sendo de cerca de 30 mil dólares (exceto por falta de licença), que possui multas médias de 11 mil dólares.

Apesar disso, o número de multas está aumentando ao longo dos anos, como mostra a Figura 38.

Figura 38 - Números x valores monetário das multas



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 39 apresenta o valor monetário das multas acompanhando do seu número, indicando o peso das mesmas ao longo dos anos.

O estado de São Paulo tem 172 indústrias de cana de açúcar. São 109 multas aplicadas desde 2013 até 2018, o que é expresso na Equação (19):

$$\frac{109 \text{ multas}}{172 \text{ indústrias} \times 6 \text{ anos}} = 0,15 \frac{\text{multas}}{\text{indústria} \cdot \text{ano}} \quad (19)$$

Pode-se interpretar o resultado acima como a probabilidade de a indústria receber uma multa a cada ano. O histograma de várias multas por setor representado na Figura 38.

Figura 39 - Multas por indústria



Fonte: Autor, 2020.

Apesar de algumas indústrias terem recebido até sete multas no período, a maioria das indústrias recebeu apenas uma multa no período de 2013 a 2018. Isso sugere que a incidência de multas não ocorre mais de uma vez na mesma indústria.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1982; 2006) multou as usinas de cana por um derramamento de vinhaça no rio. O descarte irregular do produto causou danos ao meio ambiente, incluindo a morte de peixes, mas o estado não divulgou a quantidade exata.

A usina de cana alegou que o problema ocorreu após a interrupção acidental do duto. O produto geralmente é reutilizado pela indústria na fertilização de plantações de cana-de-açúcar.

A seguir, são apresentadas as decisões que apresentam as conseqüências legais e ambientais de não possuir as melhores tecnologias para o descarte e tratamento da vinhaça. Por exemplo, a ação judicial número 0005362-61.2013.8.26.0637 no tribunal de São Paulo, em uma fonte que abastece a barragem localizada no site São Luiz, no município de Queiroz, causada pela ruptura de uma curva de nível que armazenava os efluentes da empresa, causando uma mudança na qualidade da água da barragem e na mortalidade de peixes.

- **Renovabio**

A Renovabio é uma iniciativa de política governamental que apresenta diretrizes estratégicas do setor de biocombustíveis, tema que concatena com o melhor aproveitamento da vinhaça no Brasil. Como toda política governamental, é realizada uma Consulta Pública, incluindo seu objetivo, valores e diretrizes, são proposições analisadas e validadas pela sociedade brasileira. Os principais players que contribuíram com sugestões para a melhoria do Renovabio estão presentes na Tabela 20.

Tabela 20 - Participação na Renovabio

	Itens	Numeros de comentários	Área
1	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	45	Empresa pública
2	SGS certificação	44	Empresa privada
3	Associação Brasileira de empresas de verificação de inventários de emissões de gases de efeito estufa e relatórios socioambientais	42	Associação
4	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial	42	Orgão federal
5	Associação de Produtores de Biodiesel do Brasil	23	Associação
6	União das indústrias de cana-de-açúcar	23	Associação

Fonte: Adaptado ANP (2016)

Nessa consulta pública foram apurados quatrocentos e quarenta e oito comentários recebidos para contribuir com uma Renovabio mais adequada para o país, com as principais participações de entidades governamentais relacionadas à área, associações, empresas privadas e públicas.

A Tabela 21 apresenta as principais contribuições da Consulta Pública Renovabio, as principais relacionadas aos temas do acordo de Paris e a efetiva implementação da Renovabio, como Cálculo da intensidade de carbono, Certificação da produção ativa de biocombustíveis e critérios de elegibilidade de fornecedores para Renovabio.

Tabela 21 - Principais temas da consulta pública da Renovabio

Itens	Numeros de comentários
Calculo da intensidade do carbono	151
Certificação da produção efetiva de biocombustíveis	131
Critérios de qualificação do fornecedor para Renovabio	65
Acreditação de uma empresa de inspeção	60
Aspectos regulatórios da redução da poluição ambiental do ar, terra e água	12
Questões relacionadas à emissão de faturas do produtor de biometano.	5
Outros	24

Fonte: Autor, 2020.

A correlação dos resultados do impacto ambiental da Openlca e da Simapro com os principais temas discutidos na consultoria pública Renovabio está apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 - Renovabio versus análise ambiental

Impactos ambientais	Principais causas e danos	Leis e normas atuais	Renovabio – Consulta pública
Aquecimento Global	Emissões de CO ₂ , culturas, florestas, recifes de coral e distúrbios de temperatura.	Renovabio e leis ou normas estaduais (programa Biogás - São Paulo e Rio de Janeiro).	Cálculo da intensidade de carbono
Toxicidade Humana	Câncer, doenças respiratórias, outros efeitos não cancerígenos e radiação ionizante.	Não	Certificação da produção efetiva de biocombustíveis
Ecotoxicidade aquática em água doce	Danos à qualidade do ecossistema e extinção de espécies.	Não	Critérios de qualificação do fornecedor e credenciamento de uma empresa de inspeção
Ecotoxicidade Terrestre	Danos à qualidade do ecossistema e extinção de espécies.	Não	Critérios de qualificação do fornecedor e credenciamento de uma empresa de inspeção
Esgotamento abiótico	Danos aos recursos naturais e possível colapso do ecossistema.	Renovabio e leis ou normas estaduais.	Aspectos regulatórios da redução da poluição ambiental do ar, terra e água

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 23 apresenta a correlação dos resultados dos impactos ambientais do Openlca e Simapro com leis e normas estaduais além do Renovabio.

Tabela 23 - Impactos ambientais versus leis ou normas

Efeitos ambientais	Normas e leis estaduais							
	SP	RJ	MG	MS	PR	SC	PE	Renovabio
Aquecimento Global	x	x	x	x	x	x	x	x
Toxicidade Humana	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecotoxicidade aquática em água doce	x	-	x	x	x	-	-	-
Ecotoxicidade Terrestre	x	-	x	x	x	-	-	-
Esgotamento abiótico	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Autor, 2020.

A Tabela 24 apresenta as principais características das leis estaduais e o Renovabio com descrições de usos e formas de destinação da vinhaça, por exemplo.

Tabela 24 - Leis estaduais e Renovabio com descrições

Siglas	Estados e Renovabio	Números de normas e leis	Descrições
SP	São Paulo	Norma 4.231/15	Primeira norma sobre a aplicação do vinhaça
RJ	Rio de Janeiro	Lei 6.361/12	Lei que falou sobre o uso da vinhaça e incentivos energéticos.
MG	Minas Gerais	Lei 9.367/86	Lei com poucas descrições de usos e formas de tratamento da vinhaça.
PR	Parana	Lei 8.935/89 e 10.068/14	Lei com mais descrições de usos e formas de tratamento da vinhaça.
SC	Santa Catarina	Lei 14.675/09	Lei que visa proteger e melhorar a qualidade ambiental
MS	Mato Grosso do Sul	Lei 4.661/15	Lei que obriga as usinas a submeter o Plano de Aplicação da Vinhaça
PE	Pernambuco	Lei 9.988/87	Estabelece padrões gerais de proteção ambiental e outras medidas.
Rbio	Renovabio	Lei 13.576/17	Política Nacional de Biocombustíveis com pouca eficácia para controlar o melhor destino da vinhaça.

Fonte: Autor, 2020.

Além das legislações expostas acima, também têm normas pertinentes ao setor que são as resoluções da ANP (ANP, 2015 e 2016), que tem grande importância para estabelecer a especificação do biometano contida no regulamento técnico nº 8 de 2015. Ferreira (2016), estuda esse tema com a regulamentação recomendada para o uso térmico do biogás. Em particular, o cálculo do item intensidade de carbono e aspectos regulatórios sobre a redução da poluição ambiental do ar, terra e água do Renovabio versus temas detectados nas análises ambientais (Openlca e Simpro).

3.5 Considerações finais

Os principais impactos ambientais apresentados nas tecnologias de descarte de vinhaça mais viáveis são: Aquecimento Global e Toxicidade humana. No entanto, o impacto da toxicidade humana detectada na análise ambiental não está previsto no Renovabio ou na legislação ambiental sobre o assunto.

Com isso é proposto o projeto de lei para a camara dos deputados em busca de uma contribuição para o setor e sociedade. Ou seja, os impactos ambientais detectados nas análises

realizadas com os sistemas Openlca e Simpro devem estar presente nas leis e políticas governamentais, o seu plano de ação e busca da mitigação dos impactos ambientais.

Enfim, a correlação dos impactos ambientais com a legislação do setor é essencial para mapear se existe uma forma objetiva de punição e multas para cada impacto ambiental. Em caso de não conformidade, medidas devem ser tomadas, tais como notificações e multas ambientais.

Por fim, com o cenário técnico, econômico, ambiental e regulatório atual esse projeto de lei se justifica em busca de uma sociedade mais sustentável para o Brasil e o aquecimento do mercado de suprir bens e serviços do setor.

CONCLUSÕES

As conclusões desse trabalho serão apresentadas com a citação do objetivo geral e de cada objetivo específico.

O principal objetivo é a análise de cenários de viabilidade econômica do uso da vinhaça no Brasil, com valoração econômica dos recursos ambientais e proposição de políticas governamentais para o desenvolvimento do setor.

A valoração econômica dos aspectos ambientais é uma maneira de aumentar a viabilidade econômica conforme apresentado no item 4.2 desse trabalho, ou seja, os projetos tem um maior valor presente líquido para todas as tecnologias estudadas.

Os questionários aplicados, consultando especialistas sobre os aspectos ambientais e econômicos da decisão de mudar para tecnologias melhores para o meio ambiente e as respostas sugerem fortemente que as decisões das empresas motivadas por questões econômicas e a mudança da tecnologia atual seriam apenas se a Taxa Interna de Retorno (TIR) atingir o patamar em torno de 25% a 30%. Ou seja, para o uso efetivo de tecnologias mais sustentáveis é necessário a propor novas políticas governamentais com estímulos ao setor.

Identificar, no contexto brasileiro, nas alternativas tecnológicas do uso da vinhaça, as mais viáveis de implementação, através de uma análise integrada dos aspectos econômicos e ambientais.

De acordo com o praticado no setor, a opção mais utilizada no Brasil é a fertirrigação. Em termos de tecnologia/implementação além da principal tecnologia que é a fertirrigação, existem algumas plantas de concentração de vinhaça e poucas plantas de digestão anaeróbia devido ao alto investimento inicial dessa tecnologia. A tecnologia da fertirrigação deve ser repensada diante de muitas avaliações e muitas resultantes da aplicação inadequada da vinhaça conforme apresentado no item 4.4.

Considerando todas as áreas - técnicas, ambientais e econômicas - é possível concluir que a melhor opção é a produção de energia, seguida pela produção de gás natural e pela concentração da vinhaça, conforme apresentado na Figura 19 do item 4.2 desse trabalho, ou seja, a melhor opção têm o maior Valor presente líquido considerando os aspectos ambientais.

Analisar o impacto ambiental do processamento da vinhaça com utilização das ferramentas Simapro e Openlca

Ambientalmente, após a aplicação de Openlca e Simapro, foi possível mapear os principais fatores ambientais afetados: Toxicidade Humana, Aquecimento Global e Ecotoxicidade Aquática em Água Doce. Com os impactos ambientais identificados do processamento da vinhaça isso permite a valoração ambiental dos impactos mais significativos e construção de políticas governamentais mais eficazes para o setor.

Realizar um mapeamento de multas e notificações ambientais aplicadas por órgãos ambientais nas infrações do uso da vinhaça no Brasil.

A tese mapeou as multas e as notificações ambientais aplicadas pelos órgãos ambientais no Brasil do setor e verificou que nos estados com maior número de usinas de cana, têm maiores números de multas ambientais oriundas do processamento da vinhaça.

Foi possível quantificar que os impactos ambientais geram perdas econômicas, tais como a valoração de multas e notificações ambientais de vinhaça pelas usinas de cana conforme apresentados na Figura 38 e Tabela 19 do item 4.4 desse trabalho. Ou seja, esse item contribuiu com o a proposição de formas de valoração econômica de aspectos ambientais, nesse caso valoração ambiental de possíveis multas a ser aplicadas.

Propor uma política governamental em formato de projeto de lei federal para o desenvolvimento do setor.

Os impactos ambientais do processamento da vinhaça devem se comunicar com políticas ambientais, como a Renovabio, além de leis que devem determinar objetivamente multas por danos ambientais significativos. Para tanto no Apêndice A foi proposto um projeto de lei federal em busca do melhor aproveitamento da vinhaça no Brasil.

Políticas governamentais serão necessárias em busca da ampliação e da construção de novas plantas de biodigestão ou concentração da vinhaça no Brasil, ou até mesmo novos investimentos em pesquisas em desenvolvimento em busca de novas tecnologias para o setor.

RECOMENDAÇÕES

Nesse item de recomendações para trabalhos futuros, para a continuidade do estudo do tema, propõe-se:

- Aprovação no congresso nacional da política nacional da vinhaça.
- Novos investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento em busca de novas tecnologias para o setor e otimizar tecnicamente as atuais.
- Criação de leilões de energia específicos para a vinhaça.
- Criação de um fundo de crédito a taxas baixas através do BNDES e seus pares.
- Desenvolvimento de estudos utilizando base de dados atualizadas para aferição das categorias de impacto ambientais mais afetadas pela vinhaça e comparar com os estudos atuais.
- As limitações desse aplicativo de programa (Openlca e simapro) são devido a falta de bancos de dados para realizar a análise do ciclo de vida de outras tecnologias de aproveitamento de vinhaça que ainda estão nos estágios iniciais de desenvolvimento, por exemplo, projetos ainda na bancada de laboratório ou projetos-piloto geralmente associados com programas de pesquisa e desenvolvimento. Se essas tecnologias decolarem, será possível ao mercado oferecer esses bancos de dados e continuar os estudos desta tese.
- A continuidade dos estudos através de novas publicações para o meio acadêmico e aos outros entes interessados (associações de classes - como a Abiogás [Associação Brasileira de Biogás], mercado de suprimentos de bens e serviços, usinas de cana, entre outros). A participação em congressos, seminários, “lives”, é uma forma de dar publicidade mais ampla e irrestrita ao trabalho.
- Por fim, é possível trabalhar e aprofundar a modelagem proposta, colocando a mesma em prática no futuro, por exemplo, caso uma das mais de trezentas usinas de cana existente no Brasil tenham o interesse de adotar a proposta do trabalho em um projeto real busca de um aproveitamento da vinhaça mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. V. *Biogás: energia, regulação e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Interciências, 2014.

ACERO, et al. Openlca Lcia methods, Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Disponível em: <<http://www.openlca.org/wp-content/uploads/2016/08/LCIA-METHODS-v.1.5.5.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (Brasil). *Consulta pública sobre o aproveitamento do biometano*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/consultas-e-audiencias-publicas>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

_____. Resolução nº 08, de 30 de janeiro 2015. *Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015*. Rio de Janeiro, 2015.

AMORIM, H. et. al. Challenges of bioethanol production in Brazil. *Applied microbiol biotechnology*. ed. 91, p.1267, 2011.

AMORIM, H. V. Quanto custa selecionar uma levedura industrial? In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA “JAYME ROCHA DE ALMEIDA”, 5., 2012, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://stab.org.br/fermentacao/Amorim%20.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2019.

AQUINO, S.; PIRES, E. C. Assessment of ozone as a pretreatment to improve anaerobic digestion of vinasse. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 33, ed. 2, p. 279-285, abr.-jun, 2016.

BARRERA, E. L. et al. A comparative assessment of anaerobic digestion power plants as alternative to lagoons for vinasse treatment: life cycle assessment and exergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, vol 113, p. 459-471, 2016.

BARRERA, E. L. et al. Characterization of the sulfate reduction process in the anaerobic digestion of a very high strength and sulfate rich vinasse. *Chemical Engineering Journal*, v. 248, p. 383-393, 2014.

BAUMAN. *Fundamentals of Cost Engineering in the Chemical Industry*. Hardcover, New York: Reinhold Publishing, 1964.

BAUTISTA-ZÚNIGA, F.; BAZÚA, C. D. D.; LOZANO, R.; Cambios químicos en el suelo por aplicación de materia orgánica soluble tipo vinazas. *Rev. Int. Contam. Ambient.* Ed. 16, p. 89-101, 2000.

BIASE, L. P. Aspectos gerais da concentração da vinhaça. In. WORKSHOP DE GESTÃO DE ENERGIA E RESÍDUOS NA AGROINDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA, 2., 2007, Pirassununga. *Anais...* Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP, 2007.

BIGATON, A. *Contribuição dos fertilizantes para o desempenho econômico e ambiental do etanol de cana-de-açúcar*. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

BLEY JUNIOR et al. *Agroenergy of residual biomass perspectives energetic, socioeconomic and environmental*. Brasília, DF: FAO, 2009.

BNDES (Brasil). *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

_____. *Guia sócio ambiental do setor sucroenergético*. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/download/acao_socioambiental/GuiaSocioAmbienta_Sucroenergetico.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

BONINI, M. A. et. al. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. *Revista Biociências*, v. 20, p. 56-63, 2014.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado, 1988. 140 p.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 3 ago 2010. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Lei nº 13.576 de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 27 dez 2017. Seção 1, p. 4.

BRITO, F. L. et al. Quality of the percolation of soils that received vinasse in different doses and incubation time. *Brazilian Journal of Agricultural Engineering and Environment*, ed. 11, p. 318-323. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300012>>. Acesso em: 10 mar. 2007.

CAMARGO, C. A. *Conservação de Energia na Indústria de Açúcar e Alcool*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1990.

CAMILOTTI et al. Evaluation of heavy metals contents in soil and sugarcane plant under fertilization with sewage sludge and vinasse. *Biosci. J.* ed. 25, p. 23-31, 2009.

CANELLAS, L. P. et al. Chemical properties of a Cambisol cultivated with sugar cane, preserving the straw and adding vinasse for a long time. *Brazilian Journal of Soil Science*. ed. 27, p. 935-944. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>>. Acesso em: 10 jun. 2003.

CARMO, J. B. et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. *GCB Bioenergy*. ed. 5, p. 267-280. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2012.01199.x>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

CARVALHO, T. *Redução do volume de vinhaça através do processo de evaporação*. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

CERES INTELIGÊNCIA FINANCEIRA. *Technical and Economic Feasibility Study of a Selected Group of Innovative Technologies related to the ethanol*. [S.l.]: Brasília, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *P 4.231: vinhaça - critérios e procedimentos*. CETESB: São Paulo, 2006.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. *Tecnologia e fabricação do álcool*. Inhumas: E-tec Brasil, 2012. 74 p. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifgo/tecnico_acucar_alcool/tecnologia_fabricacao_alcool.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2015.

CHRISTOFOLETTI C.A et al. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. *Waste management*, ed. 33 (12), 2752-2761, 2013.

CITROTEC. *Ecovin - Concentração da vinhaça*. BR n. PI 081519-8, 11 mai 2011, 11 mai 2031.

COELHO S. T. et al. Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. *Energy sustainable*. ed. 10, p. 26, 2006.

COELHO, M. B.; PEIXOTO, M. J. C. Considerações econômicas sobre aplicação da vinhaça por aspersão em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2, Rio de Janeiro, 1986.

CORAZZA, R. I. *Políticas públicas para tecnologias mais limpas: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente*. 2001. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

_____. Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in na fertirrigação? In: CONGRESSO DA SOBER, 44., 2006, Fortaleza, 2006. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/147314/2/453>>. Acesso em: 10 abr. 2019. p. 1-16.

CORTEZ, L.; FREIRE, W.; ROSILLO-CALLE, F. Biodigestion of Vinasse in Brazil. *International Sugar Journal*, vol.100, nº 1196, p. 403-413, 1996.

COSTA, C. B. B.; POTRICH, E.; CRUZ, A. J. G. Multiobjective optimization of a sugarcane biorefinery involving process and environmental aspects. *Renewable Energy*, n. 96, p. 1142–1152. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.043>>, Acesso em: 10 mar. 2016.

CRUZ, L. F. L. S. et al. Technical, economic and environmental viability analysis of the current vinasse use: fertigation, concentration and biodigestion. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, Issue nº 29, p.1808-4524, 2013.

CURRAN, M.A. Life cycle assessment: an international experience. *Environmental Program*, American Society of Chemical Engineering, New York, 19(2), p. 65-71, 2000.

DEBEUX, Carolina B S. A. *Valoração econômica como instrumento de gestão ambiental - o caso da despoluição da Baía de Guanabara*. 1998. 220 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

DEDINI, BIOFOM. *Vinasse biofertilizers*. Disponível em: <http://www.codistil.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=7&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2017.

DINIZ, K. M. *Subsídios para a Gestão dos Planos de Aplicação de Vinhaça (PAV): um estudo de caso da região de Piracicaba*. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

E. NETO. *Estado da arte da vinhaça*. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.php?idsecao=17&id=35414851>>. Acesso em: 06 set. 2016.

FADEL, M. et al. Recycling of vinasse in ethanol fermentation and application in Egyptian distillery factories. *Afr. J. Biotechnol*, n. 13. Disponível em: <<http://4390-4398.doi:10.5897/AJB2014.14083>>. Acesso em: 10 abr. 2014

FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Vinhaça para gerar energia*. *Revista Fapesp*, ed. 238, p. 68-71, 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (MG). *Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria*. Disponível em: <www.feam.br/images/stories/2015/producao.../guias.../Guia_Biogás.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

FERREIRA, F. *Estudo de normas recomendadas (NBR) e regulamentadoras (NR) para uso térmico do biogás*. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de curso. (Faculdade de Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

FERREIRA, G. *Vinhaça e seu estado da arte*. Disponível em: <<http://www.stab.org.br/12sba/11.guilhermeferreira.dedini.26.10.16hrs.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2017.

FRANCO, M. *Integração energética de sistemas de evaporação localizados abaixo do ponto pinch*. 2001. 110 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FREEMAN III, A. M. *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*. Washington, D. C: Resources for the Future, 1993.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. *Vinasse of sugar cane*. Guaíra: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.

FUESS, L.T. et al. Diversifying the technological strategies for recovering bioenergy from the two-phase anaerobic digestion of sugarcane vinasse: An integrated techno-economic and environmental approach. *Renewable Energy*, v. 122, 2018, p. 674-687, Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.003>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FUESS, L. T.; RODRIGUES, I. J.; GARCIA, M. L. Fertigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization. *Journal Environmental Science Health - Part Toxic Hazardous Subst. Environmental Engineers*. ed. 52, 2007. p. 1063-1072. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10934529.2017.13388922>>. Acesso em 10 mar. 2017.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. Anaerobic digestion of stillage to produce bioenergy in the sugarcane-to ethanol industry. *Environmental Technology* (United Kingdom), v. 35(3), p. 333-339, 2014.

GALINKIN, M.; BLEY, C. *Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais*. 2. ed. rev. Foz do Iguaçu: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009. 140 f.

GASI, T. M.; SANTOS, J. A. *Aspectos do lançamento de vinhaça sobre o solo*. São Paulo: USP, 1984.

GEONERGETICA, *Vinasse integrated use with electric energy generating*. Disponível em: <<http://www.geoenergetica.com.br/biogas.php>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

GITMAN, L. J. *Princípios de administração financeira*. São Paulo: Pearson Brasil, 2004.

GIVEN, L. M. *The Sage encyclopedia of qualitative research methods*. 2 v. Los Angeles: Sage, 2008.

GRACIANO, W. P. *Delineamento das condições biológicas e físico-químicas para biodigestão de vinhaça*. 2007. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Ribeirão Preto, 2007.

GUARANI. *Projeto de implantação do ECOVIN: evaporador de Concentração de Vinhaça*. São Paulo: Sucoenergia, 2011.

GUNKEL, G. et al. Sugar cane industry as a source of water pollution: case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. *Water, Air and Soil Pollut*, n. 180, p. 261–269, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11270-006-9268-x>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

GURGEL, M. N. *Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como biofertilizante organomineral granulada*. 2012. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

HIRATA, R. C. et al. Groundwater pollution risk and vulnerability map of the state of São Paulo, Brazil. *Water Science and Technology*, v.24, n.11, p. 159-169, 1991.

HISTORICAL of price of carbon credit 2017. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

JOUPPERT, C. L. et al. Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in Brazilian ethanol plants, *Biomass and Bioenergy*, v. 107, p. 63-73, 2017.

KHATIWADA, D. et al. Accounting greenhouse gas emissions in the lifecycle of Brazilian sugarcane bioethanol: Methodological references in European and American regulations. *Energy Policy*, n. 47, p. 384-397. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.005>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

LAMO, P. *Sistema produtor de gás metano através de tratamento de efluentes industriais*. São Paulo: Methax; Biopaq; Codistil, 1991.

LANGANKE, R. *Eutrofização no Brasil nas usinas de cana*. Disponível em: <http://eco.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/des_eutro.htm>. Acesso em: 5 ago. 2016.

LETTINGA, G.; RINZEMA, A. Anaerobic treatment of sulfate containing wastewater. *Bioenvironmental Systems*, p. 1030, 1985.

LOPES, I.M. et al. Emissions of N₂O in soils under sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome: effect of harvesting systems and vinasse fertilization. *Rev. Virtual Quím.*, n. 9, p. 1930-1943. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170113>>. Acesso em: 10 mai 2017.

LORENCINI. *Estudo econômico das diferentes formas de transporte de vinhaça em fertirrigação na cana-de-açúcar*. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Jaboticabal, 2009.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposseqüência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*. n. 7, p. 525-532. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300020>, 2003. Acesso em: 10 jun 2019.

MACEDO, I. DE C. *Sugar Cane's Energy: twelve studies on brasilian sugar cane agribusiness and its sustainability*. São Paulo: UNICA, 2005.

MACEDO, I.; LEAL, M.; DA SILVA, J. *Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo, 2004.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, A. R. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (coordenador). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, 2010.

MATA-ALVAREZ, J.; MACE, S.; LLABRES, P. Anaerobic digestion of organic wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresour. Technol.*, n. 74(1), p. 3-16, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303917024_Review_Biogas_Technology_to_Treat_Bioethanol_Vinasse>. Acesso em: 08 nov. 2018.

MCCARTY, P. L.; MOSEY, F.E. Modelling of anaerobic digestion processes: a discussion of concepts. *Water science and technology*. v. 24, p. 17-33, 1991.

MOESTEDT, J. et al. Two stage anaerobic digestion for reduced hydrogen sulphide production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 91(4), p. 1055-1062, 2016.

MOORE, C.C.S.; NOGUEIRA, A.R.; KULAY, L. Environmental and energy assessment of the substitution of chemical fertilizers for industrial wastes of ethanol production in sugarcane cultivation in Brazil. *Int. J. Life Cycle Assess.* n. 22, p. 628-643. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1074-0>, 2017>. Acesso em: 08 nov. 2017.

MORAES, B. S. et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: profit or expense? *Applied energy*, v. 113, p. 825-835, 2014.

_____. Reduction in greenhouse gas emissions from vinasse through anaerobic digestion. *Applied Energy* n. 189, p. 21–30. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.009>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

MORENO, M.; COELHO, S. Biodigerir e concentrar a vinhaça, uma solução econômica, energética e ambiental. *Biomass*, v. 2, p. 64-70, 2014.

MOTA, V.T.; ARAÚJO, T.A.; AMARAL, M.C.S. Comparison of aerobic and anaerobic biodegradation of sugarcane vinasse. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 176(5), p. 1402-1412, 2015.

MOTA, V.T.; SANTOS, F.S.; AMARAL, M.C.S. Two-stage anaerobic membrane bioreactor for the treatment of sugarcane vinasse: Assessment on biological activity and filtration performance. *Bioresource Technology*, v. 146, p. 494-503, 2013.

MOTTA, R. S. *Environmental Economics*. Rio de Janeiro: FGV, 2006

_____. *Manual for economic valuation of environmental resources*. Brasília: Ministry of Environment, Water Resources and Legal Amazon, 1998.

NICOCELLI, L. M. *Sorção ao potássio de diferentes materiais submetidos à aplicação de vinhaça*. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

NICOCELLI, L.M. et al. Sorption of potassium in soil submitted to application of vinasse. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*. n. 16, p. 754-760. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700008>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

OLIVEIRA, B.G. et al. Methane emissions from sugarcane vinasse storage and transportation systems: Comparison between open channels and tanks. *Atmos. Environ.* n. 159, p. 135-146. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.005>, 2017.

OLIVEIRA, B.G.D. et al. Greenhouse gas emissions from sugarcane vinasse transportation by open channel: a case study in Brazil. *Journal Clean Production*, n. 94, p. 102-107. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.025>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

PAQUES. *Tecnologias para uso da vinhaça*. Disponível em: <<http://br.paques.nl/your-sector-br/other/bioenergia>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

PASSOS, R. R. *Avaliação Energético-Econômica da Utilização da Vinhaça via Biogás ou Evaporação Seguida de Incineração*. 2009. 47p. Trabalho de conclusão de curso (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PENNINGTON D.W. et al., Life cycle assessment part 2: current impact assessment practice. *Environment International*, n. 30, p. 721-739, 2004.

PINTO, C. *Tecnologia da Digestão Anaeróbia da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável*. 1999. 89 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

PIRES, R.; FERREIRA, O. *Utilização da vinhaça na bio-fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar: estudo de caso em Goiás*. 2008. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008.

POVEDA, M. L. M. *Análise econômica e ambiental do processamento da vinhaça com uso energético*. 2014. 121 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Energéticos) - Instituto de energia e ambiente. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

POVEDA, M.; COELHO, S. *Avaliação econômica do processamento da vinhaça*. Disponível em: <<http://www.biomassabr.com/noticias/materia%20suani%20-%20avalia%20c3%83%e2%80%a1%20c3%83%e2%80%92o%20econ%20c3%83%e2%80%92dmica%20do%20processamento%20da%20vinha%20c3%83%e2%80%a1a.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014

POVEDA, M.; COELHO, S.T. Emissões de GEE evitadas pelos tratamentos da vinhaça com aproveitamento energético no setor sucroalcooleiro no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético: Políticas Energéticas para a Sustentabilidade, 9., 2013, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2139.7203>>. Acesso em: 10 fev. 2014

PRADO, R. DE M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C.N.S. Filter Cake and Vinasse as Fertilizers Contributing to Conservation Agriculture. *Appl. Environ. Soil Sci.*, p. 1-8, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2013/581984>>. Acesso em: 13 mar. 2013.

REZENDE, J. O. *Vinhaça: outra grande ameaça ao meio ambiente*. Salvador: UFBA, 1984.

RICHARDSON, R. J. et al. *Pesquisa Social: métodos e técnicas*. São Paulo: Atlas, 1999.

ROCHA, M. H.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. Life cycle analysis of different alternatives for the treatment and disposal of ethanol vinasse. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, n. 26, p. 108-114, 2007.

RODRIGUES, A. et al. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir da vinhaça. *Acta Iguazu*, v. 1, n. 2, p. 80-93, 2012.

RODRÍGUEZ, E. et al. Molecular analysis of the biomass of a fluidized bed reactor treating synthetic vinasse at anaerobic and micro-aerobic conditions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 93(5), p. 2181-2191, 2012.

ROMEIRO, A.; MAIA, A. G. Valorando o conforto ambiental: atitudes e comportamento na disposição a pagar. *Economia Aplicada: Brazilian Journal of Applied Economics*, v. 7, n. 4, out.- dez., 2003.

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. *Adubação: resíduos alternativos*. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html. Acesso em: 06 out. 2019.

SALOMON, K. R. *Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade*. Tese de Doutorado. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SALOMON, K. R. Cost calculations for biogas from vinasse biodigestion and its energy Utilization. *Cooperative Sugar*, p. 23-31, 2011.

SALOMON, K.R.; LORA, E.E. S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass Bioenergy*, n. 33, p. 1101-1107. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.03.001>>. Acesso em: 13 jun. 2009

SANTOS, C. *Avaliação físico-química de compostos de cama de frango e sua utilização na agricultur*. 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Direct N₂O emission factors for synthetic N-fertilizer and organic residues applied on sugarcane for bioethanol production in Central-Southern Brazil. *GCB Bioenergy*, n. 8, p. 269-280. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/gcbb.12251>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

SIQUEIRA, L.M.; DAMIANO, E.S.G.; SILVA, E.L. Influence of organic loading rate on the anaerobic treatment of sugarcane vinasse and biogas production in fluidized bed reactor. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, v. 48(13), p. 1707-1716, 2013.

SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol - An assessment of the possibilities of certified production. *Biomass Bioenergy* v. 32, p. 781-813. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.005>>. Acesso em: 10 jun. 2008.

SOCOL, C.R. et al. *Green Fuels Technology, Green Energy and Technology*. Springer International Publishing, Cham. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-30205-8>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

SOUZA, M. E., FUZARO, G.; POLEGATO, A. R. Thermophilic Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. *Water Science and Technology*, v. 25, n. 7, p. 191-200, 1992.

SOUZA, S. A. Vinhaça: o avanço das tecnologias de uso. In: I. C. MACEDO. *A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade*. São Paulo: ÚNICA, 2005.

TORRES, N. H. et al. Indústria Sucroalcooleira: gestão de subprodutos. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, p. 225-236, 2012.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Ethanol production in Brazil at harvest 2017/2018*. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

VAN HAANDEL, A. C., Integrated energy production and reduction of the environmental impact at alcohol distillery plants. *Water science and technology*, n. 52(1-2), p. 49-57, 2005.

VAN HAANDEL, A. et al. Methanosaeta dominate acetoclastic methanogenesis during high-rate methane production in anaerobic reactors treating distillery wastewaters. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 89 (11), p. 1751-1759, 2014.

VERSTRAETE, W. et al. Anaerobic bioprocessing of organic wastes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, p. 221-238, 1996.

WALTER, A. et al. Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change GHG emissions and socio-economic aspects. *Energy Policy* n. 39, p. 5703-5716. Disponível em: <[doi:10.1016/j.enpol.2010.07.043](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.043)>. Acesso em: 15 mar. 2011.

WORLD Bank. *Damage and Loss Assessment (DaLA) Methodology*. Disponível em: <<http://go.worldbank.org/KWCRRCKA20>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

YANG, X. et al. Ethanol fermentation characteristics of recycled water by *Saccharomyces cerevisiae* in an integrated ethanol-methane fermentation process. *Bioresour Technol.* n. 220, p. 609-614, Disponível em: <[doi:10.1016/j.biortech.2016.08.040](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.040)>. Acesso em: 10 fev. 2016.

APÊNDICE A – Projeto de lei

Projeto de lei sobre o melhor aproveitamento da vinhaça.

Considerando o disposto no art. 225 da Constituição Federal, a Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que instituiu o novo Código Florestal, na Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente além da lei 12.305 02 de agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

Considerando a necessidade de se dar efetividade ao “princípio da equidade intergeracional”, ou seja, proporcionar para gerações futuras as mesmas condições de oferta energéticas e recursos naturais, ao "princípio da prevenção" e ao "princípio do desenvolvimento sustentável" que estão presentes no art. 225 da Constituição Federal, na Lei Federal nº 6.938/1981, que trata da Política Nacional do Meio Ambiente e na Declaração do Rio de Janeiro de 1992 além do Acordo de Paris;

Considerando a relevância da atividade sucroenergética para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do Brasil.

Considerando a produção anual na safra de 2019/2020 de mais de 30 bilhões de litros de etanol e conseqüentemente cerca de mais 360 bilhões de litros de vinhaça.

Fica instituída a **POLÍTICA NACIONAL DA VINHAÇA**, visando incentivar o uso de tecnologias que proporcionem o melhor aproveitamento da vinhaça, tais como a Evaporação/Concentração, além da biodigestão anaeróbia com a produção de energia elétrica, termoelétrica e Gás Natural Renovável - GNR e biofertilizantes.

Art 1º. A Política Nacional da Vinhaça está fundamentada nos respectivos princípios apresentados a seguir:

I – Valoração econômica dos aspectos ambientais presentes em cada rota tecnológica do melhor aproveitamento da vinhaça;

II - Elevação da participação das energias renováveis na matriz energética nacional garantindo a eficácia do fornecimento energético para todas as regiões do país;

III - Elevação da produção de insumos energéticos de forma descentralizada reduzindo assim os custos com a transmissão de energia, distribuição de gás natural além dos custos logísticos oriundos dos modais rodoviários, aquaviários, ferroviários e aéreos oriundos do processo de comercialização de fertilizantes minerais.

IV - Redução da produção dos gases de efeito estufa no Brasil alinhando assim com o Acordo de Paris.

V - Disposição adequada da vinhaça com a proteção dos lençóis freáticos e ao meio ambiente de forma geral;

VI – Estimulo ao processo de descentralização da economia e geração de trabalho e renda no interior do país.

Art. 2º As Usinas de cana são as responsáveis pela implantação, operação, manutenção e gestão dos sistemas de processamento da vinhaça e sua destinação final adequada ambientalmente.

I – DEFINIÇÕES

Art. 3º A Política Nacional da Vinhaça tem como objetivo o estímulo ao uso de tecnologias para o melhor aproveitamento da vinhaça e a seguir são apresentadas as definições do setor.

I - **Água residual:** efluente líquido proveniente de atividades industriais, agrícolas entre outras;

II - **Usinas de cana:** São qualquer tipo de usinas de Beneficiamento de cana-de-açúcar para produção de Etanol e Açúcar.

III - **Dosagem de aplicação:** volume em metros cúbicos por hectare em função do teor de potássio da vinhaça;

IV - **Vinhaça:** líquido derivado da destilação do processo industrial da produção de etanol.

V - **Fertirrigação:** Uso da vinhaça para fertilização e irrigação do solo.

VI – **PAV:** É o Plano de Aplicação da Vinhaça de acordo com as condições climáticas, de solo e assim é definido a dosagem de aplicação em metros cúbicos por hectare em função do teor de potássio da vinhaça.

II – ROTAS TECNÓLOGICAS DE APLICAÇÃO DA VINHAÇA

Art 4º Após consulta feita através de questionários a especialistas do setor foi constatado que a maioria das Usinas de cana do Brasil utilizam a fertirrigação para a destinação final da vinhaça.

Art 5º: Após consulta aos especialistas foi constatado que do ponto de vista operacional, ou seja, em grande escala, as tecnologias consideradas opções tecnológicas consolidadas no mercado nacional para melhor aproveitamento da vinhaça são:

I: Evaporação da Vinhaça - A evaporação é uma operação unitária que é largamente utilizada nos diversos ramos da indústria química e de processos que tem o objetivo de obter produtos mais concentrados. A concentração da vinhaça reduz o volume da vinhaça através da vinhaça concentrada que pode ser fertirrigada em menor escala no campo o que reduz os riscos ambientais de contaminação de lençóis freáticos, por exemplo.

II: Biodigestão anaeróbia da vinhaça - A biodigestão da vinhaça produz o biogás e o mesmo pode ter diversos usos, como a geração de energia, ou a obtenção do gás natural renovável que pode ter o uso veicular e/ou injeção na rede de distribuição de gás natural. Por fim, o processo gera uma vinhaça biodigerida que pode ser utilizada como biofertilizante em substituição do fertilizante mineral.

III - VALORAÇÃO ECONÔMICA DE RECURSOS AMBIENTAIS

Art 6º Nesse item serão apresentados formas de valoração econômicas de recursos ambientais e incentivos regulatórios em busca de um maior aproveitamento da vinhaça em âmbito nacional.

I. Para o mercado termoeletrico será realizado **leilões de energia semestrais** com a comercialização de energia em leilões específicos para o insumo energético da vinhaça das usinas termoeletricas, o que vai elevar a atratividade do investidor pelo setor.

II: As concessionárias de distribuição de gás do Brasil ficam obrigadas a adquirir, de forma compulsória, todo o Gás Natural Renovável – GNR produzido através da matéria prima

da vinhaça, até o limite de 15% (quinze por cento) do volume de gás natural comercializado em seu respectivo estado.

III: Toda Usina de cana que produzir gás natural renovável, toda a frota de automóveis e caminhões que for de propriedade dessa pessoa jurídica e utilizar GNR, será concedida a isenção do tributo IPVA (Imposto sobre propriedade de veículos) nos próximos dez anos.

IV: As concessionárias de distribuição de energia do Brasil ficam obrigadas a adquirir, de forma compulsória, toda a energia elétrica produzida através da matéria prima da vinhaça, até o limite de 15% (quinze por cento) do volume de energia comercializado em seu respectivo estado.

§1º- Deverá ser enviado anualmente ao Ministério de Minas e Energia, um relatório contendo a aquisição de energia ou gás natural renovável por cada uma das concessionárias.

V: No caso da produção de energia elétrica através do processamento da vinhaça, será possível a valoração economia através da obtenção de créditos de carbono que são calculados pela quantidade de toneladas de dióxido de carbono evitados da sua emissão multiplicados por um valor de mercado desses respectivos créditos de carbono.

VI: Para usinas que implantarem projetos de melhor aproveitamento da vinhaça utilizando as tecnologias elencadas no capítulo II, serão isentadas do tributo referente ao licenciamento ambiental do empreendimento (0,5% do valor total do investimento do projeto). Essa vantagem pecuniária será válida para projetos implantados nos próximos cinco anos.

VII: Para cálculo de custo de multas evitadas (CME) a seguinte equação é utilizada.

CME = Número de multas ambientais médios na década do setor em uma Usina de cana * custo médio da multa do setor.

§1º- O valor total do CME obtido será utilizado como valoração econômica de recursos ambientais do fluxo de caixa do projeto. Ou seja, esse crédito será uma moeda de troca pública ambiental que será compensada pelo governo federal através de isenção parcial de tributos federais da implantação do empreendimento.

VII: A economia com fertilizantes (ECF) minerais no caso da concentração da vinhaça é calculada da seguinte forma.

ECF = 80% da redução da quantidade da vinhaça * preço de mercado do fertilizante mineral * demanda anual de fertilizantes minerais na usina de cana.

IX: Através de processo de auditoria anual do processo de melhor aproveitamento da vinhaça, será concedido 0,5% de desconto no Imposto sobre os serviços caso os índices de **toxicidade humana** da planta industrial forem reduzidos em 5% em pelo menos um dos gases elencados a seguir: Amônia [NH₃], Ácido sulfídrico [SO₂], ou outro a ser definido pelo órgão ambiental estadual.

IV - PLANO DE APLICAÇÃO DA VINHAÇA

Art. 7º No início de cada safra, a Usina de cana deverá encaminhar ao órgão ambiental estadual o Plano de Aplicação de Vinhaça (PAV) que será utilizado para fins de acompanhamento, fiscalização e auditoria.

Parágrafo único. O Plano de Aplicação de Vinhaça (PAV) deverá ser definido por legislação estadual pertinente diante das condições climáticas e composições diversas de solo em cada estado do Brasil. Ou seja, os critérios para armazenamentos, logística e aplicação da vinhaça no solo devem ser regulados por cada estado da federação.

Art 8º Em caso de implantação de uma nova forma de processamento e aproveitamento da vinhaça a mesma deve ser realizada com a realização de Projeto Técnico com apresentação do plano para impermeabilização do sistema de armazenamento e distribuição de vinhaça, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, conforme dispõe a Lei Federal nº 6.496/77.

Art. 9º Os sistemas de armazenamento e distribuição de vinhaça deverão ser instalados em áreas previamente avaliadas pelo órgão ambiental competente e deverão ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de efeito similar.

CAPÍTULO V - ANÁLISE AMBIENTAL

Art. 10º - Para realização da análise do ciclo de vida das tecnologias de processamento da vinhaça deve privilegiar o uso de softwares livres (Openlca, por exemplo), atendendo o princípio da economicidade preceituado na Constituição federal.

Parágrafo único: O sistema “S” (Senai, Sesi, Sebrae) além das Universidades públicas e centros de pesquisas do setor devem ser utilizados para realização de treinamentos para conhecimento e aprendizado da utilização de sistemas e softwares livres para realização de análises do ciclo de vida do setor.

Parágrafo segundo: Os resultados dos cálculos dos impactos ambientais de cada rota tecnológica diante de suas categorias de impacto (Toxicidade humana, ecotoxicidade de águas doces, marinha entre outras) através da metodologia CML 2 Baseline devem ser consideradas e utilizadas para proposição de novas valorações econômicas de aspectos ambientais.

CAPÍTULO VI - COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA

Art 11º A comercialização de energia deve ser realizada através de leilões de energia específicos organizados pela Agencia Nacional de energia elétrica (ANEEL) e os preços devem ser formatos pelos técnicos do setor.

Parágrafo único: Os produtores poderão negociar a energia de forma livremente no mercado spot, caso não desejarem participar dos leilões termoeletricos ou se for o interesse de produção de energia para consumo próprio.

CAPÍTULO VII - COMERCIALIZAÇÃO DE GÁS NATURAL RENOVÁVEL

Art. 12º O Poder Executivo determinará a formação de preços máximos de fornecimento de Gás Natural Renovável, energia elétrica e termoeletrica, cabendo às concessionárias de

distribuição de gás canalizado de cada estado estabelecer contratualmente com os seus produtores os preços e prazos adequados a viabilizar a sua eficiente produção e transporte.

§1º - Caberá ao Ministério de Minas e Energia a fiscalização dos contratos de fornecimento de Gás Natural Renovável.

Art. 13º As concessionárias de distribuição de gás natural do Brasil ficam obrigadas a publicar os contratos de compra, na íntegra, estabelecidos com os geradores de GNR, em veículo de comunicação de grande circulação no Estado e no Diário Oficial do Poder Executivo.

CAPÍTULO IX - LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Art. 14º O licenciamento ambiental dos empreendimentos que produzem energia elétrica deve ser realizado pelo órgão ambiental estadual, devido ao impacto local do empreendimento.

Parágrafo único: Deve ser realizado anualmente um relatório ambiental simplificado a ser apresentado ao órgão ambiental e publicado em veículo de comunicação de grande circulação no Estado e no Diário Oficial do Poder Executivo.

Art. 15º As emissões atmosféricas, das caldeiras de geração de calor, grupos geradores de geração de energia elétrica, que utilizem a vinhaça como combustível nas Usinas de Etanol deverão atender os padrões ambientais regulamentados e vigentes pelas legislações federais do setor.

CAPÍTULO X – AUDITORIA

Art. 16º. As usinas de cana-de-açúcar do Brasil deverão realizar de forma obrigatória uma auditoria anual com análises sob os seguintes prismas:

I: Meio Ambiente: Verificação das emissões de fontes fixas e móveis de particulados e relatórios sobre o setor, entre outras demandas pertinente a serem definidas por cada órgão ambiental.

II: Integridade Mecânica, elétrica e instrumentação: Verificação das condições de operação e manutenção dos equipamentos utilizados para o processamento da vinhaça.

III: Segurança dos processos: Verificação da segurança do processo do ponto de vista técnico e humano, entre outras demandas pertinentes.

IV: Gestão: Gestão dos contratos de suprir bens e serviços além da verificação do status das licenças necessárias para o devido funcionamento do processo de aproveitamento da vinhaça além do devido cumprimento das respectivas condicionantes.

V: Saúde: Gestão da saúde e controle de emissões de índices de toxicidades humana dos trabalhadores e da sociedade afetada em geral, em especial no entorno da Usina. Parágrafo único. Após o protocolo e respectiva entrega do Relatório Final da Auditoria, a empresa auditada (Usina de Cana), deverá ficar à disposição dos órgãos públicos para realização de apresentação dos resultados e respectivas justificativas técnicas necessárias que vierem ser alvo de demanda do Ministério de Minas e Energia e/ou qualquer outro órgão público.

Art. 17º Os auditores devem ser profissionais registrados no respectivo conselho regional de sua profissão do seu estado, de acordo com a ênfase de sua atuação profissional.

I. Os auditores que possuem um grau superior ao da graduação deve ser remunerado com um adicional de titularidade conforme itens a seguir:

- Doutorado: 25%
- Mestrado: 20%
- Especialização: 10%

CAPÍTULO XI - DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 18º Caberá ao BNDES a criação de uma linha de financiamento específica com taxas atrativas para o desenvolvimento da tecnologia no país.

Art. 19º O Poder Executivo regulamentará esta lei no prazo de 90 (noventa) dias, contados da data de sua publicação.

Art. 20º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

JUSTIFICATIVA

O aumento na produção de etanol por conta do incremento na demanda de combustíveis tem elevado significativamente a geração da vinhaça, que é um material orgânico rico em cálcio, potássio e magnésio e a sua destinação inadequada no solo pode contaminar os lençóis freáticos, além da poluição térmica diante da temperatura de geração e lançamento causando danos ao meio ambiente.

Fertirrigação, concentração e digestão aeróbia ou anaeróbia são as principais tecnologias para o uso da vinhaça. Tais alternativas apresentam diferentes impactos no meio ambiente; no entanto, o peso do aspecto ambiental na decisão permanece em discussão. Nesta tese apresenta-se valorações econômicas dos aspectos ambientais das principais tecnologias de tratamentos de vinhaça.

Através de questionários, foi consultado especialistas sobre o aspecto ambiental e econômico da decisão de mudar para tecnologias mais sustentáveis. As respostas apresentam que as decisões das empresas são motivadas principalmente pela questão econômica, e a mudança da tecnologia atual seria feita somente se a Taxa Interna de Retorno (TIR) estiver no patamar de 25%-30%.

Com isso, é possível verificar a necessidade de proposição da quantificação de aspectos ambientais na avaliação econômica das tecnologias. Os recursos ambientais foram realizados considerando o crédito de carbono, a economia com fertilizantes minerais e o custo evitado com multas ambientais. Foram analisadas as multas ambientais aplicadas as Usinas de Cana no Brasil pelos órgãos ambientais e processos judiciais em busca de mapear o risco econômico, jurídico e ambiental do não tratamento e destinação adequada da vinhaça.

Por fim, foi feita a correlação com a legislação do setor em busca de mapear quais impactos ambientais estão presentes no arcabouço legal e se existe uma forma objetiva punição e multas para cada impacto ambiental encontrado pela análise ambiental realizada em softwares livres como o Openlca.

Enfim, diante desse cenário técnico, econômico, ambiental e regulatório esse projeto de lei se justifica em busca de uma sociedade mais sustentável para o Brasil e o desenvolvimento do setor de forma nacionalizada com a geração de trabalho e renda para o país.

APÊNDICE B – Questionário

- 1) Nome:
- 2) Estado:

- 3) Setor de atuação?
 - (a) Gerente/Diretor
 - (b) Engenheiro
 - (c) Operador
 - (d) Manutenção
 - (e) Pesquisador
 - (f) Outro (especifique):

- 4) Qual é a tecnologia utilizada para destinação final da vinhaça na empresa em que atua?
 - (a) Fertirrigação
 - (b) Evaporação / Concentração da vinhaça
 - (c) Biodigestão anaeróbia
 - (d) Outra (especifique)

- 5) A biodigestão é um processo mais econômico que a fertirrigação?
 - (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente

- 6) A biodigestão é um processo de menor impacto ambiental que a fertirrigação?
 - (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente

- 7) A empresa desconhece se há mão de obra especializada para implementação da tecnologia de biodigestão na região?
 - (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente

- 8) A Concentração / evaporação da vinhaça é um processo mais econômico que a fertirrigação?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 9) A Concentração / evaporação da vinhaça é um processo de menor impacto ambiental que a fertirrigação?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 10) A empresa desconhece se há mão de obra especializada para implementação da tecnologia de Concentração/ Evaporação na região?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 11) A empresa somente deve mudar a tecnologia atual para tecnologias de menor impacto ambiental se houver vantagens financeiras?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 12) A empresa somente deve mudar a tecnologia atual para tecnologias de menor impacto ambiental se reduzir os riscos ambientais quanto a contaminação de lençóis freáticos e água?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 13) A empresa somente deve mudar a tecnologia atual para tecnologias de menor impacto ambiental se houver vantagens com economia de fertilizantes?

- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 14) O governo oferece pouco incentivo para a implementação de tecnologias limpas para o tratamento da vinhaça?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 15) Se o governo oferecer incentivos de **ordem tributária** (redução ou isenção de impostos e/ou taxas) para a implementação de tecnologias limpas para o tratamento da vinhaça, isso será um fator decisivo para a sua organização realizar o projeto?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 16) Se o governo oferecer incentivos de **ordem regulatória** (criação de leilões de energia específicos para compra da energia elétrica ou gás natural, por exemplo) para a implementação de tecnologias limpas para o tratamento da vinhaça, isso será um fator decisivo para a sua organização realizar o projeto?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 17) Se o governo oferecer incentivos de **ordem econômica** (criação de linhas de financiamento específicas com taxas de juros atrativas, por exemplo) para a implementação de tecnologias limpas para o tratamento da vinhaça, isso será um fator decisivo para a sua organização realizar o projeto?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente

- 18) Se o governo oferecer incentivos de **ordem ambiental** (criação de leis que permitam a compra de energias/gás natural renovável e/ou regulamentos que permitam a compra por parte do governo da redução de emissões de créditos de carbono [CBIO], por exemplo) para a implementação de tecnologias limpas para o tratamento da vinhaça, isso será um fator decisivo para a sua organização realizar o projeto?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 19) Se o governo oferecer incentivos de **ordem educacional** (criação de treinamentos e qualificações da mão de obra através do **Sistema S** [SENAI, SESC, etc]) para a implementação de tecnologias limpas para o tratamento da vinhaça, isso será um fator decisivo para a sua organização realizar o projeto?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 20) As empresas estão atentas a mudanças possíveis na legislação, com maior rigor para o tratamento da vinhaça, e estão já buscando processos com menor impacto ambiental?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 21) Deveria haver maior interação universidade/empresas com eventos, palestras e trabalhos conjuntos entre ambas às instituições?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo
 - (d) concordo
 - (e) concordo totalmente
- 22) É necessária a criação de zonas econômicas com incentivos governamentais diferenciados de acordo com a região do Brasil?
- (a) discordo totalmente
 - (b) discordo
 - (c) não concordo nem discordo

- (d) concordo
- (e) concordo totalmente

23) É necessária a criação de um programa nacional para incentivo do melhor aproveitamento da Vinhaça no Brasil (assim como ocorreu com o Proinfa em relação a Energia Eólica)?

- (a) discordo totalmente
- (b) discordo
- (c) não concordo nem discordo
- (d) concordo
- (e) concordo totalmente

24) A barreira econômica é a maior delas (comparando com aspectos tecnológicos, ambientais, regulatórios, entre outros) para o melhor aproveitamento da Vinhaça no Brasil?

- (a) discordo totalmente
- (b) discordo
- (c) não concordo nem discordo
- (d) concordo
- (e) concordo totalmente

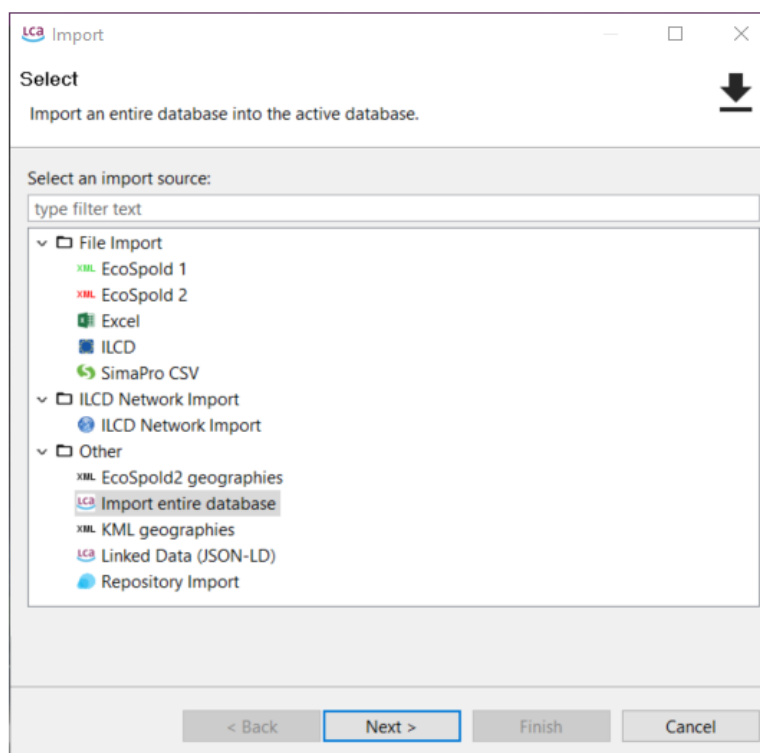
25) Qual é o patamar de Taxa interna de retorno necessária para motivar a implantação de novas tecnologias de aproveitamento da vinhaça em sua empresa?

- (a) 10%
- (b) 15%
- (c) 20%
- (d) 25%
- (e) 30% ou acima desse valor.

APÊNDICE C - Openlca

Na tese, foi utilizado os programas Simapro e Openlca. A Figura 40 apresenta o processo de importação de base de dados da produção de etanol no Brasil realizado no Openlca.

Figura 40 - Importação de dados de entrada



Fonte: Openlca, (2020).

Após escolher o banco de dados específico das usinas de cana do Brasil, o que justificou a utilização do Openlca e Simapro, assim é possível ter dados da geração da vinhaça com características específicas do Brasil. Dessa forma, inicia-se a análise ambiental dos impactos no ar, água e solo da aplicação da vinhaça através do uso das tecnologias mais factíveis, ou seja, digestão anaeróbia, concentração e fertirrigação. A Figura 41 apresenta as principais entradas e saídas da tecnologia de fertirrigação.

Figura 41 - Fertirrigação: entradas e saídas

nutrient supply from vinasse, from fermentation of sugarcane molasses potassium fertiliser, as K2O APOS, S - BR	
Inputs	Outputs
transport, tractor and trailer, agricultural	nitrogen fertiliser, as N phosphate fertiliser, as P2O5 potassium fertiliser, as K2O

Fonte: Openlca, (2020).

Figura 41 apresenta informações sobre a produção de etanol com valor específico para o Brasil (diferente da database geral - Figura 42). Dessa forma, é possível apresentar um estudo específico de caracterização e fatores de impacto nos métodos de avaliação de impacto no ciclo de vida.

Figura 42 – Produção de etanol

The screenshot shows the openLCA Nexus search results for 'vinasse brazil'. The search bar contains 'vinasse brazil' and the search button is highlighted. The results show the following information:

- vinasse, from sugarcane, at fermentation (Brazil)**
- Databases: UVEK LCI Data (DQRv2:2018)
- Category: Fuels/Biofuels/Ethanol/Byproducts
- Version (internal): 00.00.000 Location: Brazil

Description

Translated name: Vinasse, aus Zuckerrohr, ab Vergärung

Included processes: Fermentation of sugar cane including materials, energy uses, infrastructure, and emissions.

Remark: The multioutput-process ""sugar cane, to fermentation"" delivers the co-products Ethanol, 95% in H2O, from sugar cane"" and ""electricity, bagasse, at fermentation plant"". The allocation is based on economic criteria.; Geography: The inventory is modelled for Brazil.

Fonte: OpenLCA, (2020).

Figura 43 apresenta um exemplo de um banco de dados geral com valores gerais sobre amônia.

Figura 43- Database geral

The screenshot shows the openLCA 1.7.0 database interface. The left sidebar shows a navigation tree with various databases. The main window displays a table of processes related to ammonia emissions. The table has the following columns: Process Name, Description, and Unit.

Process Name	Description	Unit
Ammonia, AL	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, AT	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, BA	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, BE	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, BG	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, BY	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, CH	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, CS	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, CZ	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, DE	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, DK	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, EE	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, ES	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, FI	Emission to air/unspecified	Mass
Ammonia, FR	Emission to air/unspecified	Mass

Fonte: OpenLCA, (2020).

A Tabela 25 apresenta os principais insumos da tecnologia de processos de fertirrigação. Assim, é possível conhecer os dados utilizados para análise ambiental e categorização dos impactos da tecnologia em aspectos que envolvem ar, água e solo.

Tabela 25 - Fertirrigação: entradas do processo

Name	Category	Sub-category	Amount	Unit
Occupation, urban, discontinuously built	Resource	land	0.99444	m ² *a
Transformation, from grassland, natural (non-use)	Resource	land	0.94244	m ²
Energy, solar, converted	Resource	in air	0.91421	MJ
Occupation, traffic area, road network	Resource	land	0.83811	m ² *a
Occupation, permanent crop, irrigated	Resource	land	0.73606	m ² *a
Occupation, lake, artificial	Resource	land	0.67831	m ² *a
Transformation, from annual crop, non-irrigated, intensive	Resource	land	0.55668	m ²
Occupation, industrial area	Resource	land	0.53162	m ² *a
Water, unspecified natural origin	Resource	in water	0.40924	m ³
Transformation, from forest, secondary (non-use)	Resource	land	0.38001	m ²
Occupation, dump site	Resource	land	0.34018	m ² *a
Transformation, to annual crop, non-irrigated, extensive	Resource	land	0.28988	m ²
Occupation, traffic area, rail/road embankment	Resource	land	0.28839	m ² *a
Transformation, from annual crop, non-irrigated, extensive	Resource	land	0.28774	m ²
Water, lake	Resource	in water	0.28502	m ³
Occupation, pasture, man made, intensive	Resource	land	0.23346	m ² *a
Gas, mine, off-gas, process, coal mining	Resource	in ground	0.19306	m ³
Transformation, from pasture, man made, intensive	Resource	land	0.19037	m ²
Transformation, to pasture, man made, intensive	Resource	land	0.18030	m ²
Transformation, from permanent crop	Resource	Land	0.17592	m ²

Fonte: Openlca, (2020)

Tabela 26 apresenta as principais saídas do processo de fertirrigação com ênfase de alta emissão de dióxido de carbono oriundo dessa rota tecnológica.

Tabela 26 - Fertirrigação: saídas do processo

	Name	Category	Sub-category	Amount	Unit
1	Hydrogen-3, Tritium	Emission to air	low population density	0.98678	kBq
2	Carbon dioxide, non-fossil	Emission to air	high population density	0.83662	T
3	Carbon-14	Emission to air	low population density	0.43288	kBq

4	Heat, waste	Emission to air	Unspecified	0.33017	MJ
5	Xenon-135m	Emission to air	low population density	0.31640	kBq
6	Radium-226	Emission to water	surface water	0.28514	kBq
7	Carbon dioxide, from soil or biomass stock	Emission to air	low population density	0.28275	T
8	Polonium-210	Emission to water	Ocean	0.24802	kBq
9	Heat, waste	Emission to air	low population density	0.23505	MJ
10	Radium-226	Emission to water	Ocean	0.18510	kBq
11	Lead-210	Emission to water	Ocean	0.16252	kBq
12	Radon-220	Emission to air	low population density	0.13253	kBq
13	Radioactive species, Nuclides, unspecified	Emission to water	Ocean	0.11279	kBq
14	Thorium-228	Emission to water	surface water	0.10286	kBq
15	Uranium-238	Emission to water	Ocean	0.08338	kBq
16	Carbon monoxide, non-fossil	Emission to air	high population density	0.07882	T
17	Xenon-138	Emission to air	low population density	0.07412	kBq
18	Thorium-230	Emission to water	surface water	0.06231	kBq
19	Krypton-85m	Emission to air	low population density	0.06118	kBq
20	Carbon dioxide, fossil	Emission to air	low population density	0.05164	T

Fonte: Openlca, (2020)

Figura 44 apresenta as entradas e saídas para a tecnologia de digestão anaeróbia para produção de energia elétrica.

Figura 44 - Digestão anaeróbia - energia

market for vinasse, from fermentation of sugarcane vinasse, from fermentation of sugarcane APOS, S - GLO	
Inputs	Outputs
	vinasse, from fermentation of sugarcane

electricity, high voltage - BR	
Inputs	Outputs
anaerobic digestion plant, agricultural transport, tractor and trailer, agricultural	electricity, high voltage
vinasse, from fermentation of sugarcane	nitrogen fertiliser, as N
	phosphate fertiliser, as P2O5
	potassium fertiliser, as K2O

Fonte: Openlca, (2020).

O processo de digestão anaeróbia possui três co-produtos / serviços: biogás, destinação de resíduos biológicos e aplicação de biofertilizantes (sólidos e líquidos) como fertilizante na agricultura.

Figura 45 apresenta maior detalhamento das entradas e saídas deste processo. O autor, por meio do uso do programa, insere as entradas e saídas necessárias de acordo com cada

tecnologia a ser utilizada para melhor uso da vinhaça. Este caso apresenta a tecnologia de digestão anaeróbia com entrada de vinhaça nessa digestão e produz energia elétrica e vinhaça digerida com a produção de fertilizante de nitrogênio, fosfato e potássio

Figura 45 - Entradas e saídas da produção de energia.

Inputs/Outputs: electricity, high voltage

Inputs	
Flow	Category
F ₂ vinasse, from fermentation of sugarcane	016:Support activities to agricu...
F ₂ anaerobic digestion plant, agricultural	429:Construction of other civil ...
Outputs	
Flow	Category
F ₂ electricity, high voltage	
F ₂ nitrogen fertiliser, as N	016:Support activities to agricu...
F ₂ phosphate fertiliser, as P2O5	016:Support activities to agricu...
F ₂ potassium fertiliser, as K2O	016:Support activities to agricu...

Fonte: Openlca, (2020).

Figura 46 apresenta as principais entradas e saídas da tecnologia de digestão anaeróbia para gás natural renovável.

Figura 46 - Digestão anaerobia - RNG

market for vinasse, from fermentation of sugarcane vinasse, from fermentation of sugarcane AP...	
Inputs	Outputs
	vinasse, from fermentation of sugarcane

2. Vinasse biodigestion - Natural gas - net	
Inputs	Outputs
anaerobic digestion plant, agricultural	methane, 96% by volume, from biogas, from high pressure net...
transport, tractor and trailer, agricultural	nitrogen fertiliser, as N
vinasse, from fermentation of sugarcane	phosphate fertiliser, as P2O5
	potassium fertiliser, as K2O

Fonte: Openlca, (2020).

APÊNDICE D - Sites consultados

Tabela 27: Sites consultados

Nº	Orgãos consultados	Site
1	Tribunal de Justiça do Acre	https://www.tjac.jus.br/
2	Tribunal de Justiça de Alagoas	https://www.tjal.jus.br/
3	Tribunal de Justiça do Amapá	https://www.tjap.jus.br/portal/
4	Tribunal de Justiça do Amazonas	https://www.tjam.jus.br/
5	Tribunal de Justiça da Bahia	http://www5.tjba.jus.br/portal/
6	Tribunal de Justiça do Ceará	https://www.tjce.jus.br/
7	Tribunal de Justiça do Distrito Federal e dos Territórios	https://www.tjdft.jus.br/
8	Tribunal de Justiça do Espírito Santo	http://www.tjes.jus.br/
9	Tribunal de Justiça de Goiás	https://www.tjgo.jus.br/
10	Tribunal de Justiça do Maranhão	http://www.tjma.jus.br/
11	Tribunal de Justiça do Mato Grosso	http://www.tjmt.jus.br/
12	Tribunal de Justiça do Mato Grosso do Sul	https://www.tjms.jus.br/consultas/processos_links.php
13	Tribunal de Justiça de Minas Gerais	https://www.tjmg.jus.br/portal-tjmg/
14	Tribunal de Justiça do Pará	http://www.tjpa.jus.br/PortalExterno/
15	Tribunal de Justiça da Paraíba	https://www.tjpb.jus.br/
16	Tribunal de Justiça do Paraná	https://www.tjpr.jus.br/
17	Tribunal de Justiça de Pernambuco	https://www.tjpe.jus.br/
18	Tribunal de Justiça do Piauí	http://www.tjpi.jus.br/portaltjpi/
19	Tribunal de Justiça do Rio de Janeiro	http://www.tjrj.jus.br/
20	Tribunal de Justiça do Rio Grande do Norte	http://www.tjrn.jus.br/
21	Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul	https://www.tjrs.jus.br/site/
22	Tribunal de Justiça de Rondônia	https://www.tjro.jus.br/
23	Tribunal de Justiça de Roraima	http://www.tjrr.jus.br/
24	Tribunal de Justiça de Santa Catarina	https://www.tjsc.jus.br/
25	Tribunal de Justiça de São Paulo	http://www.tjsp.jus.br/
26	Tribunal de Justiça de Sergipe	https://www.tjse.jus.br/portal/
27	Tribunal de Justiça de Tocantins	http://www.tjto.jus.br/
28	Cetesb	https://cetesb.sp.gov.br/multas-ambientais/

Fonte: Autor, 2020