



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS  
NATURAIS

LUCAS VITORINO ALVES

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE ETANOL NO  
SETOR SUCROALCOOLEIRO DA PARAÍBA**

CAMPINA GRANDE - PB

2020

LUCAS VITORINO ALVES

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE ETANOL NO  
SETOR SUCROALCOOLEIRO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Linha de Pesquisa: Engenharia de Recursos Naturais

Professor Orientador: Prof. Dr. José Dantas Neto

CAMPINA GRANDE - PB

2020

A474e

Alves, Lucas Vitorino.

Eficiência energética ambiental na produção de etanol no setor sucroalcooleiro da Paraíba / Lucas Vitorino Alves. - Campina Grande, 2021.

112 f. : il. Color

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto".

Referências.

1. CO<sub>2</sub>. 2. Crédito de Carbono. 3. Gases do Efeito Estufa. 4. RenovaBio. 5. RenovaCalc. I. Dantas Neto, José. II. Título.

CDU 621.564.2(043)

LUCAS VITORINO ALVES

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE ETANOL NO  
SETOR SUCROALCOOLEIRO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Linha de Pesquisa: Engenharia de Recursos Naturais, **APROVADO** em 07 de Julho de 2020.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. José Dantas Neto

Orientador



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Vera Lucia Antunes de Lima.

Examinador Interno



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Viviane Farias Silva

Examinador Interno



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Ferreira da Silva

Examinador Externo

## DEDICATÓRIA

*Dedico mais uma vez in memória de **Maria da Conceição** (Vovó Maria), vó querida e amada  
que esteve e sempre estará comigo. Deus te faça feliz Vó.*

*Aos meus pais, **Célia Maria** e **José Vitorino**, por serem a minha base de vida.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a **DEUS**, por estar sempre comigo me protegendo, guiando, orientando, me capacitando e sendo meu guia e protetor, possibilitando conquistar um sonho e vencer mais uma etapa na minha vida.

Gostaria de agradecer ao professor **José Dantas**, por ter acreditado e confiado em mim mesmo em meio a todas as adversidades. Sou muito grato pela sua orientação, apoio, opiniões, críticas e conhecimento compartilhado que me incentivaram ainda mais a vencer os obstáculos.

Não poderia deixar de agradecer a professora **Viviane Farias**, uma pessoa fantástica e iluminada que Deus colocou em minha vida que foi grande responsável por guiar meu caminho durante tantas as adversidades. Com sua calma, sabedoria, pensamentos positivos e sempre com seu sorriso no rosto. Muito obrigado!

Aos amigos queridos que tive o prazer de conviver nesses dois últimos anos: Suelma, Jhersyka, Ruan, Kamila, Daniel e demais colegas de turma, agradeço pelos momentos compartilhados.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais **Célia Maria e José Vitorino**, que de forma incondicional sempre me apoiaram, confiaram em mim e nunca mediram esforços para que eu pudesse ir em busca dos meus sonhos. Vocês são meus exemplos de vida.

Ao meu querido e amado irmão **Matheus Vitorino**, por podermos compartilhar momentos maravilhosos juntos e cada dia estarmos mais próximos e unidos.

À minha tia **Neves**, que é minha segunda mãe, se não a primeira, que a cada momento também não mediu esforços e incentivos para que eu pudesse concluir meus estudos, mesmo nos tempos difíceis.

A todos meus **familiares** que ao longo dessa trajetória foram minha base, onde pude buscar todas as forças e incentivos necessários para continuar lutando.

ALVES, Vitorino Lucas. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE ETANOL NO SETOR SUCROALCOOLEIRO DA PARAÍBA.** 2020. 112f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais - PPGEGRN) – Universidade Federal de Campina Grande, 2020.

## RESUMO

A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) foi instituída por meio da Lei N° 13.576, de 26 de dezembro de 2017, objetivando o cumprimento das metas de mitigação de emissões de gases do efeito estufa (GEE) no setor de energia, a expansão da produção de biocombustíveis e a criação de um novo mercado de crédito de carbono. Dentre os biocombustíveis, o etanol de cana-de-açúcar surge como um dos produtos mais pertinentes a substituição dos combustíveis fósseis e um dos mais indicados a serem utilizados no setor de transporte por ser ecologicamente adequado. Entretanto, é percebido que sua produção e o processamento resultam em impactos ambientais durante seu ciclo de vida. Então, o presente estudo foi realizado objetivando-se analisar a emissão de dióxido de carbono e os parâmetros para emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOS) na produção do biocombustível etanol de cana-de-açúcar do setor sucroalcooleiro Paraibano, através da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e sua ferramenta RenovaCalc. A ferramenta metodológica, RenovaCalc, tem como base a análise de ciclo de vida (ACV), e permitiu calcular a intensidade de carbono (IC) do biocombustível etanol de cana-de-açúcar, gerar a nota de eficiência energético-ambiental (NEEA), que são critérios fundamentais para certificação do biocombustível, e poder calcular os parâmetros e emitir os créditos de descarbonização a serem negociados no mercado. A ferramenta foi aplicada ao setor sucroalcooleiro paraibano com dados da safra (2019/20) atribuindo o modo de perfil de produção padrão na ferramenta. Os resultados obtidos validam o modelo do estudo e demonstram o efetivo potencial de crescimento e, em conjunto, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> do biocombustível etanol paraibano, comparado a gasolina. Ainda, a idealização de um novo modelo para comercialização de crédito de carbono através do CBIOS, tende a ser um excelente diferencial para um novo panorama de crescimento e reestruturação do setor sucroalcooleiro nacional, sobre tudo na Paraíba. Este estudo foi o primeiro a analisar e aplicar a ferramenta de análise de ciclo de vida, RenovaCalc, ao biocombustível etanol de cana-de-açúcar no cenário estadual aplicada no Setor Sucroalcooleiro Paraibano safra (2019/20).

**Palavras-chaves:** CO<sub>2</sub>; Crédito de Carbono; Gases do Efeito Estufa; RenovaBio; RenovaCalc.

ALVES, Vitorino Lucas. **ENVIRONMENTAL ENERGY EFFICIENCY IN THE PRODUCTION OF ETHANOL IN THE SUGAR-ETHANOL SECTOR IN PARAÍBA.** 2020. 112f. Dissertation (Graduate Program In Engineering And Natural Resource Management - PPGEGRN) – Federal University Of Campina Grande, 2020.

## **ABSTRACT**

The National Biofuels Policy was established by Law No. 13.576, of December 26, 2017, aiming to comply with the goals of mitigation of greenhouse gases (GHG) in the energy sector, the expansion of the production of biofuels and the creation of a new carbon credit market.

Among biofuels, sugarcane ethanol emerges as one of the most relevant products to replace fossil fuels and one of the most indicated to be used in the transport sector because it is ecologically adequate. However, it is perceived that its production and processing result in environmental impacts during its life cycle. So, the present study was carried out aiming to analyze the emission of carbon dioxide and the parameters for the emission of Decarbonization Credits (CBIOs) in the production of the sugarcane ethanol biofuel in the sugar and alcohol sector of Paraíba, through the National Policy Biofuels (RenovaBio) and its RenovaCalc tool. The methodological tool, RenovaCalc, is based on life cycle analysis (LCA), and calculates the carbon intensity (CI) of the sugarcane ethanol biofuel, generating the energy-environmental efficiency score (NEEA) , which are fundamental criteria for biofuel certification, and be able to calculate parameters and issue decarbonization credits to be traded on the market. The tool was applied to the sugar-ethanol sector in Paraíba with data from the harvest (2019/20) attributing the default production profile mode in the tool. The results obtained validate the study model and demonstrate the effective potential for growth and, together, the reduction of CO<sub>2</sub> losses of the biofuel ethanol from Paraíba, compared to gasoline. Still, an idealization of a new model for credit trading through CBIOs tends to be an excellent differential for a new panorama of growth and development of the national sugar-ethanol sector, especially in Paraíba. This study was the first to analyze and apply a life cycle analysis tool, RenovaCalc, to the sugarcane ethanol biofuel in the state scenario applied in the sugar-ethanol sector of Paraíba, harvest (2019/20).

**Keywords:** CO<sub>2</sub>; Carbon Credit; Greenhouse gases; RenovaBio; RenovaCalc.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Produtores de etanol da região Nordeste do Brasil.....	26
<b>Figura 2</b> - Etapas do processo produtivo do etanol hidratado. ....	29
<b>Figura 3</b> - Cartograma: cana-de-açúcar da Paraíba por quantidade produzida, ranking dos municípios e UPs.....	39
<b>Figura 4</b> - Planilhas para preenchimento da RenovaCalc.....	45
<b>Figura 5</b> - Planilhas para preenchimento dos dados de produtores de biomassa .....	47
<b>Figura 6</b> - Orientações para preenchimento de cada um dos campos.....	48
<b>Figura 7</b> - Descrição das informações sobre produtores de cana-de-açúcar que deverão ser preenchidas quando o tipo de dado é “Padrão”. .....	49
<b>Figura 8</b> - Exemplo de preenchimento de informações sobre elegibilidade. ....	51
<b>Figura 9</b> – Descrição das informações da planilha "Consolidado". ....	53
<b>Figura 10</b> - Preenchimento dos dados padrão paraibano na RenovaCalc .....	72
<b>Figura 11</b> - Fase agrícola RenovaCalc – Dados consolidados .....	73
<b>Figura 12</b> - Fase industrial e de distribuição – RenovaCalc.....	77
<b>Figura 13</b> - Intensidade de carbono e NEEA do setor sucroalcooleiro paraibano – Etanol anidro .....	78
<b>Figura 14</b> - Intensidade de carbono e NEEA do setor sucroalcooleiro paraibano – Etanol hidratado .....	79
<b>Figura 15</b> - Intensidade de carbono e NEEA da usina Tabu – Etanol hidratado.....	94

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Rotas dos biocombustíveis.....	46
<b>Quadro 2</b> - Descrições de cada aba da planilha de produtores.....	47
<b>Quadro 3</b> - Informações declaradas para fase agrícola no preenchimento dos dados padrão. 50	
<b>Quadro 4</b> - Informações declaradas para fase agrícola no preenchimento dos dados padrão. 51	
<b>Quadro 5</b> - Informações e parâmetros quantificados para fase industrial – E1G.....	54
<b>Quadro 6</b> - Informações e parâmetros quantificados para fase industrial – E1G.....	55
<b>Quadro 7</b> - Parâmetros quantificados para fase de distribuição – E1G.....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Paraíba: UPs do Setor Sucroalcooleiro e capacidade instalada de etanol. ....	40
<b>Tabela 2</b> - Teor de umidade típico. ....	56
<b>Tabela 3</b> – Número de Colheitadeiras no Estado da Paraíba. ....	64
<b>Tabela 4</b> - Produção paraibana de etanol anidro, hidratado e total e variação das últimas safras .....	67
<b>Tabela 5</b> - Cana-de-açúcar equivalente destinada ao etanol, produção de etanol e seu rendimento (em litros por tonelada de cana). ....	68
<b>Tabela 6</b> - Cana-de-açúcar equivalente destinada ao etanol anidro, produção de etanol anidro e seu rendimento percentual (em litros por tonelada de cana) .....	69
<b>Tabela 7</b> - Cana-de-açúcar equivalente destinada ao hidratado, produção de etanol hidratado e seu rendimento percentual (em litros por tonelada de cana). ....	69
<b>Tabela 8</b> - Dados da fase agrícola do setor sucroalcooleiro paraibano safra 2019/20 – Dados de produção específicos.....	71
<b>Tabela 9</b> - Dados da fase industrial e de distribuição do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).....	75
<b>Tabela 10</b> - Cálculo da fração do volume de etanol elegível do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).....	81
<b>Tabela 11</b> - Cálculo do fator para emissão de CBIO do etanol anidro e hidratado do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20). ....	82
<b>Tabela 12</b> - Cálculo da emissão potencial do CBIO total do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).....	83
<b>Tabela 13</b> - Processos Administrativos de Certificação Renovabio – atualizado em 19/03/2020. .....	86
<b>Tabela 14</b> - Principais dados do Relatório de Verificação da Produção Eficiente de Biocombustível das UPs da Paraíba. ....	89
<b>Tabela 15</b> - Comparação dos resultados do Setor Sucroalcooleiro Paraibano versus resultado das Ups Paraibanas que aderiram a RenovaBio. ....	93
<b>Tabela 16</b> - Inventário dos parâmetros de sensibilidade - fase agrícola. ....	98
<b>Tabela 17</b> - Inventário dos parâmetros de sensibilidade - fase agrícola. ....	99
<b>Tabela 18</b> - Validação do Modelo - NEEA Real x NEEA PB Simulado .....	99

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> -Área colhida com cana-de-açúcar na Paraíba entre as safras 2005/06 e 2019/20 (em Mil hectares).....	61
<b>Gráfico 2</b> – Produtividade de cana-de-açúcar na Paraíba entre as safras 2005/06 e 2019/20 (Tonelada/hectare).....	62
<b>Gráfico 3</b> – Produção de cana-de-açúcar na Paraíba entre as safras 2005/06 e 2019/20 (Mil Toneladas). ....	63
<b>Gráfico 4</b> - Percentual da área de colheita Manual x Mecanizada. ....	65
<b>Gráfico 5</b> - Distribuição percentual da produção de Etanol no Nordeste por estado (Safrá 2019/20).....	66
<b>Gráfico 6</b> - Produção paraibana de etanol anidro, hidratado e total entre as safras 2005/06 e 2019/20 (em Milhões de litros). ....	67

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AGEITEC	Agência Embrapa de Informação e Tecnologia
ANP	Agência Nacional de Petróleo
AS	Análises de Sensibilidade
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBIOs	Créditos de Descarbonização
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COP-21	21ª Conferência das Partes
COVID-19	COrona VIRus Disease – 2019
E1G	Etanol Combustível de Primeira Geração Produzido a Partir de Cana-de-açúcar
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
GT-ACV	Grupo de Trabalho Técnico em Análise do Ciclo de Vida
Há	Hectar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Intensidade de Carbono
ISSO	Organização Internacional de Normalização
KCI	Cloreto de Potássio
LUC	Land Use Change
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério de Minas e Energia
MOP-11	11ª Reunião das Partes no Protocolo de Quioto
MUT	Mudança de Uso da Terra
NDC	Nationally Determined Contribution
NEEA	Nota de Eficiência Energético-Ambiental
NF-e	Nota Fiscal Eletrônica
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio

ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder Calorífico Inferior
Proálcool	Programa Nacional do Álcool
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
RenovaCalc	Ferramenta de Cálculo de Intensidade de Carbono dos Biocombustíveis
SINDÁLCOOL-PB	Sindicato da Indústria de Fabricação do Álcool do Estado da Paraíba
SO <sub>2</sub>	Enxofre
SSP	Superfosfato Simples
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
ÚNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
UPs	Unidades Produtoras de Cana-de-açúcar

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Justificativa.....	18
1.2	Objetivos .....	20
	1.2.1 Geral .....	20
	1.2.2 Específico .....	20
1.3	Estruturação do Trabalho .....	20
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	22
2.1	Setor Sucroalcooleiro/Sucroenergético .....	22
2.2	Cadeia Produtiva do Etanol De Cana-De-Açúcar .....	26
	2.2.1 Etapas do Processo Produtivo do Etanol de Cana-de-açúcar .....	26
2.3	Sustentabilidade Ambiental.....	31
2.4	Políticas de incentivos dos biocombustíveis no brasil .....	33
	2.4.1 Política Nacional de Biocombustível (RenovaBio) .....	35
3.	MATERIAI E MÉTODOS .....	38
3.1	Caracterização do Cenário da Pesquisa.....	38
3.2	Procedimento De Coleta De Dados.....	41
3.3	Ferramenta Metodológica - RenovaCalc.....	42
	3.3.1 Preenchimento da RenovaCalc .....	45
	3.3.2 Dados e Parâmetros da Fase Agrícola .....	47
	3.3.3 Dados e Parâmetros das Etapas Industriais .....	54
	3.3.4 Verificação das informações referentes à fase de distribuição .....	56
3.4	Emissão do Crédito de Descarbonização (CBIO) .....	57
	3.4.1 Fator Para Emissão de CBIO .....	58
	3.4.2 Fração do Volume de Biocombustível Elegível .....	59
3.5	Análise de sensibilidade .....	60
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
4.1	Inventário do Setor Sucroalcooleiro Paraibano.....	61
	4.1.1 Produção de Cana-de-açúcar .....	61
	4.1.2 Produção de Etanol .....	65
	4.1.3 Rendimento do Etanol Total, Anidro e Hidratado (Litros/TC) .....	68

4.1.4	Subprodutos – Bagaço e Energia.....	70
4.2	RenovaCalc - Cálculo da Intensidade de Carbono (IC) e Nota De Eficiência Energético-Ambiental (NEEA) .....	70
4.3	Cálculo da Emissão Potencial de Crédito de Descarbinização (CBIO) Paraibano	80
4.4	Análise da Pré-certificação das Unidas Produtoras Paraibanas em processo implementação do RenovaBio.....	85
4.5	Comparando os Resultados: Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20) <i>versus</i> UPs do Estado .....	92
4.6	Verificação de Cenários por Meio da Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Energéticas das Usinas Paraibanas .....	97
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	101
	REFERÊNCIAS.....	103

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por utilização de fontes renováveis de combustíveis, em detrimento da substituição/redução dos combustíveis fósseis que causam impactos irreversíveis ao meio ambiente (mudanças climáticas, desastres ecológicos, aquecimento global), é uma prática atual guiada pela grande pressão nos recursos naturais não-renováveis, com destaque no petróleo, e a urgente necessidade mundial de mitigar os impactos socioambientais, associado a esta fonte (FERNANDES, 2009).

A principal consequência danosa dos combustíveis fósseis ao meio ambiente é a aceleração acentuada do chamado efeito estufa, através da queima dos combustíveis fósseis que liberam na sua combustão os gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e enxofre ( $\text{SO}_2$ ) para a camada de ozônio (ARBEX et al., 2012; POMPELLI et al., 2011; PEREIRA, 2009; CORREA et al., 2011).

Não obstante, o biocombustível etanol surge como um dos produtos pertinentes a substituição dos combustíveis fósseis e um dos mais indicados a serem utilizados no setor de transporte por ser ecologicamente adequado, devido sua condição renovável e menor impacto a camada de ozônio (VALENCIA e CARDONA 2014; CREMONEZ et al. 2015; DÍAZ, 2011). Segundo Branco et al. (2020) uma das principais vantagens do uso do etanol como combustível, é sua baixa emissão líquida dos GEE na atmosfera, comparado a gasolina. O etanol, é um tipo de álcool que usualmente é produzido a partir de produtos açucareiros, oriundo de inúmeros cultivares como, milho, beterraba e cana-de-açúcar.

Em destaque, o Brasil é o maior produtor mundial de etanol proveniente da cana-de-açúcar. Estima-se uma produção de 33,8 bilhões de litros etanol total a partir da cana-de-açúcar, acréscimo de 4,6% em relação à safra passada (CONAB, 2020). Por causa de suas características climáticas e de solo favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar e aliado às grandes áreas cultiváveis, o Brasil torna-se um grande participante na comercialização mundial de elevada competitividade (CONAB, 2018).

A agroindústria sucroalcooleira brasileira, diferentemente do que ocorre nos demais países, opera numa conjuntura positiva e sustentável. Ao conciliar as preocupações relacionadas ao meio ambiente e os efeitos indesejáveis da utilização dos combustíveis fósseis, que considera o balanço do lançamento de carbono na atmosfera e os seus danosos efeitos no aquecimento global, o segmento industrial brasileiro, quando produz o etanol, oferta para o mercado um combustível ecologicamente correto, que não afeta a camada de ozônio e é obtido a partir de

fonte renovável. Como o maior exportador de etanol de cana-de-açúcar do mundo, o setor sucroalcooleiro Brasileiro, com ênfase nas Usinas, deve se enquadrar nas normas nacionais e internacionais.

A cultivo da cana-de-açúcar teve início e consolidação no Nordeste Brasileiro, e perdura até os dias atuais como umas das principais atividades econômicas brasileiras (GARCIA, 2007; REZENDE; RICHARDSON, 2015. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2017) a Região Nordeste tem significativa contribuição na produção e beneficiamento da cana-de-açúcar, e ainda encontra-se em expansão. Segundo a CONAB (2020) para Região Nordeste, estima-se uma produção total de etanol de 2,03 bilhões de litros na safra 2019/2020, tendo um crescimento de 4,6% em comparação da safra anterior.

Neste cenário, o Estado da Paraíba, historicamente, é o terceiro maior produtor de etanol do Nordeste. Segundo o Sindicato da Indústria de Fabricação do Álcool do Estado da Paraíba - SINDÁLCOOL-PB (2018) nas safras de 2014/15 e 2015/16 o estado foi o segundo maior exportador do Nordeste. Resultado de grande expressão para um dos estados mais pobres do país (PAIXÃO; FONSECA, 2011).

A produção sucroalcooleira Paraibana sofre grande limitação da extensão da área produtora, por estar concentrada apenas na zona litorânea do estado, baixa fertilidade do solo, baixo nível tecnológico de produtores de menor porte, falta de investimentos e inexistência de legislações estaduais perante práticas sustentáveis (PAIXÃO; DA FONSECA, 2011). Assim, o setor sucroalcooleiro Paraibano é estimado com grande potencial de crescimento, que ainda se encontra em expansão, e sobre tudo, a ser guiado por novas práticas sustentáveis. Assegurando essa afirmativa, a CONAB (2020) em seu primeiro levantamento anual para a safra 2020/21, estima que a Paraíba será o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do Nordeste.

Desta maneira, o setor sucroalcooleiro Paraibano, como sendo um dos estados significativos da região Nordeste, com potencial de crescimento, precisa-se adequar ao novas práticas de desenvolvimento sustentáveis internacionais e nacional, guiada pela Nova Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), mensurando as emissões de CO<sub>2</sub> em todo ciclo de vida do etanol para poder negociar Créditos de Descarbonização (CBIOS) com o mercado em conformidade com a Política e discutindo práticas sustentáveis que visam a redução de GEE ao meio ambiente. Ofertando assim, um Biocombustível cada vez mais sustentável e menos poluente em todo seu ciclo de vida.

Nesse contexto, **Como mensurar a emissão de dióxido de carbono e os parâmetros para emissão de CBIOS no Ciclo de Vida do etanol de cana-de-açúcar do Setor Sucroalcooleiro Paraibano, norteado pela Política Nacional de Biocombustíveis**

## **(RenovaBio)?**

### **1.1 Justificativa**

Os fatores econômicos norteiam o agronegócio, seus setores e as empresas nele inseridas, em busca de cada vez mais lucros e crescimento organizacional. Porém, no novo ambiente competitivo, as organizações só conseguirão obter sucesso contínuo, partindo de práticas sustentáveis. No caso da produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar, é perceptível, e já exposto por vários estudos, os impactos ambientais ocasionados principalmente na etapa de plantio e colheita (fase agrícola), bem como a geração de GEE, como o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), em cada fase para geração de etanol (fase industrial e fase distribuição). Dessa maneira um combustível que deveria poluir menos o meio ambiente, como o etanol, tem sua contribuição significativa na emissão de GEE.

Na tentativa de identificar a quantidade de gases do efeito estufa lançado no meio ambiente na produção de etanol, o estudo torna-se completamente justificável mediante a análise da RenovaBio, que através da sua ferramenta de cálculo de intensidade de carbono (RenovaCalc), possibilita “pela primeira vez, o Brasil a está pronto para: atribuir efetivamente classificações de Intensidade de Carbono aos combustíveis de transporte” (MELO, 2018, p. 54). Ainda, segundo Brasil (2017c, p. 4) “é preciso que seja reconhecida a capacidade dos biocombustíveis contribuírem para a mitigação de emissões de gases causadores do efeito estufa, principalmente na forma de CO<sub>2</sub>”.

Reconhecimento este, baseado na análise do ciclo de vida dos biocombustíveis, neste caso etanol de cana-de-açúcar, em cada processo de produção utilizado por cada produtor, e sua relação de redução de emissões de CO<sub>2</sub> frente a seu combustível não-renovável substituto (gasolina), assim, gerando ao produtor a Certificação da Produção Eficiente de Biocombustível e Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA). Aspectos semelhante a programas mundiais de biocombustíveis, como também a sua relação com a comercialização de créditos de carbono, na RenovaBio chamado de CBIOS.

A partir da análise mercadológica, a política visa criar oportunidades para o aumento da renda e da produção nacional, atrelado a condições de incentivo de investimento privado na produção e no desenvolvimento de tecnologias relacionadas à produção e ao uso de biocombustíveis. Assim, as unidades produtoras (UPs) do setor sucroalcooleiro paraibano, precisam estar em consonância com as novas perspectivas oriundas da nova política, com vista em novos investimentos para a expansão e crescimento do setor no estado, através de novas

tecnologias e uma produção eficiente e sustentável, que gere um combustível com menos emissão de CO<sub>2</sub> em todo seu ciclo de vida.

Paixão e Fonseca (2011), já indicavam e estimulavam que o setor sucroalcooleiro paraibano precisava de novas políticas econômicas e sustentáveis que incentivassem a redução dos impactos ao meio ambiente e fossem atreladas a indicadores que demonstrassem a potencialidade dos novos métodos, ou seja, de forma mensurável. Reaquecendo o setor e a adesão das empresas as normas nacionais e mundiais, nesta que é uma das mais importantes atividades do estado. Corroborando com necessidade de estabelecimento de uma nova política nacional de incentivo e fortalecimento do setor, principalmente no Nordeste, Coutinho et al. (2016, p. 329) evidenciam que “a desregulação do setor sucroalcooleiro foi considerada o maior problema no processo produtivo de cana-de-açúcar no estado da Paraíba”.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2020), na safra 2019/2020 a Paraíba é o segundo maior produtor de etanol anidro do Nordeste, podendo beneficiar-se ainda mais com um novo cenário de aumento da produção nacional e exportação mundial.

Atrelado ao cenário de exportação e partindo para uma justificativa socioeconômica mundial, temos a ascensão mundial do mercado de crédito de carbono, que se encontra, também, abordado como um dos resultados da RenovaBio, com o chamado: CBIOS. Um ativo financeiro concedido aos produtores certificados, que será negociado mundialmente na bolsa de valores. Estimulando o mercado econômico nacional e mundial.

Assim, é importante uma melhor compreensão desta nova metodologia pelo setor paraibano e identificar como as UPs estão acompanhando a dinâmica da nova Política e como encontram-se os procedimentos para a implementação da RenovaBio em suas usinas, entre outros aspectos. Justificado pela recente sanção da lei, que entrou em vigor em 2020, e principalmente a falta de estudos na literatura a respeito da Política Nacional de Biocombustível e sobretudo a sua aplicabilidade.

Nesse contexto, pesquisas nesta vertente, sem dúvidas, corroboram com o reconhecimento e medição da capacidade de mitigação dos biocombustíveis em emissão de CO<sub>2</sub>, comparado ao combustível fóssil. Destacando a relevância da pesquisa para o agronegócio e sua relação com a sustentabilidade, ajudando a preencher lacunas na literatura, assim como pelo seu caráter inédito, devido à inexistência de estudos aplicando a RenovaBio no setor sucroalcooleiro Paraibano, apresentando as particularidades da produção local.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Geral

Analisar a emissão de dióxido de carbono e os parâmetros para emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOS) na produção do biocombustível etanol de cana-de-açúcar do setor sucroalcooleiro Paraibano, através da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

### 1.2.2 Específico

- ✓ Realizar um inventário do setor sucroalcooleira da Paraíba;
- ✓ Calcular e avaliar as emissões de CO<sub>2</sub> e a Nota de Eficiência Energético-Ambiental do setor sucroalcooleira da Paraíba;
- ✓ Quantificar os parâmetros para emissão potencial do CBIO;
- ✓ Análise da pré-certificação das unidas produtoras do estado da Paraíba em processo implementação do RenovaBio;
- ✓ Construir e verificar cenários através da análise de sensibilidade dos parâmetros energéticas das usinas Paraibanas.

## 1.3 Estruturação do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos: i) Introdução; ii) Revisão Bibliográfica; iii) Metodologia; iv) Resultados e Discussões; e v) Considerações Finais.

O Capítulo 1, corresponde a Introdução, justificativa, aborda os objetivos, específicos e gerais; e a estruturação do trabalho.

O Capítulo 2, corresponde a Fundamentação Teórica, é composto pela abordagem da contextualização do setor sucroalcooleiro e aspectos da Política Nacional de Biocombustível (RenovaBio).

O Capítulo 3, corresponde a Metodologia, foi dividido em: i) Caracterização do universo empírico; ii) Local da Pesquisa; iii) Procedimento de coleta de dados; iv) Ferramenta metodológica – RenovaCalc; v) Emissão de Crédito de Descarbonização (CBIO).

O Capítulo 4, corresponde aos Resultados e Discussões, está dividido em: i) Inventário

do Setor Sucroalcooleiro Paraibano; ii) RenovaCalc - Calculo da Intensidade de Carbono (IC) e Nota De Eficiência Energético-Ambiental (NEEA); iii) Cálculo da Emissão Potencial do Crédito de Descarbonização (CBIO) Paraibano; iv) Análise das UPs Paraibanas em Processo de Implementação da RenovaBio; v) Comparando Os Resultados: Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20) versus UPs do Estado; e vi) Análise de Sensibilidade e Validação do Modelo.

O Capítulo 5, refere-se às Considerações Finais sobre os resultados e discussões desenvolvidos ao longo do trabalho. Apresenta recomendações técnicas para as empresas e aborda as principais limitações observadas ao trabalhar com as usinas do setor sucroalcooleiro paraibano.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Setor Sucroalcooleiro/Sucroenergético

O Brasil se destaca mundialmente no setor sucroalcooleiro, em todos os produtos gerados (açúcar, etanol anidro e hidratado, bagaço, energia, entre outros). Para isso, a cana-de-açúcar é fundamental no processo de transformação da nação em uma das grandes potências mundiais neste seguimento, sendo assim é uma das principais culturas da economia brasileira (RIBEIRO, 2019).

O cultivo e processamento de cana-de-açúcar no Brasil é considerada parte cultural da população com tradição secular, esta atividade teve origem e consolidação na região Nordeste, sendo caracterizada como monocultura, em extensas propriedades, com utilização de escravos (GARCIA, 2007). Atualmente ainda se utiliza este modelo de cultivo em larga escala, como afirmam Silva e Ferreira (2017), sendo este assunto bastante discutido nos últimos anos no âmbito jurídico e ambiental, por sua grande degradação ao meio ambiente.

A união do modo de produção tradicional com a inserção das novas tecnologias, de acordo com Carvalho e Oliveira (2006), o Brasil passou a ser um país com elevada competitividade na produção de açúcar e álcool, com concentração da produção no Estado de São Paulo. A região Centro-Sul é considerada o grande polo produtivo e tecnológico com acréscimos na produção em menor área de cultivo, e a região Nordeste tem uma significativa contribuição na produção e beneficiamento da cana-de-açúcar ainda em expansão, segundo dados da CONAB (2017).

Atualmente há uma tendência de denominar o setor sucroalcooleiro de setor sucroenergético, devido a inserção da cogeração de energia pelas Usinas, utilizando o que antes era considerado rejeito (como o bagaço e a palha da cana) para produção de eletricidade, e a continuidade da produção de açúcar e etanol (FGV, 2017). Entretanto, neste estudo, a nomenclatura abordada para a junção de todos estes aspectos produtivos, será o tradicional nome “Setor Sucroalcooleiro”.

O crescimento no setor sucroalcooleiro teve início com a crise do petróleo em 1973, devido ao álcool (Etanol) ser uma das possibilidades para substituição do petróleo como combustível. O programa Nacional do Álcool – Proálcool, criado pelo governo brasileiro em 1975, teve investimento do Banco Mundial para ampliar a área plantada de cana-de-açúcar, assim como empreender em novas destilarias de etanol. Para se adequar ao novo combustível,

as empresas automobilísticas fizeram modificações nos motores para utilização do etanol hidratado, gerando um aumento da frota de carros movidos a etanol (IRIYA; OLIVEIRA; BERTO, 2009).

Um das principais características do setor sucroalcooleiro brasileiro que as diferenciam de outros países, é porque as indústrias processam as canas-de-açúcar que geram, sendo assim a produção agrícola integrada a industrial, devido as propriedades agrícolas brasileiras com extensa área apropriada a agricultura. Para evidenciar o poder produtivo do país, dados da série das safras de 2005/06 até 2019/20, com recorde produtivo da safra de 2015/2016 em que a produção atingiu o espetacular resultado de 665 milhões de toneladas de cana-de-açúcar produzidos, com produtividade média de 76.909 kg/ha, havendo um incremento de 9% em relação à safra anterior (CONAB, 2017; CONAB, 2020)

No setor sucroalcooleiro brasileiro a produção autônoma das usinas perante a cana-de-açúcar é uma particularidade, ou seja, as usinas produzem cerca de 64% de toda a cana que é processada, apenas 36% da matéria prima é advinda de terceiros, diferenciando do cenário internacional onde as indústrias, na sua grande maioria, apenas executam o processamento da matéria prima destinando a plantação e cultivo para terceiros CONAB (2013). O setor também possui um elevado *mix* de produtos derivados da cana-de-açúcar, além do açúcar e etanol, que são fabricados a partir do caldo e dos resíduos sólidos e líquidos da moagem, pode-se listar também a rapadura, cachaça, cogeração de energia elétrica e entre outros, fazem com que o setor possua um grande potencial de aproveitamento da matéria prima em 100% (RIBEIRO, 2019).

Entretanto, um dos fatores que afetam diretamente de forma irregular o setor sucroalcooleiro são as condições climáticas de cada região, por se tratar de um país extenso cada região ou até mesmo estado, possui um clima próprio. Como por exemplo, na região Norte em Rondônia na safra de 2015/2016 teve diminuição da produção, cerca de 48% em relação à anterior, situação semelhante aconteceu na região Nordeste, nos estados da Paraíba, Alagoas e Pernambuco, devido as dificuldades durante a safra, afetando diretamente a produção e produtividade destas regiões CONAB (2017).

A região Sudeste é a maior produtora de cana-de-açúcar do Brasil, com 64,9% de toda a produção brasileira, seguida do Centro- Oeste (21,77%), Nordeste (7,03%), Sul (5,77%) e Norte (0,53%) (CONAB, 2018).

Para safra de 2019/20 estima-se uma diminuição de aproximadamente 2,4% na área de cultivo nacional, comparada com a safra anterior. Na região Nordeste a área colhida na safra de 2018/2019 foi de 834,1 mil ha, enquanto que em 2019/20 estima-se uma diminuição de 4,4%.

Ao analisar o Estado da Paraíba, com área plantada de 122 mil ha (safra 2018/19 e safra 2019/20), não houve redução da área colhida neste estado, contudo espera-se produtividade acima de 72 mil kg/ha, registrados na safra 2018/19, para uma produtividade de 73 mil kg/ha na safra de 2019/20 (CONAB, 2019a, CONAB, 2019b, CONAB, 2019c). Dessa maneira observa-se que apesar de menor área colhida a produção estimada é elevada e crescente, podendo ser alterada por alguns fatores, como por exemplo: clima, solo, problemas na operação da colheita, entre outros, como afirma a União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA (2019a).

Tratando-se do rendimento médio produtivo, de acordo com o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (2019) o rendimento médio da colheita nacional de junho de 2019 foi de quase 86 toneladas/ha de cana-de-açúcar, sendo este valor superior ao mesmo período analisado no ano passado (2018). Apesar do aumento da taxa de produtividade houve diminuição da produção de açúcar de 19%, enquanto que o etanol obteve crescimento atingindo cerca de 2,2 bilhões de litros, divididos em etanol anidro e hidratado, até a primeira quinzena de julho de 2019 (UNICA, 2019a).

Com a utilização do etanol como fonte de combustível, o setor sucroalcooleiro foi impulsionado pelo capital externo, pelo interesse de combustíveis menos poluente e com potencial para substituir o combustível fóssil em outros países, na busca de reduzir os impactos ambientais. O capital externo estimulou nas pesquisas e na atividade de ciência e tecnologia, no aprimoramento do etanol 2G, auxiliando na internacionalização do setor sucroenergético, responsável por cerca de 25% da moagem, como afirmam Garcia, Lima e Vieira (2015).

O etanol 2G ou de segunda geração é produzido de material celulósico, como o bagaço e a palha resultante do processamento da biomassa da cana, ou seja, o que seria rejeito, podem ser utilizados na geração de etanol 2G, podendo duplicar a quantidade produzida de etanol 2G em comparação ao 1G, a tecnologia de hidrólise enzimática deve esta implantada nas Usinas brasileiras (CTC, 2019).

O sucesso do etanol é proveniente da produção de veículos flex que corresponde a aproximadamente 90% da comercialização, a utilização de biocombustível de acordo com algumas pesquisas possibilita a diminuição dos GEE em cerca de 61% em relação a gasolina, como explica Andrade (2017). Segundo Fredo e Salles-Filho (2012), a utilização de maquinário na colheita, tem substituído a prática de queima da palha, o que influencia na redução dos danos ocasionados ao meio ambiente, Andrade (2017).

A agricultura de precisão é bastante aplicada na indústria sucroalcooleira, como afirmam Cirani e Moraes (2010), a ampliação do uso de tecnologia de maior precisão, reduzem

as perdas e aumentam a produção, como relatam Davis, Hay e Pierce (2014). O sensoriamento remoto utilizado no cultivo de cana-de-açúcar, verificam a área cultivada e podem antecipar informações sobre a safra, bem como controle de pragas e menos aplicação de defensivos (PROENÇA, 2008). Em Usinas de maiores portes, têm potencial tecnológico de ponta avançada devido seus recursos financeiros (ANDRADE, 2017). A tecnologia também é atuante na diversificação do setor frente a enorme variedade de cana, geneticamente modificadas em laboratórios, que possibilita seu cultivo em diferentes regiões nacionais, em diversos tipos de solo e clima, a possibilidade de ser cultivada em diferentes períodos do ano, ou seja, possibilita que quase todo território nacional por mais extenso e diversificado que seja possa produzir cana-de-açúcar (RIBEIRO, 2019).

De acordo com Rossetto e Santiago (2019), para a Agência Embrapa de Informação e Tecnologia - AGEITEC as variedades cultivadas de cana-de-açúcar em sua maior parte são híbridas, representando no Brasil 60% desse cultivo. Com o avanço tecnológico houve um grande melhoramento genético de variedades de cana-de-açúcar, tornando-as mais adaptadas as condições edafoclimáticas de cada região, além de mais resistentes a pragas e mais produtivas (DA SILVA, PEREIRA e ZAPPAROLI, 2011).

Rossetto e Santiago (2019) afirmam que a produtividade média dos canaviais aumentou de 43 toneladas por hectare em 1961 para 74 toneladas por hectare em 2005, e isso foi resultado provável do melhoramento genético das variedades utilizadas. Ainda segundo a AGEITEC, as tantas variedades existentes é uma vantagem, por exemplo, para evitar riscos com proliferação de pragas dentro do canavial. Embora, para tomar a decisão de qual variedade será mais adequada para determinada região, requer mais conhecimento e ciência acerca das opções, exigindo maior atenção ao selecioná-la (RIBEIRO, 2019).

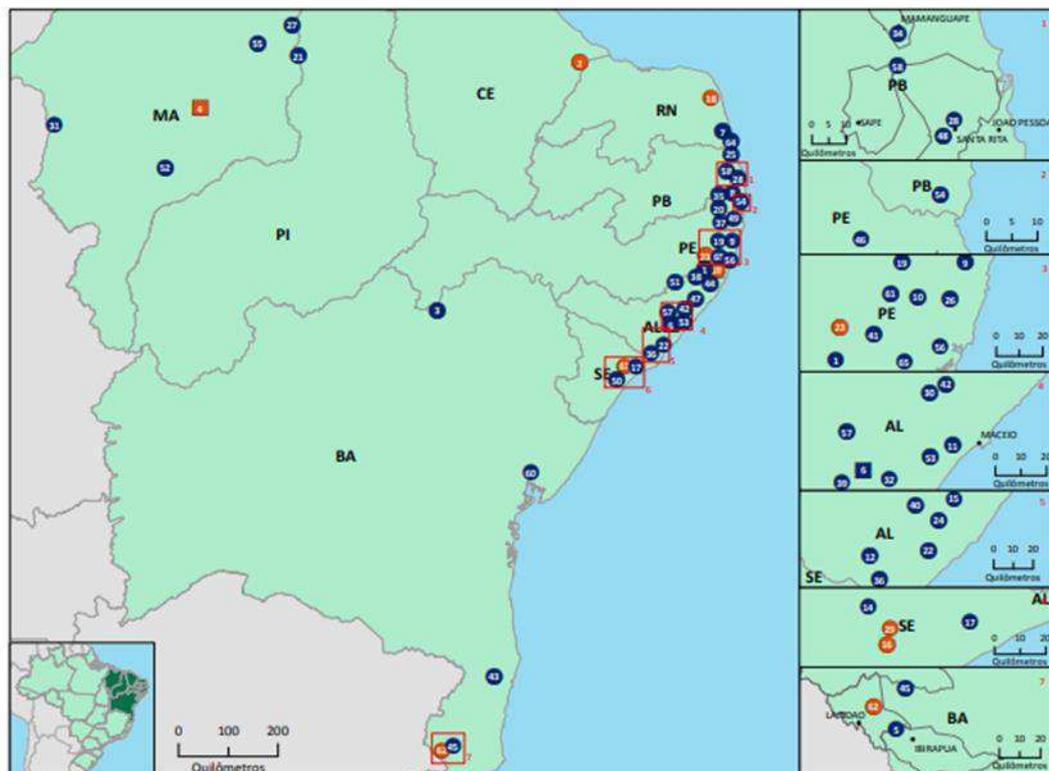
O melhoramento genético da cana-de-açúcar contribui para o aumento da sua produtividade, selecionando-se variedades que se adaptam melhor as condições climáticas, de solo e pragas do local. No Brasil as principais variedades utilizadas são as RBs (República Federativa do Brasil), da Ridesa (Rede Interuniversitária de desenvolvimento do setor Sucroalcooleiro); as SPs (Copersucar, São Paulo) e CTC distribuídas pela Copersucar (cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo); e as variedades IAC e IACSP (Instituto Agrônomo de Campinas - São Paulo), desenvolvidas pelo próprio Instituto. As siglas se referem a instituição que desenvolveu a variedade, seguido de dois números que significam o ano de cruzamento, e os demais números correspondem ao clone daquele ano (RIBEIRO, 2019).

## 2.2 Cadeia Produtiva do Etanol De Cana-De-Açúcar

No Brasil a produção máxima de etanol hidratado é de cerca 217 mil m<sup>3</sup>/dia e do etanol anidro é de 117 mil m<sup>3</sup>/dia (ANP, 2019d), sendo o etanol anidro proveniente do etanol hidratado.

Em 2017 foram constatadas 384 plantas que produzem etanol em operação no Brasil, com capacidade de 216.883 m<sup>3</sup>/dia (etanol hidratado) e 117.036 m<sup>3</sup>/dia (etanol anidro), tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar. Na região Nordeste, como observa-se na Figura 1, os produtores de etanol, algumas das plantas estão localizados nos três principalmente estados produtores de etanol: Pernambuco, Alagoas e no estado da Paraíba. A Paraíba, historicamente é o terceiro maior produtor do Nordeste, possui um total de 8 plantas com capacidade de gerar cerca de 1.500 m<sup>3</sup>/dia (etanol anidro) e 2.920 m<sup>3</sup>/dia (etanol hidratado), ANP (2017).

**Figura 1** - Produtores de etanol da região Nordeste do Brasil.



Fonte: ANP (2017).

### 2.2.1 Etapas do Processo Produtivo do Etanol de Cana-de-açúcar

As etapas do processo produtivo do etanol de 1G, ou seja, o etanol proveniente da cana-de-açúcar, inicia-se no cultivo da cana-de-açúcar, inicialmente é realizado o preparo do solo.

Esta etapa consiste em fazer uma análise do solo para a realização da adubação com a quantidade adequada, como também caso seja necessário a correção do solo. De acordo com Rossetto e Santiago (2019) na implantação do canavial deve-se executar um levantamento topográfico, uma sistematização do terreno, dentro do planejamento aborda-se a origem do tipo cana a ser utilizada no plantio, ou seja, onde as mudas serão adquiridas.

Rossetto e Santiago (2019) afirmam que para próxima fase, o plantio, são realizadas quatro etapas essenciais: corte de mudas; distribuição no sulco; cortes dos colmos em tamanhos menores, no sulco e cobertura.

O primeiro plantio de mudas de cana-de-açúcar é denominado por diversos autores e especialistas da área de cultura de, cana-planta ou planta cultura, após a primeira colheita dos colmos, uma soca é regenerada a partir dos restolhos de planta, originando a cana-soca (FAO, 2012). A depender de aspectos como o solo, clima e manejo, é comumente obtido de três a sete cultivos de cana. Alguns estudos já falam em mais de 7, culturas de apenas uma cana-planta, ou seja, um cultivo bastante eficiente que se renova por vários ciclos sem necessitar de grandes investimentos e novas plantações, derivado de apenas um plantio de cana-planta este cultivo pode render de 3 a 7 cortes (RIBEIRO, 2019).

Na fase de desenvolvimento da cultura, são realizadas atividades de irrigação para suprir a necessidade hídrica, fertilização para a demanda nutricional, como também a utilização de agrotóxicos para prevenir ou combater pragas nas lavouras. Fialho et al. (2018) pesquisando sobre a utilização de agrotóxicos no cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, afirmam que os produtores aplicam agrotóxicos, maioria das vezes por caminhos ilícitos para elevar o rendimento e produtividade, combater as pragas e aumentar a produção de caldo nas Usinas. Esta etapa é considerada a mais impactante em todo o processo produtivo, devido a utilização de fertilizantes e agrotóxicos nas lavouras de maneira incorreta, afetando o meio ambiente e ecossistemas.

Após todos estes preparos e crescimento da planta é chegado o período de colheita da cana-de-açúcar. Nesta etapa, é bastante utilizado o processo de corte manual, contudo com a mecanização agrícola, este tipo de sistema está sendo substituído pelo uso de máquinas, apesar de nos países em desenvolvimento, como o Brasil, ocorre de maneira lenta. A colheita pode ser feita pela queima, quando é retirada manualmente pelo chamado “corte da cana” efetuado por trabalhadores rurais comumente chamados de “boia-fria”, ou com a cana verde, com o uso de máquinas especializadas. Este é um tema muito importante que vem sendo abordado de maneira cautelosa devido ao grande impacto social que está “revolução industrial canavieira” pode causar a uma numerosa população carente e dependente exclusivamente deste setor

(SHAOCHUN et al., 2014).

Em uma Usina de cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, apenas 10% da colheita é mecanizada, apesar de 40% da área ser apta. Tendo uma ampla utilização da queima da cana, com colheita manual, o que acarreta na diminuição da eficiência no processo produtivo, já que a queima ocasiona danos na casca da cana, com diminuição da sacarose. Os obstáculos da mecanização no momento da colheita podem ser justificados pela declividade e investimentos escassos (RIBEIRO et al., 2018).

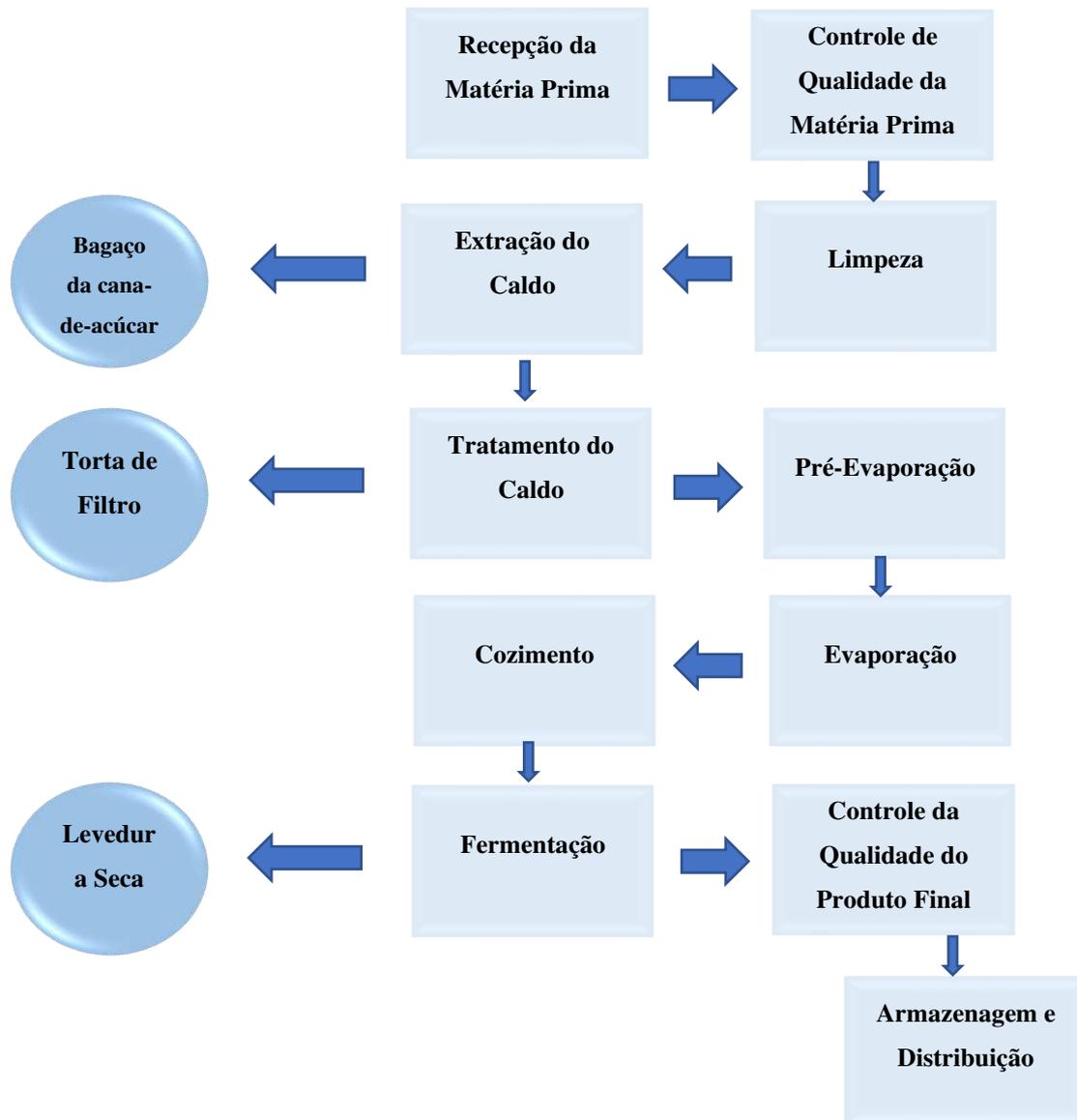
Em suas pesquisas sobre a logística na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em relação ao corte, transbordo e transporte, Machado et al. (2018) explicam que, pesquisas em modernização são essenciais para incrementar no índice de produtividade, principalmente em relação ao setor de transporte da cana, evidenciando principalmente, a economia de combustível, racionalização da frota e a manutenção do fluxo de cana para as moendas, visando obter diminuição da ociosidade e do tempo de ciclo dos caminhões, considerando a chegada a Usina até seu retorno ao campo.

Normalmente o ciclo de colheita perdura entre 9 a 12 meses, entretanto dependendo das peculiaridades locais, principalmente a precipitação ou uso de irrigação, pode ser bem variado. Após um ciclo de cana-planta deve plantar novas culturas, antes de um novo ciclo de plantio de cana-planta (FAO, 2012). O ciclo total produtivo da cana-de-açúcar somando as etapas de plantio, colheita e produção duram no Brasil de 12 a 18 meses e na região Nordeste é de 12 a 14 meses (SCARDUA; ROSENFELD, 1987; RIBEIRO, 2019).

Posteriormente a colheita, a próxima etapa é a de transporte da cana-de-açúcar. É preciso transportar a cana colhida dos canaviais até as Usinas. Etapa fundamental da gestão logística do processo produtivo. O transporte é executado em caminhões, que são pesados na entrada e saída da Usina, para se obter a produção de corte, rendimento agrícola e do rendimento industrial, como relata Lima e Marcondes (2002). Quando o caminhão chega a Usina é retirado pela sonda uma amostra da cana-de-açúcar para certificação de qualidade, em seguida ou momentaneamente é realizado a pesagem sendo encaminhado ao pátio de estoque ou descarregamento direto na mesa de recepção (MACHADO et al. 2018).

A cana de açúcar é a matéria prima na usina em que vai iniciar os processos da fase industrial. Gonçalves et al. (2015) descrevem sobre o processo produtivo do etanol hidratado proveniente da cana-de-açúcar que engloba diversas fases, afirmando que a fermentação é a forma de obter etanol. Os passos para obter o produto final etanol vai desde a recepção da cana-de-açúcar até o armazenamento final, Figura 2.

**Figura 2** - Etapas do processo produtivo do etanol hidratado.



Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2015).

O momento da recepção, em que o caminhão é pesado e verificado a qualidade da matéria-prima, em seguida são colocadas em esteiras para realizar a limpeza, através da lavagem para remoção das impurezas (GONÇALVES et al., 2018). Segundo Rodrigues e Garcez (2015) as usinas estão trocando a lavagem com água para a lavagem a seco, com diminuição de uso de água.

A qualidade da cana-de-açúcar é a concentração total de açúcares, como a sacarose, glicose e frutose. A amostra coletada é realizada em equipamentos desintegradores, sendo verificado os seguintes parâmetros: o brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo), o pol (PC), a leitura sacarimétrica do caldo, a pureza aparente do caldo (Q), os açúcares

redutores da cana (ARC), segundo informações da CONSECANA-SP (2006).

Após ser realizado a limpeza, é executado a extração do caldo, que podem ser de duas maneiras: moagem ou difusão. Ambas formas produzem como resíduo o bagaço de cana. O bagaço de cana-de-açúcar pode ser utilizado na cogeração de energia, segundo Chieppe Júnior (2012) quando empregado como matéria-prima pode ter aproveitamento da produção de celulose, chapas de aglomerado e ração animal, estima-se uma geração de bagaço aproximadamente de 280 kg/ton de cana processada.

A cana-de-açúcar após a lavagem é preparada para a moagem, sendo os colmos triturados, seguidamente é encaminhado à moenda para extração do caldo, ficando submetida a rolos de elevada pressão, com adição de 30% de água, elevando a taxa de extração, são extraídos cerca de 96% do açúcar da cana, o caldo é direcionado para passar pelo processo de tratamento e o bagaço geralmente para alimentar as caldeiras (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

No tratamento do caldo extraído da cana, segundo Andrade e Castro (2006) é uma fase de purificação essenciais para o resultado final que é o etanol, com uso de cal para clarificar, sendo este processo monitorado para resultado satisfatório. Gonçalves et al. (2018) descrevem que nesta fase é realizado o peneiramento, calagem, aquecimento, decantação, a concentração e o resfriamento. Na pré-*evaporação* e na *evaporação* tem a função de elevar a concentração do brix para 60 a 70 °brix, com decréscimo no pH.

Prontamente ao cozimento é a centrifugação, onde a massa cozinhada vai para o processo de centrifugação (MILANEZ et al., 2010). Todo o processo de fermentação dura cerca de 28 horas, produzindo o etanol e a levedura (GONÇALVES et al., 2018). A armazenagem e distribuição do etanol é feito em enormes tanques, sendo utilizado medidores de vazão (MILANEZ et al., 2010).

O transporte para venda é realizado por caminhões tanque e aproximadamente 60% do transporte no Brasil é rodoviário, enquanto que para exportação é feito pelo mar (GONÇALVES et al., 2018).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, de acordo com a Resolução nº26/2012 e nº14/2014, regulamenta a produção de etanol, por meio de requisitos técnicos, econômicos e jurídicos que devem ser considerados aos interessados na construção e operação vinculadas a esta atividade.

Segundo a ANP, para o etanol ser comercializado o produto deve seguir alguns critérios de qualidade, devendo ser límpido e isento de pureza, líquido uniforme, homogêneo, sem resíduos, sendo estes aspectos verificados por sensibilidade visual. O etanol hidratado é a mistura de álcool e água devendo sua coloração ser incolor, com no mínimo 94,5% de etanol e

máximo de 7,5% de água. A densidade do etanol deve estar oscilando de 805,2 a 811,2 kg/m<sup>3</sup> a 20°C. De acordo com ANP o teor alcoólico deve ser 92,5 a 94,6 % massa, e pH entre 6 a 8. A ANP afirma que todos que comercializam o etanol combustível deve realizar as análises especificadas e devem estar dentro dos padrões exigidos na legislação (ANP, 2015).

### **2.3 Sustentabilidade Ambiental**

A humanidade durante o último século até os dias atuais, passou a exigir demais dos recursos naturais e conseqüentemente houve um desequilíbrio ambiental mediante os impactos/degradação causados ao meio ambiente, necessitando de uma nova reflexão social quanto as práticas predatórias do consumismo (MARACAJÁ et al. 2014).

O homem, sempre foi dependente dos recursos naturais para a sua sobrevivência, entretanto houve um momento durante a história que a dependência se caracterizou em consumismo excessivo, através da exploração do meio ambiente gerando impactos negativos. Ribeiro (2019) cita que os principais processos que intensificaram a ação predatória da sociedade, resultando em severos danos ao meio ambiente, foram: a industrialização, consumismo, urbanização e crescimento populacional.

Já Curi (2011), destaca a Revolução Industrial no século XVIII como sendo o grande marco/ápice da poluição de origem antropogênica, (quando o homem alterou) alterando toda a técnica produtiva através da substituição das ferramentas de trabalho por máquinas movidas a combustível fóssil e da fabricação doméstica pelo sistema fabril, que permitiu um novo sistema de produção “em massa”. Fazendo com que os problemas ambientais fossem agravados devido a extração excessiva dos recursos naturais, configurando um novo modelo de desenvolvimento econômico.

A partir deste novo sistema produtivo e sua mudança na economia, verificou-se uma exploração desenfreada dos recursos naturais, sem nenhuma preocupação que os mesmos fossem finitos e que poderiam acabar um dia, obteve-se resultados mais concretos e significativos das conseqüências do uso exploratório e inadequado dos recursos naturais (RIBEIRO, 2019).

Os combustíveis fósseis foram o principal motor da Revolução Industrial, favorecendo o crescimento da indústria, aumentando a produção e transformando a economia. A utilização destas fontes energéticas na sociedade proporcionou um crescimento exponencial da população mundial diretamente interligado com o consumo da energia oriunda de combustíveis fósseis. (GRASSI e PEREIRA, 2019). Entretanto, as discussões acerca dos efeitos da poluição e outros

problemas socioambientais, só foram de fato iniciadas pelos cientistas a partir da industrialização.

Neste sentido, especialistas, cientistas e organizações de cunho mundial começaram a desenvolver estudos e buscar realizar eventos e reuniões a nível global para a discussão de responsabilidades e medidas de conservação do meio ambiente. Entre o marco das principais reuniões, conferências e ações, temos: em 1923, Paris sediou o primeiro Congresso Internacional para a Proteção da Natureza, que foi um marco para realização de novos movimentos; já em 1972 na cidade de Estocolmo, Suécia, foi realizado a primeira conferência internacional sobre meio ambiente, que apresentou novas visões e perspectivas sobre políticas econômicas e ambientais; em 1987 foi elaborado o Relatório Nosso Futuro ou Relatório de Brundtland, com o objetivo de efetivar o conceito do termo desenvolvimento sustentável atrelando-o a tríplice relação de economia, sociedade e meio ambiente, assim podendo atender as necessidades da sociedade presente sem comprometer com a falta de suprimentos para as gerações futuras (CURI, 2011; BARSANO; BARBOSA, 2013; RIBEIRO et al., 2018; RIBEIRO, 2019)

Outro marco em pleno século XXI, foi a realização da 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e a 11ª Reunião das Partes no Protocolo de Quioto (MOP-11), pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 em Paris, França. Com objetivo de mudanças transformacionais que levem a reduções profundas nas emissões de gases de efeito estufa, com o intuito de desacelerar o aquecimento global e implementarem ações e estratégias sustentáveis no planeta. (ACORDO DE PARIS, 2017).

Em seus compromissos com a COP 21, através da Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), o Brasil se comprometeu em reduzir as emissões de carbono em 37% até 2025, tendo como ano base 2005, e ainda com expectativa de redução de 43% até 2030. Tendo como o principal pilar para essa redução das emissões de CO<sub>2</sub>, a total participação dos biocombustíveis na matriz energética, e a retomada da valorização do etanol (EPE, 2016).

A substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis tem sido considerada uma alternativa importante no processo de transição para uma economia de baixo carbono em vários países e a busca pela sustentabilidade ambiental quando se trata dos combustíveis líquidos. Diversos estudos corroboram com esta afirmativa, reconhecendo que a produção em grande escala e o uso de etanol de cana-de-açúcar possuem alguns benefícios ambientais e de segurança energética em comparação à gasolina como combustível líquido para transporte (MACEDO et al. 2008; CHERUBINI e ULGIATI, 2010; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2010; HALLEUX et

al., 2008; MACEDO, 2005 ; OMETTO et al., 2009; RENOUF et al., 2010; 2011; SEABRA et al., 2010 , 2011 ; SEABRA, 2008; WALTER et al., 2011; CAVALETT, 2013).

Assim, evidencia a importância e contribuição de políticas voltadas para o incentivo da substituição dos combustíveis produzidos a partir de fontes não renováveis, sobre tudo o petróleo, por fontes de recursos naturais renováveis, com destaque aos biocombustíveis, mediante a urgente necessidade mundial de reduzir as emissões de GEE. Roifmant (2019) afirma que incentivar programas ambientais vai além de diminuir os impactos ambientais, vai estimular a produção agroindustrial em indústrias de biocombustíveis, havendo acréscimos de emprego, expandindo crescimento local, assim como impulsionar pesquisas e inovação, que são a resposta para a eficiência na produção do etanol em toda cadeia produtiva.

#### **2.4 Políticas de incentivos dos biocombustíveis no Brasil**

Com a instabilidade do petróleo em 1973, o Brasil iniciou a busca por opções de combustíveis proveniente de outras fontes que fossem renováveis, dessa maneira surgiu programas como o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), voltado produção do Etanol como o substituto direto da gasolina e o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo), que estimulava a produção de óleos vegetais para produção energética adicionada ao diesel e a longo prazo sua substituição, como relatam os autores Valle et al. (2004).

Segundo Cruz (2016), o Proálcool surgiu no intuito de substituir a dependência do petróleo em relação ao combustível, num momento em que o setor sucroalcooleiro que estava em crise, alavancou no incentivo na produção do álcool, através de empréstimos a juros baixos como forma de incentivo do governo.

O Proálcool possibilitou uma estrutura na produção de cana de açúcar, com elevado desempenho do setor, por meio dos investimentos ofertados foi possível realizar pesquisas em relação a melhor cultivar de cana para a produção de açúcar e álcool, assim como manejo de água e solo para obtenção de resultados satisfatórios (CRUZ, 2016).

O programa foi bem sucedido, possibilitando o controle da crise do petróleo com a redução da dependência interna, importante papel no aumento da produção, incentivos a novos produtores de Etanol e aprimoramento genético de novas espécies de cana em todo o país. Contudo, entre os anos de 1986 e 1990, com a ruptura das safras causando grandes prejuízos, redução da capacidade produtivas das usinas, diminuição dos incentivos, cominando na falta de etanol em quase todo país, e a redução brusca no preço do barril de petróleo, houve uma crise generalizada do mercado de etanol hidratado que resultou no abandono e fim do programa

(OHASHI, 2008; CRUZ, 2016; MELO, 2018).

Com o fim do Proálcool, durante os anos seguintes houve uma estagnação da produção de etanol, desregulamentação do setor e o crescimento da produção e exportação de açúcar. Só a partir de 2003 com a introdução do automóvel flex-fuel, a ratificação ao protocolo de Kyoto, visando alternativas para a substituição do petróleo e redução das emissões de CO<sub>2</sub> e novos incentivos do BNDS voltados à exportação, o Brasil passou a ser uma das potências mundiais exportadora de etanol (OHASHI, 2008; CRUZ et al., 2016).

Entretanto, o setor se viu mais uma vez em crise. Segundo Cruz et al. (2016), de 2009 em diante o setor é novamente abalado pela crise, com perdas de produtividade, faltas de incentivos e falta de uma nova e eficiente política governamental que reduza as incertezas e apresente perspectivas futuras para o setor.

Ainda durante esse período, nos anos de 2003-2004, o governo brasileiro buscando opções de novas fontes para produção de combustíveis sustentáveis, desta vez voltada para a produção de Biodiesel, em dezembro de 2004 lançou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) com objetivo principal de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira, com foco na redução da pobreza e a desigualdade social em áreas rurais, principalmente no Norte e Nordeste. Este programa incluía a legislação em relação ao biodiesel, leis para assegurar os investidores, limite obrigatório para a produção de biocombustíveis, comercialização de produtos e isenções fiscais, conforme relatam Melo (2018) e Granbio (2017).

Neste PNPB, tem o incentivo em relação ao “Selo social” que inclui toda a cadeia produtiva dos biodieseis, estimulando as indústrias a adquirir matérias-primas de pequenos agricultores, assim como uma parceria entre eles, assim os pequenos produtores têm garantia de renda e de apoio técnico e treinamento, alcançando melhores condições de cultivo e manejo da área, como relatam Melo (2018) e Nogueira e Holanda (2014).

Já ano seguinte a criação do PNPB, o biodiesel pode ser de fato inserido na matriz energética do Brasil, através da Lei 11.097/2005. Lei que obriga uma mistura de 2% de biodiesel ao combustível (conhecida como B2) desde janeiro de 2008, sendo supervisionada pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que vem elevando a porcentagem dessa mistura até 20% no ano de 2020 (MELO, 2018).

Para o etanol a Lei nº 13.033 aumentou a quantidade máxima do percentual obrigatório de adição do etanol anidro na gasolina, de 25% para 27,5%. Valores superiores a 25%, está sujeita a comprovação da viabilidade técnica e da autorização do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool – CIMA (MME, 2014).

De acordo com MME (2014), considerado um dos maiores produtores de etanol do mundo, o Brasil tem o uso de etanol em veículos leves em cerca de 40%(2013), quando comparado com os EUA, maior produtor de etanol que têm aproximadamente 10% de biocombustível utilizados em veículos leves, como exportador de etanol o Brasil através do comercio internacional evidencia a importância dos biocombustíveis, contribuindo com a confiabilidade e segurança energética.

Baseado nesta perspectiva, e em busca de uma nova modelagem para uma política de incentivos económicos e, sobretudo, sustentáveis voltadas para os biocombustíveis, atualmente o Governo Federal por meio da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) vem buscando alternativas para tornar eficaz a produtividade das refinarias na produção de etanol e biodiesel, através de incentivo e investimentos, para diminuir a submissão de combustíveis fósseis proveniente de outros países e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> através da produção e comercialização de biocombustíveis (BRASIL, 2017a; 2018b; FGV ENERGIA, 2017).

#### *2.4.1 Política Nacional de Biocombustível (RenovaBio)*

A Lei N° 13.576, de 26 de dezembro de 2017, dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e traça outras providências. Esta política é parte integrante da Política Energética Nacional, de que trata o art. 1° da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, e tem como principais objetivos a promoção da adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, contribuindo com a previsibilidade competitiva do mercado, assim garantir com o compromissos do País com o Acordo de Paris na redução de emissões de GEE na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, ou seja, em todo seu ciclo de vida. (BRASIL, 2017a; MME, 2019).

O RenovaBio foi criado com objetivo de garantir a participação de biocombustíveis na matriz energética nacional auxiliando no aumento da segurança energética e conseqüentemente a redução da emissão dos gases do efeito estufa, com intensificação do setor sucroalcooleiro/sucroenergético e buscando a independência energética (BRASIL, 2017b; FGV ENERGIA, 2017).

Pereira (2018, p. 144) destaca que “é, na teoria, uma nova política pública, que pela primeira vez objetiva uma dicotomia dos combustíveis fósseis com objetivos e estratégias específicas para os biocombustíveis na matriz energética brasileira”. Possuindo estratégias para a ampliação da produção de biocombustíveis com destaque ao mercado, econômica e social, e

a sustentabilidade que é um resultado do uso de biocombustíveis (BRASIL, 2018c; BRASIL, 2017a).

Os vislumbrastes objetivos estabelecidos pela RenovaBio, estão dispostos em seu artigo 1º (BRASIL, 2017a):

Art. 1º Fica instituída a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), parte integrante da política energética nacional de que trata o art. 1º da Lei n.º 9.478, de 6 de agosto de 1997, com os seguintes objetivos:

I - contribuir para o atendimento aos compromissos do País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima;

II - contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida;

III - promover a adequada expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis; e

IV - contribuir com previsibilidade para a participação competitiva dos diversos

biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis.

Para o cumprimento efetivo dos objetivos dispostos pela RenovaBio, foram instituídos instrumentos que possibilitaram o processo de implementação e garantir a efetividade do programa. Assim, legislação em seu art. 4º versa sobre os instrumentos 1º (BRASIL, 2017a):

Art. 4º São instrumentos da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), entre outros:

I - as metas de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na matriz de combustíveis de que trata o Capítulo III desta Lei;

II - os Créditos de Descarbonização de que trata o Capítulo V desta Lei;

III - a Certificação de Biocombustíveis de que trata o Capítulo VI desta Lei;

IV - as adições compulsórias de biocombustíveis aos combustíveis fósseis;

V - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; e

VI - as ações no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Parágrafo único. Os instrumentos previstos neste artigo, em relação às metas de redução das emissões mencionadas no inciso II do caput do art. 1º desta Lei, guardarão compatibilidade com as metas previstas para os demais setores.

A Certificação de Biocombustíveis é um instrumento que faz parte do programa RenovaBio, como um incentivo, quem receberá este certificado tem que estar dentro dos critérios exigidos, estando fundamentado na avaliação do ciclo de vida (ACV), incluindo todo processo, desde processo produtivo da cana até o produto final o etanol.

Neves e Mendonça (2020) afirmam que através da ACV será realizada a certificação da Agroindústria produtora de biocombustível, sendo avaliado toda sua cadeia produtiva, desde fase agrícola até a fase de processamento industrial, última fase na produção do etanol, sendo realizado um inventário de todas as fases inclusas, a partir daí é dado uma nota a agroindústria que tem validade de até 4 anos e incentiva a dedicação de se obter uma empresa sustentável.

Outro instrumento utilizado pela Lei é o Crédito de Descarbonização (CBIO), que é um ativo financeiro concedido aos produtores certificados, que será negociado mundialmente na bolsa de valores, e tem suas bases findadas na negociação de crédito de carbono no mercado. Esse instrumento está correlacionado com as metas nacionais de redução de emissões de carbono e a certificação da produção de biocombustíveis, sendo concedidos aos produtores que receberam créditos conforme a quantidade de energia limpa gerada, além de ser um ativo financeiro negociado na bolsa de valores (BRASIL, 2018c).

É necessário que as instituições financeiras proporcionem segurança nos procedimentos com o CBIO, conforme MME (2017), a credibilidade conquista diversos investidores para o mercado de créditos de carbono, diminuindo o mercado ilícito de biocombustíveis, havendo nitidez nas transações de combustíveis.

Anualmente serão estabelecidas as metas individuais com a quantidade de CBIOs a ser adquiridas por cada distribuidor de combustível, e caso não sejam cumpridas haverá punições em forma de multas equivalente ao valor dos CBIOs não adquiridos, conforme o artigo 7º, parágrafo § 2º, do Decreto nº 9.308/2018, aplicadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). É fundamental que os distribuidores de combustíveis tenham conhecimento e façam planejamento para se enquadrar nos parâmetros da Renovabio (BRASIL, 2017a; 2018a).

Para a certificação de biocombustível, emissão ou renovação, as empresas estão sujeitas a consulta pública, num tempo de 30 dias, após pedido de certificação, ficando explícito a Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA) a ser atribuída. (BRASIL, 2017b).

Por fim, para poder mensurar as emissões de GEE através da intensidade de carbono (IC) em todo o ciclo de vida dos biocombustíveis, emitir a NEEA e apoiar todo o processo de certificação, foi desenvolvida pela EMBRAPA a ferramenta RenovaCalcMD. A EMBRAPA

foi a responsável por desenvolver modelos matemáticos que serão a base da Renovabio, através de uma ferramenta de ACV.

Segundo Matsuura et al. (2017; 2018) a ferramenta RenovaCalc possui sólida base em modelos matemáticos, que através da metodologia de ACV, fundamentada na ISSO 14040 (ABNT, 2014a) e ISSO 14044 (ABNT, 2014b), mensura a IC de um biocombustível (em g CO<sub>2</sub> eq./MJ) e ao mesmo tempo calcula e emite a Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA) comparando as emissões do biocombustível com o seu combustível fóssil equivalente. Os autores ainda destacam que, afiliar-se ao programa RenovaBio de maneira voluntária, ficando a unidade agroindustrial que produz biocombustível, sujeita a dar informações sobre todos os seus dados do processo produtivo para ser utilizado a RenovaCal Md. Todas as informações inseridas na ferramenta serão auditadas e validadas pela ANP.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

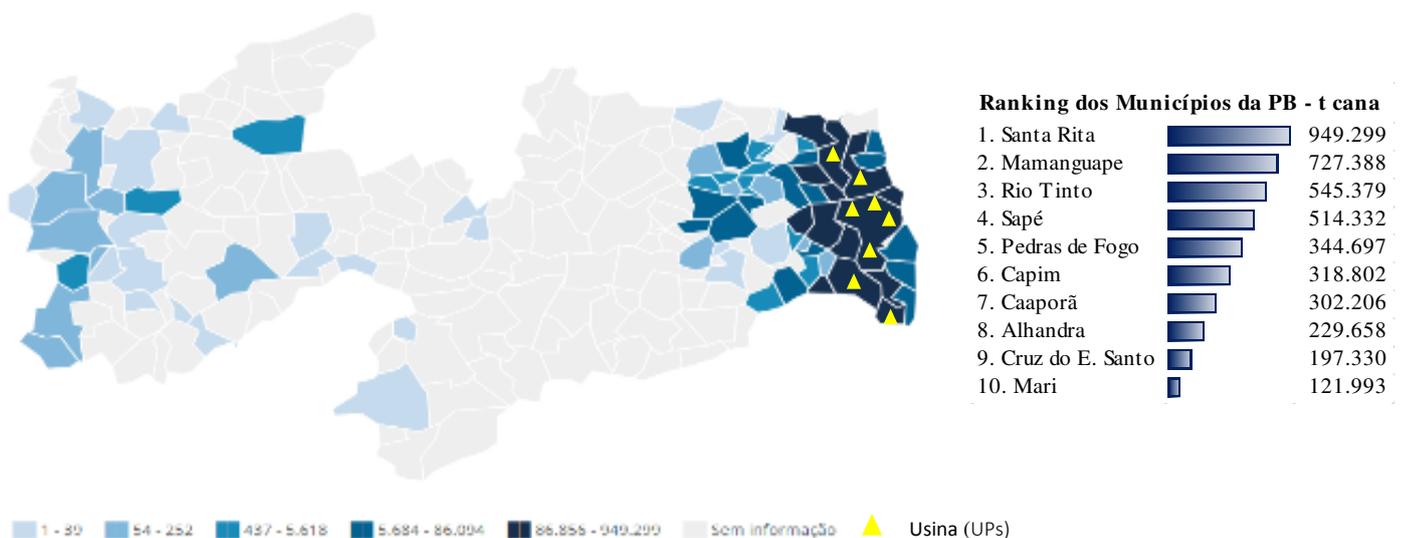
Os processos metodológicos empregados, caracterizam-se por serem do tipo descritivo e exploratório. Charoux (2006) considera a pesquisa descritiva como sendo um método que relata, pormenoriza os aspectos de uma circunstância e realizando interações entre a fundamentação e conceitos de artigos científicos sobre a temática estudada, podendo ser mensuráveis ou não. Já, de acordo com Gil (2010), a pesquisa exploratória tem a finalidade de proporcionar maior familiaridade ao pesquisador com o problema, normalmente é usada para uma melhor compreensão do assunto estudado, com vistas a torná-lo mais explícito ou o desenvolvimento de hipóteses e modelos.

Quanto a abordagem, o estudo utiliza de análise e tratamento dos dados mista, que inclui tanto a abordagem quantitativa como a qualitativa. Na visão qualitativa, com a mensuração da quantidade de CO<sub>2</sub> emitidos na atmosfera e além da análise de variáveis quantitativas como: intensidade de carbono, nota de eficiência energético-ambiental, volume de combustível elegível, cálculos matemáticos etc, e a partir deles avaliar a qualidade ambiental do sistema de produção de etanol produzido. De acordo com Gomes e Gomes (2019) a pesquisa qualitativa engloba a obtenção de informações dos processos a ser analisados conforme a situação pesquisada para entender os eventos que não podem ser quantificados.

#### **3.1 Caracterização do Cenário da Pesquisa**

A produção sucroalcooleira está concentrada na Mesorregião da Mata Paraibana e na faixa da zona litorânea (Figura 3). Tendo como os dez maiores municípios produtores de cana-de-açúcar (t cana) no Censo Agropecuário 2017: 1° Santa Rita (949.299 t cana), 2° Mamanguape (727.388), 3° Rio Tinto (545.379), 4° Sapé (514.332), 5° Pedras de Fogo (344.697), 6° Capim (318.802), 7° Caaporã (302.206), 8° Alhandra (229.658), 9° Cruz do Espírito Santo (197.330) e 10° Mari (121.993) todos localizados na Mata Paraibana (IBGE, 2019).

**Figura 3** - Cartograma: cana-de-açúcar da Paraíba por quantidade produzida, ranking dos municípios e UPs.



Fonte: Adaptado IBGE (2019).

Atualmente no Estado, são oito (8) usinas de processamento da cana-de-açúcar distribuídas em cinco municípios. Destas, 5 UPs produzem exclusivamente o biocombustível etanol, 2 são mistas (produção de etanol e açúcar) e 1 produz unicamente açúcar (Tabela 1). Ou seja, apenas 7 plantas do setor sucroalcooleiro da Paraíba produzem etanol, tendo capacidade de gerar 1.350 m<sup>3</sup>/dia de etanol anidro e 2.620 m<sup>3</sup>/dia de etanol hidratado (ANP, 2017). O Estado ainda possui mais uma unidade, mas atualmente está desativada e passando por processo judicial.

**Tabela 1** - Paraíba: UPs do Setor Sucroalcooleiro e capacidade instalada de etanol.

<b>CNPJ</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Produto</b>	<b>Etanol anidro (m3/d)</b>	<b>Etanol hidratado (m3/d)</b>
15.527.906/0009-93	Usina Giasa Ltda.	Pedras de Fogo	Etanol	200	800
09.090.259/0001-45	Miriri Alimentos E Bioenergia S/A	Santa Rita	Etanol	360	500
09.357.997/0001-06	Japungu Agroindustrial Ltda.	Santa Rita	Etanol	120	380
09.094.632/0002-17	Usina Monte Alegre S/A.	Mamanguape	Mista	140	150
09.053.646/0001-01	Agro Industrial Tabu S.A.	Caaporã	Etanol	190	350
08.974.214/0001-70	Usina São José	Santa Rita	Mista	100	200
06.312.488/0001-79	D'Pádua	Rio Tinto	Etanol	240	240
01.165.715/0001-68	Agroval Agroindústria Vale do Paraíba Ltda.	Santa Rita	Açúcar	-	-
<b>Total</b>				<b>1350</b>	<b>2620</b>

Fonte: Adaptado da ANP (2017).

A partir da Figura 3 e Tabela 1, observa-se que o município de Santa Rita, além de ser o maior produtor de cana-de-açúcar no Estado da Paraíba, é também o que concentra o maior número de UPs, 4 ao todo, a metade das usinas do estado. Assim, toda economia e geração de emprego do município é atrelada ao setor sucroalcooleiro.

Este setor está entre os que mais geram empregos na Paraíba. De acordo com dados da RAIS (2019), entre 2013 e 2017, a quantidade de empregos formais gerados pelo setor na Paraíba para a fabricação de açúcar e álcool (10.690; 10.928 10.517; 10.454; 10.413 respectivamente) oscilou durante estes anos, saindo de 10.690 contratos formais em 2013 para 10.413 contratos em 2017, uma redução de 277 postos de trabalho.

Já no cultivo da cana, o número de empregos formais entre 2013 e 2017 foi de 7.651; 7.188; 6.596; 6.700 e 7.162 respectivamente. Em 2017 o número de empregos formais voltou a crescer em relação ao ano anterior, entretanto esse período obteve uma redução de 489 contratos formais em todo o Estado (RAIS, 2019). Assim como o Nordeste, o setor sucroalcooleiro da Paraíba vem sendo afetado por uma severa crise pela qual o setor tem passado nos últimos anos.

### 3.2 Procedimento De Coleta De Dados

Para realização do inventário do setor sucroalcooleiro paraibano, foi realizada uma pesquisa bibliográfica documental, tais como: relatórios de pesquisa, relatórios de empresas, tabelas estatísticas, boletins etc.

As informações foram obtidas no banco de dados de órgãos governamentais e representantes legais do setor sucroalcooleiro, como: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério de Minas e Energia (MME), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Associação Brasileira da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA), Sindicato da Indústria da Fabricação do Alcool no Estado da Paraíba (SINDÁLCOOL/PB), entre outros.

A fase de revisão da literatura desta pesquisa, foi feito um levantamento bibliográfico consultando livros, manuais técnicos, trabalhos acadêmicos (teses e dissertações), *websites* e artigos científicos (técnicos e acadêmicos). A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material e estudos já elaborados, constituído principalmente de livros, dissertações, teses e artigos científicos (GIL, 2002).

Para pesquisa a nível internacional, foram utilizadas em 3 principais bases de dados (Scielo, ScinceDirect, Springer), buscando artigos que tivessem em seu contexto as palavras chaves: National Biofuel Policy, Brazil, RenovaBio e RenovaCalc. Foram encontrados 64 arquivos na ScienceDirect, nenhuma na Scielo e 21 arquivos na base Springer, resultando em um total de 85. Filtrando os artigos, apenas 6 dos arquivos citavam a Política Nacional de Biocombustíveis, ou como é conhecida RenovaBio, mais do que 4 vezes em seus textos e um dos arquivos é um capítulo de livro que não pode ser acessado.

Já no cenário nacional, foi encontrado apenas um estudo aplicando a RenovaCalc. O estudo de Matsuura et al. (2018), os pesquisadores aplicam de fato a ferramenta da RenovaBio, a RenovaCalc. Essa aplicação é feita através de simulação de 3 cenários possíveis e a análise de sensibilidade da emissão de carbono de cada cenário. Uma informação muito importante e interessante, é que os pesquisadores deste estudo participaram do grupo de trabalho técnico em análise do ciclo de vida (GT-ACV) que desenvolveu a proposta e ferramenta metodológica para os cálculos da intensidade de carbono dos biocombustíveis (RenovaCalc). Ou seja, estes pesquisadores participaram do desenvolvimento da RenovaCalc junto com a Embrapa.

### 3.3 Ferramenta Metodológica - RenovaCalc

A ferramenta metodologia utilizada neste estudo é a RenovaCalcMD, que é um método/ferramenta para contabilizar a intensidade de carbono (IC) de um biocombustível (em g CO<sub>2</sub> eq./MJ) e gerar a Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA) do Programa RenovaBio, comparando-a à do seu combustível fóssil equivalente, com base na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Atualmente a ferramenta, corresponde a um conjunto de planilhas na plataforma Excel®, contendo um banco de dados e uma estrutura de cálculo específica para cada tipo de biocombustível, segundo Matsuura et al. (2017; 2018).

O estudo será norteado pelos documentos de referência:

- Lei nº 13.576/2017 (BRASIL, 2017a);
- Informe Técnico nº 02/SBQ v. 3 Orientações Gerais: Procedimentos para Certificação da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis (ANP, 2019a);
- Informe Técnico nº 03/SBQ v. 1 em 10/09/2019 Orientações para preenchimento da RenovaCalc (ANP, 2019b);
- Resolução ANP nº 758/2018 (ANP, 2018);
- Decreto nº 9.308/2018 substituído pelo Decreto nº 9.888/2019 (BRASIL, 2019a);
- Decreto nº 9.964/2019 (BRASIL, 2019b).

A versão oficial da RenovaCalc é disponível de forma aberta para *download* pela ANP em seu sítio eletrônico e pode sofrer alterações de atualizações, por isso, é recomendável a utilização da versão mais atualizada da calculadora, antes do seu preenchimento. Desta forma, foi utilizado neste estudo a versão mais atual disponível: RenovaCalc V.6.1, atualizado em 27/01/2020 e efetuada o *download* em 20/03/2020.

Toda lógica para o cálculo de IC dos biocombustíveis da RenovaBio, tem suas bases fundadas na ACV, que possui grande base científica mundial, e é normatizada pela Organização Internacional de Normalização - ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2014 a, b), que é utilizada em vários programas mundiais. (BRASIL, 2017b)

A ACV permite avaliar os impactos ambientais de determinado produto ou serviço oferecido em todos os estágios do ciclo de vida, contabilizando insumos, matérias, energia, processos de transformação, transporte até a disposição final do produto (ABNT, 2014a).

Assim, a ACV do biocombustível na RenovaBio terá escopo, “do berço ao portão” (“cradle-to-gate” ou “well-to-gate”), onde serão analisadas as etapas: (i) à montante do processo agrícola (insumos e infraestrutura), com dados advindos do banco de dados “ecoinvent v.3.1” (WERNET et al., 2016); ii) do processo agrícola propriamente (fase agrícola); e (iii) do processo agroindustrial (fase industrial); iv) distribuição do combustível (transporte). Executando por fim, a comparação da intensidade de carbono do biocombustível nacional com seu combustível fóssil substituto, no caso do etanol de cana-de-açúcar será comparado as emissões de carbono da gasolina. (BRASIL, 2017b)

A ACV, no Programa RenovaBio, é realizada através da Renovacalc que adota uma abordagem atribucional, com alocação em base energética, desenvolvida através de bancos de dados mundiais e nacionais da “ecoinvent v.3.1” e dados de estatísticas oficiais e dados setoriais.

Destaca-se, que os processos de aplicação da RenovaCalc para obtenção da Certificação de Biocombustível, que trata a RenovaBio, são feitos de forma individual para cada unidades produtoras (UPs). Entretanto, este mesmo processo será utilizado por este estudo para uma análise do cenário estadual (macro) do setor sucroalcooleiro paraibano norteados pelos termos da nova Política Nacional de Biocombustíveis, assim tornando cada unidade produtora em uma só, o Setor Sucroalcooleiro Paraibano safra (2019/20). Ou seja, uma análise média do cenário estadual.

Inicialmente, é preciso entender que a RenovaCalc oferece duas opções metodológicas (dois caminhos ou perfil) para os parâmetros da etapa agrícola, é possível optar pela alternativa de preenchimento:

- a) Perfil de produção específico: são inseridos dados primários de todos processos produtivos, ou seja, dados reais coletados pelas usinas que refletem o seu perfil específico. Os parâmetros da fase agrícola “Área total”, “Produção total”, “Palha recolhida” e todo o conjunto de parâmetros relacionados à etapa industrial devem ser preenchidos com dados primários, ou seja, dados que reflitam o perfil específico de produção da usina;
- b) Já o Perfil de produção padrão (“default”): Para o conjunto restante de parâmetros da etapa agrícola, serão inseridos dados produtivos básicos, onde serão calculado automaticamente pela RenovaCalc o impacto da produção de biomassa do produtor. O resultado é gerado a partir de informações de bancos de dados do setor produtivo e da literatura técnica. Consistindo no perfil de produção agrícola médio para a rota tecnológica, acrescido de fatores de

penalização, elevando assim a Intensidade de Carbono do biocombustível da unidade que optar por este tipo de preenchimento. Ou seja, são aplicadas punições/penalidades ao selecionar esta opção (MATSUURA et al. 2018).

Contudo, ao optar pelo “perfil de produção padrão” o processo da certificação fica menos oneroso, não é preciso contratação de empresas de consultorias para gerenciar toda a coleta de dados, que é minuciosa e exaustiva, propiciando uma adesão maior das empresas e estudos. Porém o produtor perde eficiência e não conseguirá se destacar favoravelmente dos seus concorrentes (BRASIL, 2017b).

Para a fase industrial, serão sempre solicitados dados primários. Foram utilizados dados do inventário do setor e pesquisas bibliográfica e documental.

Neste estudo foi utilizado o “perfil de produção padrão”, tento em vista a melhor facilidade de aplicação e comparação dos caminhos, com o objetivo de mensurar de forma global o comportamento do setor sucroalcooleiro no Estado da Paraíba para safra 2019/20, e sua contribuição na redução dos GEE, como também as perspectivas de crescimento econômico com a adesão da política. Ou seja, o estudo visa calcular a intensidade média das emissões de CO<sub>2</sub> e a NEEA do Estado da Paraíba.

A escolha do perfil também se dá pela grande limitação encontrada pelo pesquisador frente as usinas do setor paraibano e também de outros estados, que não atenderam a solicitação de disponibilização dos dados para realização do cálculo. E outro agravante na fase final, foi o atual cenário de pandemia de Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) que o país e o mundo vêm enfrentando.

Foram feitas visitas *in loco* em algumas unidades, como também enviados requerimento para 4 usinas do Estado da Paraíba, uma do Estado de Pernambuco e uma do Estado da Bahia, mas nenhuma atendeu à solicitação. Um fato muito interessante é que algumas das usinas, durante a fase de pesquisa, estavam conhecendo a nova política e iniciando o processo de certificação da RenovaBio. Algumas de suas justificativas foram que: já tinham contratado uma empresa de consultoria para fazer a certificação do programa; eram dados sigilosos que o pesquisador não poderia ter acesso, para não serem revelado aos seus concorrentes; a RenovaBio é um diferencial competitivo muito importante e não poderia ser disponibilizado os dados, pois eram segredos da empresa. Como também, a grande demora para respostas das solicitações pelas unidades.

Segue, algumas das respostas das solicitações e conversas com responsáveis:

- “Não posso garantir nada, porque as empresas do ramo tem suas estratégias e

a Renovabio será um agente diferenciador no mercado.”

- “Desculpe a demora pelo retorno. Tive que encaminhar sua solicitação para a diretoria avaliar e só agora que me responderam. Neste momento, não estaremos abrindo os procedimentos para pesquisas externas para essa temática. Assim, vamos aguardar uma outra oportunidade.”

Entretanto, em meio as limitações encontradas, foi constatada a potencialidade do estudo, devido a RenovaBio ser uma política atual, muitas empresas estão ainda conhecendo e outras em pleno processo de certificação, e não existe estudos na literatura aplicando a RenovaBio. Assim, o estudo mostra-se mais uma vez extremamente importante e justificável, por se tratar de um tema atual e inovador.

### 3.3.1 Preenchimento da RenovaCalc

A RenovaCalc esta disponível para *download*, duas planilhas nomeados como: 1 - “Planilha RenovaCalc” e 2 - “Planilha de Produtores”.

Na planilha (2), o arquivo possui várias abas de documento (planilhas) que estão ilustradas na Figura 3, e estão listadas e descritas cada funcionalidade no Quadro 1 no Anexo A. Representando cada rota do processo produtivo relacionado a cada tipo de biocombustível.

A Figura 4 ilustra as abas de planilhas existentes no arquivo.

**Figura 4** - Planilhas para preenchimento da RenovaCalc.



Fonte: Planilha RenovaCalc, 2020.

**Quadro 1** – Rotas dos biocombustíveis.

Documento		Descrição
1	Instruções	Contém instruções gerais para preenchimento do arquivo.
2	Diretório	Contém a indicação do nome de cada uma das rotas disponíveis na RenovaCalc. Caso o usuário selecione o nome da rota, será direcionado para a planilha correspondente a ser preenchida.
3	E1G	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola, fase industrial e fase de distribuição da rota de etanol combustível de primeira geração produzido a partir de cana-de-açúcar. Informa a intensidade de carbono (g CO <sub>2</sub> eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina.
4	E1G2G	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola, fase industrial e fase de distribuição da rota de etanol combustível de primeira geração e segunda geração produzidos em usina integrada. Informa a intensidade de carbono (gCO <sub>2</sub> eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina.
5	E2G*	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase industrial e a fase de distribuição da rota de etanol combustível de segunda geração produzido em usina dedicada. Informa a intensidade de carbono (g CO <sub>2</sub> eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina.
6	E1GFlex	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola, fase industrial e fase de distribuição da rota de etanol combustível de primeira geração produzido a partir de cana-de-açúcar ou milho em usina integrada (flex). Informa a intensidade de carbono (g CO <sub>2</sub> eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina.
7	E1GM	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola, fase industrial e fase de distribuição da rota de etanol combustível de primeira geração produzido a partir de milho. Informa a intensidade de carbono (g CO <sub>2</sub> eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina.
8	E1GMI	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola, fase industrial e fase de distribuição da rota de etanol combustível importado de primeira geração produzido a partir de milho. Informa a intensidade de carbono (g CO <sub>2</sub> eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina.
9	Biodiesel	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola da soja, fase industrial de extração do óleo de soja, fase industrial de produção do biodiesel e fase de distribuição da rota de produção de biodiesel. Informa a intensidade de carbono (g CO <sub>2</sub> eq/MJ) do biodiesel, sua Nota de Eficiência Energético Ambiental e a redução de emissões, em relação ao diesel.

Fonte: Adaptado de ANP (2019b).

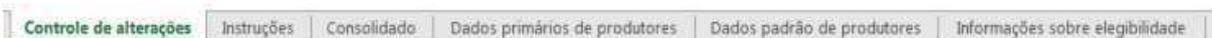
Desta forma, detalhada todas as rotas contidas na planilha. A rota utilizada neste estudo foi a de etanol combustível de primeira geração produzido a partir de cana-de-açúcar (E1G), por ser este o processo produtivo utilizado na fabricação de Etanol anidro e hidratado das usinas do setor sucroalcooleiro paraibano.

### 3.3.2 Dados e Parâmetros da Fase Agrícola

Já na planilha (1), é destinada aos dados e parâmetros da fase agrícola do produtor de biomassa, aqueles listados nos itens 2 a 5 na Tabela 1 (Produtores de Cana-de-Açúcar; Produtores de Milho; Produtores de Milho Importado; Produtores de Soja).

A Figura 5, observa-se as abas existentes no arquivo.

**Figura 5** - Planilhas para preenchimento dos dados de produtores de biomassa



Fonte: Planilha RenovaCalc, 2020.

Já o Quadro 2, constata-se cada aba da planilha e suas respectivas descrições.

**Quadro 2** - Descrições de cada aba da planilha de produtores

	<b>Documento</b>	<b>Descrição</b>
1	Instruções	Contém instruções gerais para preenchimento do arquivo.
2	Consolidado	Contém os dados consolidados referentes à fase agrícola de todos os produtores de biomassa elegíveis. Esses dados deverão ser copiados e inseridos no local correspondente da RenovaCalc. Os dados inseridos, tanto primários quanto padrão, são automaticamente consolidados gerando as informações constantes nesta planilha.
3	Dados primários de produtores	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola dos produtores de biomassa. Esta planilha deverá ser utilizada sempre que estiverem disponíveis os dados primários dos produtores de biomassa. Nesta planilha é calculado automaticamente o impacto da produção de biomassa de cada produtor.
4	Dados padrão de produtores	Contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola dos produtores de biomassa. Esta planilha deverá ser utilizada quando não estiverem disponíveis dados primários dos produtores de biomassa. Nesta planilha é calculado automaticamente o impacto da produção de biomassa de cada produtor.
5	Informações sobre elegibilidade	Contém os campos a serem preenchidos referentes ao atendimento aos critérios de elegibilidade.

Fonte: Adaptado de ANP (2019b).

Como já-discutido, foi utilizado a aba de planilha "*Dados padrão de produtores*" (Tabela 2). Para o preenchimento dos dados, é importante observar as seguintes orientações (ANP, 2019a, b):

- I. Apenas devem ser preenchidas informações referentes a produtores de biomassa que atendam aos critérios de elegibilidade, devendo ser preenchidas informações agrupadas referentes a todos os imóveis rurais de determinado produtor de biomassa (mesmo que um ou mais dos imóveis rurais deste produtor não atendam aos critérios de elegibilidade). Produtor de biomassa elegível é todo aquele que possuir, ao menos, um imóvel rural elegível.
- II. Somente células livres para o preenchimento devem ser preenchidas.
- III. A unidade de preenchimento de cada parâmetro é fixa e estará sempre indicada na linha 5 das planilhas "*Dados primários de produtores*" e "*Dados padrão de produtores*", abaixo da indicação da informação que deve ser preenchida.
- IV. O usuário deve sempre inserir os dados na unidade pré-indicada, sendo considerado incorreto qualquer dado que esteja em outra unidade.
- V. Orientações de como preencher cada parâmetro serão fornecidas ao selecionar a célula que contém a indicação da informação a ser preenchida, conforme a Figura 6.

**Figura 6** - Orientações para preenchimento de cada um dos campos

Sistema de plantio	Área total	Produção total colhida para moagem
	ha	t cana
Convencional	Defina o sistema de plantio utilizado	719.600,00

Fonte: Planilha RenovaCalc, 2020.

- VI. O usuário deve sempre preencher os dados com até duas casas decimais, para evitar problemas de arredondamento.
- VII. Nas planilhas "*Dados primários de produtores*" e "*Dados padrão de produtores*" cada linha corresponde a um produtor de biomassa, identificado pelo seu

CNPJ/CPF. Devem ser preenchidas informações consolidadas de todos os imóveis rurais como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) deste produtor.

- VIII. Os dados referentes às áreas de arrendamento, de parceria e efetivamente próprias poderão ser considerados como área própria e declarados em um mesmo CNPJ/CPF (ou seja, de forma agregada na mesma linha das planilhas “Dados primários de produtores” e “Dados padrão de produtores” contidas no arquivo “Produtores de Cana-de-Açúcar”).
- IX. Quando estiverem disponíveis dados primários dos produtores de biomassa, deverá ser utilizada a planilha "Dados primários de produtores".
- X. Quando não estiverem disponíveis dados primários dos produtores de biomassa, deverá ser utilizada a planilha "Dados padrão de produtores". Nesse caso, deverão apenas ser preenchidas as informações obrigatórias referentes a cada produtor de biomassa.
- XI. As informações obrigatórias referentes a cada produtor de biomassa, quando do preenchimento dos dados padrão, são as indicadas na Figuras 7 e descritas na Tabela 3.

**Figura 7** - Descrição das informações sobre produtores de cana-de-açúcar que deverão ser preenchidas quando o tipo de dado é “Padrão”.



Identificação do produtor de biomassa		Informações gerais								Tipo de preenchimento	Impacto da produção da cana-de-açúcar kg CO <sub>2</sub> eq/t cana
CNPJ/CPF:		Sistema de plantio	Área total	Produção total colhida para moagem	Quantidade comprada pela unidade produtora de biocombustível	Teor de impurezas vegetais (base úmida)	Umidade e das impurezas vegetais	Teor de impurezas minerais	Palha recolhida (base seca)	Tipo de dados fornecidos:	
			ha	t cana	t cana	kg/t cana	%	kg/t cana	t palha		

Fonte: Planilha RenovaCalc, 2020.

**Quadro 3** - Informações declaradas para fase agrícola no preenchimento dos dados padrão.

(Continua)

Documento	Descrição	Unidade
1 Sistema de plantio	<p><b>Convencional</b> - Envolve o preparo de solo primário, que consiste em operações mais profundas, normalmente realizadas com arado, que visam ao rompimento de camadas compactadas de solo e a eliminação ou enterrio da cobertura vegetal. No preparo secundário, as operações são mais superficiais, utilizando-se grades ou plainas para nivelar, destorroar, destruir crostas superficiais, incorporar agroquímicos e eliminar plantas daninhas. A semeadura é a lanço ou em linha.</p> <p><b>Direto, com rotação de culturas e/ou com sucessão de culturas</b> - Plantio direto é o sistema de semeadura no qual a semente é colocada diretamente no solo não revolvido. Abre-se um pequeno sulco (ou cova) de profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura da semente com solo. Rotação de culturas é a alternância ordenada e regular no cultivo de diferentes espécies vegetais em sequência temporal numa determinada área. Sucessão de culturas consiste em alternar culturas, sem ordenamento e regularidade das espécies empregadas.</p> <p><b>Mínimo/Reduzido</b> - sistema no qual se utiliza menor mobilização do solo, quando comparado ao sistema convencional. A semeadura é realizada diretamente sobre a cobertura vegetal previamente dessecada com herbicida, sem o revolvimento do solo.</p>	N.A.
2 Área total	Área total destinada à produção da biomassa primária (somatório das áreas referentes a todos os imóveis rurais do produtor de biomassa, caso pertinente). Para a cana-de-açúcar corresponde à soma das áreas colhida, de produção de mudas, de reforma, de cana de ano e meio e de cana bisada.	ha
3 Área queimada total	Soma das áreas (requisito 2) que sofreram queima: com autorização para colheita; para eliminação de resíduos culturais; queima acidental e/ou criminosa.	ha
4 Produção total (biomassa primária <sup>4</sup> )	Quantidade total de biomassa primária produzida na área total de produção (requisito 2). Para a cana-de-açúcar, refere-se ao total de cana colhida destinada à moagem (soma de colmos, impurezas vegetais e minerais). Este parâmetro deve ser reportado em base úmida. Para milho e soja deverá ser informado o respectivo teor de umidade.	t biomassa, em base úmida Teor de umidade: %
5 Quantidade comprada pela unidade produtora de biocombustível	Quantidade total de biomassa primária comprada pela unidade produtora de biocombustível. Biomassa primária deve ser entendida como a produzida para fins energéticos, nesse caso, cana-de-açúcar, milho e soja. Resíduos são aqui tratados como biomassa residual.	t biomassa
6 Teor médio de impurezas vegetais	Refere-se ao teor médio de impurezas vegetais contido na cana-de-açúcar (requisito 4). Deve ser reportado em base úmida e informado o teor de umidade dessas impurezas.	kg /t cana, em base úmida Teor de umidade: %



Após a inserção dos dados na planilha "*Dados padrão de produtores*", será gerado automaticamente na planilha "*Consolidado*" (Figura 9) os resultados consolidados, que serão posteriormente utilizados na Planilha RenovaCalc (1) na aba 1EG, juntamente com os dados primários da fase industrial.

Figura 9 – Descrição das informações da planilha "Consolidado".



**Produtores de Cana-de-Açúcar**

Nome da Usina:

CNPJ:

Responsável pelo preenchimento:

Telefone:

---

**Fase agrícola - Dados consolidados**

**Informações gerais**

Área total	<input type="text" value="10.000,00"/>	ha
Produção total colhida para moagem	<input type="text" value="80.000,00"/>	t cana
Quantidade comprada pela unidade produtora de biocombustível	<input type="text" value="80.000,00"/>	t cana
Teor de impurezas vegetais (base úmida)	<input type="text" value="50,00"/>	kg/t cana
Teor de impurezas minerais	<input type="text" value="20,00"/>	kg/t cana
Palha recolhida (base úmida)	<input type="text" value="0,00"/>	t palha

Umidade:

**Tipo de preenchimento**

Tipo de dados fornecidos pelos produtores:  
**Em função das informações de cada produtor**

**Área Queimada**

Área queimada	<input type="text" value="1.000,00"/>	ha
---------------	---------------------------------------	----

**Corretivos**

Calcário calcítico	<input type="text" value="0,00"/>	kg/t cana
Calcário dolomítico	<input type="text" value="6,00"/>	kg/t cana
Gesso	<input type="text" value="2,00"/>	kg/t cana

**Fertilizantes Sintéticos**

Ureia	<input type="text" value="1,50"/>	kg N/t cana
Fosfato monoamônico (MAP)	<input type="text" value="0,00"/>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana
Fosfato diamônico (DAP)	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Fosfato diamônico (DAP)	<input type="text" value="0,00"/>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana
Nitrato de amônio	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Solução de nitrato de amônio e ureia (UAN)	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Amônia anidra	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Sulfato de amônio	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Nitrato de amônio e cálcio (CAN)	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Superfosfato simples (SSP)	<input type="text" value="1,00"/>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana
Superfosfato triplo (TSP)	<input type="text" value="0,00"/>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana
Cloreto de potássio (KCl)	<input type="text" value="2,00"/>	kg K <sub>2</sub> O/t cana
Outros - especificar	<input type="text" value="0,00"/>	kg N/t cana
Outros - especificar	<input type="text" value="0,00"/>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana
Outros - especificar	<input type="text" value="0,00"/>	kg K <sub>2</sub> O/t cana

**Fertilizantes Orgânicos/Organominerais**

Vinhaça	<input type="text" value="1.200,00"/>	L/t cana	Concentração de N	<input type="text" value="0,38"/>	g N/L
Torta de Filtro (base úmida)	<input type="text" value="42,80"/>	kg/t cana	Concentração de N	<input type="text" value="2,80"/>	g N/kg
Cinzas e fuligem (base úmida)	<input type="text" value="10,10"/>	kg/t cana	Concentração de N	<input type="text" value="0,00"/>	g N/kg
Outros - especificar	<input type="text" value="0,00"/>	kg/t cana	Concentração de N	<input type="text" value="0,00"/>	g N/kg
Outros - especificar	<input type="text" value="0,00"/>	kg/t cana	Concentração de N	<input type="text" value="0,00"/>	g N/kg

**Combustíveis e eletricidade**

Diesel - B8	<input type="text" value="0,00"/>	L/t cana
Diesel - B10	<input type="text" value="4,00"/>	L/t cana
Diesel - BX	<input type="text" value="0,00"/>	L/t cana
Diesel - B20	<input type="text" value="0,00"/>	L/t cana
Diesel - B30	<input type="text" value="0,00"/>	L/t cana
Biodiesel - B100	<input type="text" value="0,00"/>	L/t cana
Gasolina C	<input type="text" value="1,00"/>	L/t cana
Etanol hidratado	<input type="text" value="0,00"/>	L/t cana
Biometano de terceiros	<input type="text" value="0,00"/>	Nm <sup>3</sup> /t cana
Biometano próprio	<input type="text" value="0,00"/>	Nm <sup>3</sup> /t cana
Eletricidade da rede - mix médio	<input type="text" value="0,00"/>	kWh/t cana
Eletricidade - PCH	<input type="text" value="0,00"/>	kWh/t cana
Eletricidade - biomassa	<input type="text" value="0,00"/>	kWh/t cana
Eletricidade - eólica	<input type="text" value="0,00"/>	kWh/t cana
Eletricidade - solar	<input type="text" value="0,00"/>	kWh/t cana

Teor de biodiesel na mistura:

Fonte: Planilha RenovaCalc, 2020.

### 3.3.3 Dados e Parâmetros das Etapas Industriais

A principal contribuição relacionada aos processos das etapas industriais na análise de desempenho do ciclo de vida do biocombustível tem associação preminentemente ao rendimento de produção do produto e coprodutos (capacidade de transformar a biomassa cana-de-açúcar em produto ou coproduto) e ao consumo de combustíveis fósseis e de energia elétrica. No caso brasileiro, como também paraibano, a contribuição associada à aquisição de energia elétrica da rede é geralmente muito pequena por conta do perfil médio de geração no país (BRASIL, 2017b). Assim, considerando que a usina consuma toda energia elétrica da sua própria produção (usina autónoma), neste estudo não serão consideradas a aquisição/consumo de elétrica da rede.

A Quadro 4 apresenta as informações e parâmetros quantificados a serem declaradas pelos produtores de biocombustível referentes a seus processos industriais, da rota de produção E1G.

**Quadro 5** - Informações e parâmetros quantificados para fase industrial – E1G

(Continua)

<b>Fase Industrial - Processamento de Etanol</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Rota</b>	
<b>1</b>	<b>Processamento e rendimento</b>			
1.1	Quantidade de cana processada	Quantidade total anual de cana que chega à usina (soma de colmos, impurezas vegetais e minerais). Este parâmetro deve ser reportado em base úmida.	t cana, em base úmida	E1G
1.2	Quantidade de palha própria processada	Quantidade total anual de palha processada na usina. Este parâmetro refere-se à palha recolhida separadamente da cana (por exemplo, palha enfardada, palha recolhida por forrageira, entre outros).	t palha/ano, em base seca	E1G
1.3	Rendimento de etanol anidro	Refere-se ao volume total (corrigido para a temperatura de 20 °C) de etanol anidro produzido anualmente dividido pela quantidade de biomassa processada (requisito 1).	L/t biomassa	E1G
1.4	Rendimento de etanol hidratado	Refere-se ao volume total (corrigido para a temperatura de 20 °C) de etanol hidratado produzido anualmente dividido pela quantidade de biomassa processada (requisito 1).	L/t biomassa	E1G
1.5	Rendimento de açúcar	Refere-se à massa total de açúcar produzido anualmente dividido pela quantidade de cana processada (requisito 1).	kg/t cana	E1G

**Quadro 6** - Informações e parâmetros quantificados para fase industrial – E1G

(Conclusão)

<b>Fase Industrial - Processamento de Etanol</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Rota</b>
1.6	Rendimento de energia elétrica comercializada	Refere-se à quantidade total de eletricidade comercializada anualmente dividida pela quantidade de biomassa processada (requisito 1).	kWh/t biomassa E1G
1.7	Rendimento de bagaço comercializado	Refere-se à quantidade total de bagaço comercializado anualmente dividido pela quantidade de cana processada (requisito 1). Deve ser reportado em base úmida e informado o respectivo teor de umidade.	kg/t cana, em base úmida Teor de umidade: % E1G
<b>2 Combustíveis e eletricidade</b>			
2.1	Consumo de biocombustíveis próprios	Quantidade consumida de bagaço e palha, em base úmida, dividida pela quantidade de biomassa processada (requisito 1). Informar também a umidade destes biocombustíveis.	kg/t biomassa, em base úmida Teor de umidade: % E1G
2.2	Consumo de biocombustíveis adquiridos de terceiros	Quantidade consumida de bagaço, palha, cavaco de madeira, lenha e resíduos florestais, em base úmida, dividida pela quantidade de biomassa processada (requisito 1). Informar a umidade desses biocombustíveis. Além disso, deve-se informar a distância de transporte desses biocombustíveis do fornecedor até a usina.	kg/t de biomassa, em base úmida Teor de umidade: % Distância de transporte: km E1G
2.3	Consumo de combustíveis e eletricidade da rede	Refere-se ao consumo de combustíveis e eletricidade dividido pela quantidade de biomassa processada (requisito 1).	L/t biomassa Nm <sup>3</sup> /t biomassa kWh/t biomassa E1G

Fonte: Adaptado de ANP (2019a).

Na fase industrial, as únicas informações que podem ser declaradas com dado típico referem-se à umidade da biomassa utilizada como combustível na planta industrial, algumas matérias-primas e coprodutos, e o poder calorífico inferior (PCI) do biogás. Caso sejam declarados os valores constantes da Tabela 2 ou PCI do biogás de 34,44 MJ/NM<sup>3</sup>, não são necessárias verificação e comprovação de memória de cálculo para determinação dos valores. (BRASIL, 2017b).

**Tabela 2** - Teor de umidade típico.

<b>Parâmetro</b>	<b>Teor de umidade</b>
1 Bagaço	50%
2 Palha	50%
3 Cavaco de Madeira	35%
4 Lenha	45%
5 Resíduos florestais	45%
6 Milho	13%
7 Soja	9%
8 DDG (Distillers Dried Grains)	10%
9 DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles)	10%
10 CGM (Corn Gluten Meal)	10%
11 CGF (Corn Gluten Feed)	10%

Fonte: ANP (2019a).

### 3.3.4 Verificação das informações referentes à fase de distribuição

Para a fase de distribuição, o produtor ou importador de biocombustível deve informar o sistema logístico de distribuição de cada fração de seus biocombustíveis comercializados até os postos de venda. Os sistemas logísticos disponíveis são: rodoviário; dutoviário; ferroviário; marítimo; e fluvial (ANP, 2019a)

Nem todos os modais logísticos estão disponíveis para todas as rotas. Para rota E1G, o modal marítimo e fluvial não estão disponíveis. O Quadro 7 descreve os parâmetros utilizados na fase de distribuição para rota E1G.

A RenovaCalc já dispõe de valores médios de distribuição para cada combustível e cada modal. Tais valores encontram-se indicados na Resolução ANP n° 758/2018 e não precisam ser inseridos pelo responsável pelo preenchimento da RenovaCalc. O que deve ser inserido na RenovaCalc é a fração (porcentagem) do volume total de biocombustível produzido que foi distribuída por cada modal. (ANP, 2019a)

É importante ressaltar que, nos modais dutoviário, ferroviário, marítimo e fluvial, já estão incluídas as etapas de transbordo rodoviário até os terminais de embarque/desembarque. De modo que já é computada sempre uma parcela de transporte rodoviário. Caso o produtor ou

importador de biocombustível não possua informações, passíveis de comprovação, sobre o sistema logístico utilizado para distribuição do biocombustível, deverá ser utilizado o sistema logístico rodoviário, exceto para a rota de etanol importado produzido a partir de milho, para a qual deverá ser adotado o sistema logístico marítimo (ANP, 2019a).

**Quadro 7** - Parâmetros quantificados para fase de distribuição – E1G.

Fase de distribuição do Etanol				
Parâmetro		Descrição	Unidade	Rota
3	Etanol anidro	Refere-se ao volume percentual de combustível etanol anidro comercializado que é distribuído (distância percorrida da usina até o posto de combustível) via sistema logístico: Rodoviário, dutoviário ou ferroviário.	%	E1G
4	Etanol hidratado	Refere-se ao volume percentual de combustível etanol hidratado comercializado que é distribuído (distância percorrida da usina até o posto de combustível) via sistema logístico: Rodoviário, dutoviário ou ferroviário.	%	E1G

Fonte: Adaptado de ANP (2019a).

Desta feita, após a inserção dos parâmetros estabelecidos na fase industrial na rota E1G, adicionados com os dados da planilha de dados “consolidados”, por fim, a RenovaCalc emitira a intensidade de carbono total (g CO<sub>2</sub>eq/MJ) relacionada a cada etapa produtiva, do etanol anidro e do etanol hidratado, a Nota de Eficiência Energético-Ambiental de ambos os combustíveis e a redução de emissões em relação à gasolina.

### 3.4 Emissão do Crédito de Descarbonização (CBIO)

A definição da quantidade de Créditos de Descarbonização a serem emitidos, considerará o volume de biocombustível produzido ou importado e comercializado pelo emissor primário, que será multiplicado pelo seu fator para emissão de CBIO (representado pela Equação 1). O CBIO tem como unidade padrão uma tonelada de CO<sub>2</sub>eq, assim, 1 CBIO equivale a 1 t CO<sub>2</sub>eq.

$$CBIO = f * \text{Volume de Biocombustível Comercializado (1)}$$

Onde, *f* é o fator para emissão de CBIO, constante do Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis (t CO<sub>2</sub>eq/litro); Volume de Biocombustível Comercializado é o volume de

biocombustível produzido ou importado e comercializado pelo emissor primário (litros).

O produtor de biocombustíveis é o emissor primário de Créditos de Descarbonização e a ele será efetuado, sob forma escritural, o valor do CBIOs em quantidade proporcional ao volume de biocombustível produzido (ou importado) e necessariamente comercializado, e ao fator de CBIO do produtor de biocombustível (BRASIL, 2017b). Isso implica que:

- I. Primeiramente, o biocombustível deve ter sido produzido ou importado;
- II. Depois disso, o biocombustível precisará ser comercializado no mercado interno (ex: com um distribuidor de combustíveis);
- III. O direito ao CBIO (um instrumento financeiro) surge vinculado com a efetiva produção e comercialização física do biocombustível;
- IV. A partir dessa comercialização, a emissão da Nota Fiscal assegura ao produtor/importador o direito de solicitar, em até sessenta dias, a emissão dos CBIOs em seu nome.

#### 3.4.1 Fator Para Emissão de CBIO

O fator para emissão de CBIO é o valor constante do Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis, calculado aplicando-se a Equação (2), que será multiplicado pelo volume (em litros) comercializado pelo produtor de biocombustível, litros informado na Nota Fiscal Eletrônica (NF-e), para determinação da quantidade de CBIOs a serem escriturados que cada nota fiscal dará direito a emitir (ANP, 2019c).

$$f = NEEA * (f \text{ elegível}/100) * \rho * PCI \quad (2)$$

Onde  $f$  é o fator para emissão de CBIO (t CO<sub>2</sub>eq/litro); NEEA é a Nota de Eficiência Energético-Ambiental (em gCO<sub>2</sub>eq/MJ);  $f \text{ elegível}$  é a fração do volume de biocombustível elegível (em %);  $\rho$  é a massa específica do biocombustível (t/m<sup>3</sup>); PCI é o poder calorífico inferior do biocombustível (MJ/kg).

A massa específica e o poder calorífico inferior do biocombustível que deverão constar no Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis são aqueles elencados na Tabela 17 do Anexo I da Resolução ANP n° 758/2018 (ANP, 2019a). Cada biocombustível possui valores específicos para cada variável. O Etanol Anidro possui massa específica de 0,791 t/m<sup>3</sup> e um PCI de 28,26 MJ/kg, já o Etanol Hidratado apresenta valores de 0,809 t/m<sup>3</sup> e 26,38 MJ/kg

respectivamente. Assim, cada biocombustível obterá seu próprio fator de emissão de CBIO.

Conforme o Art. 2º, III, da Resolução ANP N° 802, de 05.12.2019, a escrituração de CBIO, é a emissão de Créditos de Descarbonização escriturais em nome do emissor primário por banco ou instituição financeira por ele contratada (ANP, 2019c).

### 3.4.2 Fração do Volume de Biocombustível Elegível

Para o cálculo do fator para emissão de CBIO, é imprescindível a obtenção da fração de volume elegível, que por sua vez não é calculada diretamente na RenovaCalc, deve ser calculada e documentada pelo produtor de biocombustível e auditada pela firma inspetora. A memória de cálculo da fração do volume de biocombustível elegível deverá constar dos documentos do processo de auditoria, contemplando todas as premissas adotadas. Para os casos de processos que empreguem diferentes matérias-primas, o cálculo deve considerar os rendimentos das diferentes reações. (ANP, 2019a). O cálculo da fração de volume elegível é expresso pela equação (3).

$$f \text{ elegível} = (Qtd \text{ elegível} / Qtd \text{ total}) * 100 \quad (3)$$

Onde:  $f \text{ elegível}$  é a fração do volume de biocombustível elegível (em %); Qtd Elegível é a quantidade de biomassa elegível processada pela unidade produtora e Qtd Total é a quantidade total de biomassa processada na unidade produtora.

Para uma unidade produtora de etanol que empregue somente cana-de-açúcar como matéria-prima, a fração do volume de biocombustível elegível deve ser igual à fração de biomassa energética elegível utilizada. Por exemplo, em uma unidade produtora na qual apenas 70% da cana-de-açúcar processada é elegível, então 70% do volume de etanol anidro e 70% do volume de etanol hidratado produzido será apto a gerar CBIOs, independentemente do mix de produção (açúcar/etanol) adotado. (ANP, 2019a);

No caso deste estudo, tomaremos como a quantidade de biomassa elegível processada pela unidade produtora, as toneladas de cana-de-açúcar (biomassa) destinada a produção apenas do biocombustível etanol na Paraíba, já a quantidade total de biomassa processada na unidade produtora, será a produção total de cana-de-açúcar do Estado, destinado tanto para produção de etanol como para a produção de açúcar. Como será apresentado posteriormente na seção de Resultados.

Nos termos da lei, a firma inspetora deverá auditar os registros declarados, bem como o cálculo da fração do volume de biocombustível elegível para assim constatar a veracidade dos dados e cálculos (ANP, 2019a).

### **3.5 Análise de sensibilidade**

Para poder findar a validação do modelo de cálculo do IC e NEEA do Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20), na análise de sensibilidade (AS) do modelo paraibano, utilizando as variáveis da fase agrícola referentes ao cenário de cada usina inseridas na RenovaCalc Paraibana. Ou seja, foram utilizados os dados primários (perfil de produção específico) da fase agrícola de cada UP, atrelados aos parâmetros primários do setor que serão fixados: “Área total”, “Produção total”, “Palha recolhida” e todo o conjunto de parâmetros relacionados à etapa industrial e de distribuição preenchidos com dados primários do Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20).

Para validação do estudo, foram comparados os resultados da pesquisa com os relatórios das usinas que estão em processo de certificação, identificando o quanto o estudo simulado do setor sucroalcooleiro paraibano se aproxima do real.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Inventário do Setor Sucroalcooleiro Paraibano

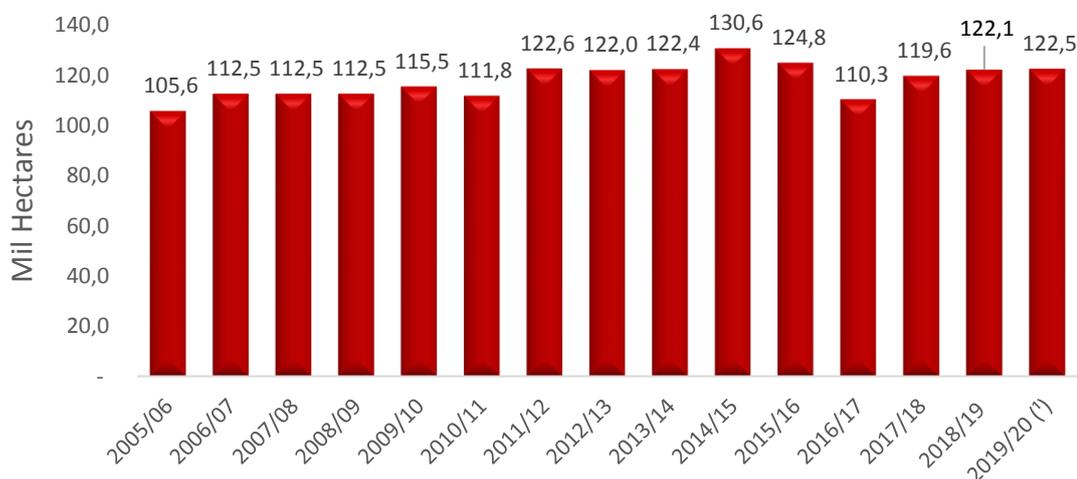
O inventário serve como norteador na identificação das potencialidades característica do setor no estado, como também as limitações estabelecidas e as perspectivas futuras de crescimento econômico e ambiental. Subdividido em três tópicos, o inventário fazendo um levantamento da: Produção de Cana-de-açúcar, Produção de Etanol, Exportação e Empregabilidade do setor sucroalcooleiro do Estado da Paraíba.

#### 4.1.1 Produção de Cana-de-açúcar

A área colhida de cana-de-açúcar na Paraíba vem retomando seu crescimento aos poucos, após a safra de 2016/17 teve um dos piores resultados em uma década. Este é um reflexo da possível retomada do setor paraibano nas áreas de colheita, indo de contrapartida com o cenário constante de queda da área colhida nos últimos anos de toda região nordeste. O crescimento é observado de forma sutil nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 onde espera-se uma área colhida de 122,5 mil hectares, valor maior do que o apresentado nas safras anteriores 119,6 e 122,1 mil respectivamente (Gráfico 1).

Segundo Vidal (2018; 2019) essa possível melhora vem após situação crítica pela qual as usinas, destilarias e produtores de cana-de-açúcar do Nordeste têm passado, tanto em termos de condições climáticas adversas quanto financeiras e mercadológicas.

**Gráfico 1** -Área colhida com cana-de-açúcar na Paraíba entre as safras 2005/06 e 2019/20 (em Mil hectares)



Nota: (¹) Previsão em dezembro de 2019.

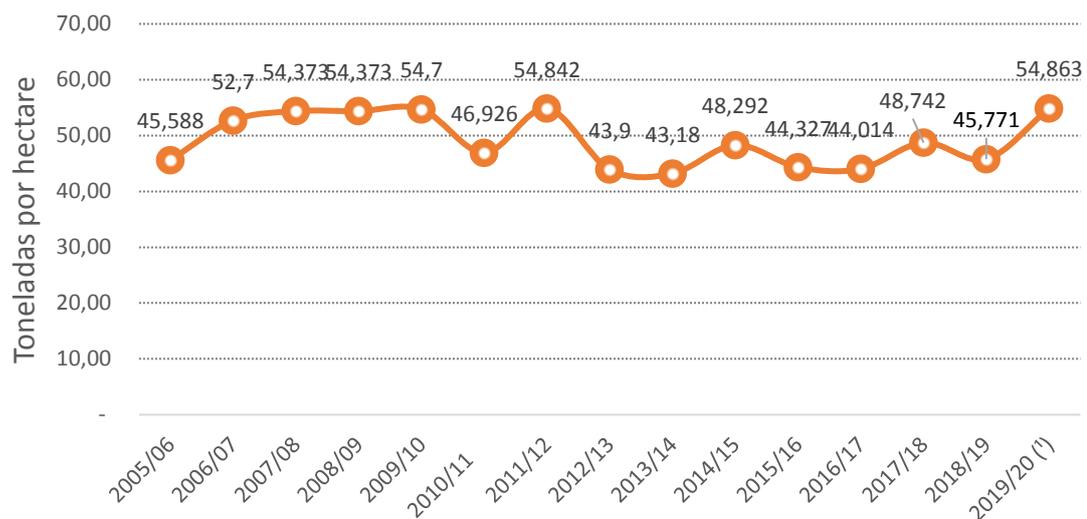
Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Com relação a produtividade da cana, a Paraíba possui um dos mais baixos índices do Nordeste, ficando a baixo da média regional que já é a menor do país. Em comparativos com a média regional, dá safra de 2005/06 a safra atual 2019/20, o estado nunca ficou com valores de produtividade acima da média regional. Mesmo a maior parte da área da colheita do Estado estar situada na região litorânea, a situação é agravada pela restrição hídrica e principalmente da insuficiência de tratos culturais nas lavouras dos pequenos e médio produtores de cana, que representam cerca de 50% da demanda do setor paraibano.

Em seu pior rendimento, a produtividade média da área agrícola chegou a 43,18 t/ha na safra de 2013/14, nível muito baixo se comparado ao estado de São Paulo, maior produtor brasileiro, que na mesma safra atingiu 81,9 t/ha (CONAB, 2020).

Após sete safras (2012/13 a 2018/19) com índices produtivos abaixo de 50 t/ha, espera-se para safra 2019/20 que a produtividade de cana na Paraíba se recupere para 54,8 t/ha, o melhor resultado já registrado no Estado (Gráfico 2). Crescimento de 19,9% comparado a safra anterior 2018/19. Esse bom resultado, provavelmente está atrelado a decorrência do melhor regime de chuvas durante a etapa de colheita e possíveis investimento em manejo.

**Gráfico 2** – Produtividade de cana-de-açúcar na Paraíba entre as safras 2005/06 e 2019/20 (Tonelada/hectare).



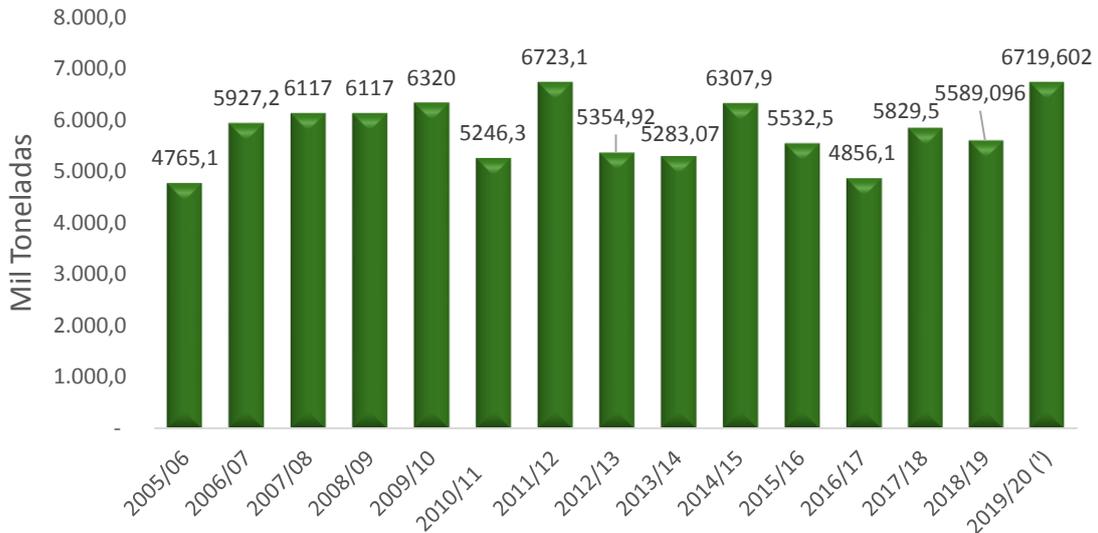
Nota: (¹) Previsão em dezembro de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Já se tratando da produção de cana-de-açúcar, com a prevista melhora da produtividade

para a safra 2019/20, a produção paraibana deve totalizar 6.719,6 mil toneladas de cana, um expressivo crescimento de 20,2% na produção quando comparada a safra 2018/2019, que obteve uma produção de 5.589,09 mil toneladas de cana (Gráfico 3). Este é o maior crescimento da produção de cana-de-açúcar do Brasil, entre as respectivas safras.

**Gráfico 3** – Produção de cana-de-açúcar na Paraíba entre as safras 2005/06 e 2019/20 (Mil Toneladas).



Nota: (¹) Previsão em dezembro de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Em busca de um melhor aproveitamento produtivo, principalmente na etapa agrícola, e outras questões socioambientais, o Estado da Paraíba vem evoluindo gradativamente na implementação da colheita mecanizada em substituição da colheita manual. Esse processo inicializou na safra 2010/2011 com a aquisição de cinco máquinas para realização de colheita mecanizada (Tabela 3). Assim, na mesma safra o percentual da área de colheita mecanizada que era de 0%, passou para 7,6% (Gráfico 4).

No momento da colheita da cana de açúcar ainda é usado a queima, o que causa enorme preocupação ambiental, na saúde dos trabalhadores e das pessoas que habitam nas proximidades, dessa maneira a mecanização surge com potencial de diminuir os impactos ambientais nesta fase, de acordo com Batista e Mendonça (2020) a mecanização é uma das características marcantes do avanço industrial e tecnológico. No Brasil na safra de 2018/2019 a colheita manual teve um percentual médio de 8,2% (BRASIL, 2019), evidenciando que esta redução significativa eleva o potencial de sustentabilidade, devido as reduções de emissões de GEE.

Iniciada esta nova implementação tecnológica no processo de colheita da cana-de-açúcar, durante as seguintes safras foram adquiridos mais maquinários, como também o percentual da área de colheita mecanizada foi aumentando gradativamente, chegando em seu pico na safra 2016/17, que contava com um total de 17 colheitadeiras e atingindo um percentual de 29,7% da área de colheita executada de forma mecânica. Nas safras seguinte mesmo com um número maior de maquinário o percentual reduziu um pouco. Entretanto na safra atual (2019/20), o percentual da área de colheita mecanizada voltou a crescer e obteve valor de 27%, para um total de 18 colheitadeiras (Tabela 3).

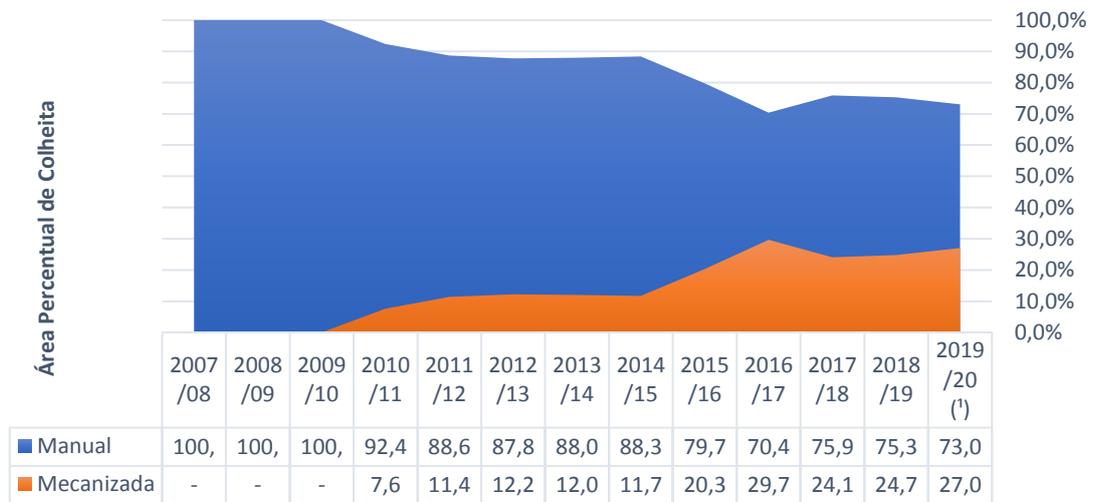
Segundo Batista e Mendonça (2020) a região nordeste aumentou a utilização de máquinas colheitadeiras entre as safras de 2013 e 2018, o que facilitou no momento de colheita e reduziu a oferta de trabalho.

**Tabela 3** – Número de Colheitadeiras no Estado da Paraíba.

<b>Safra</b>	<b>Nº Colheitadeiras</b>
<b>2009/10</b>	-
<b>2010/11</b>	5
<b>2011/12</b>	9
<b>2012/13</b>	11
<b>2013/14</b>	10
<b>2014/15</b>	12
<b>2015/16</b>	14
<b>2016/17</b>	17
<b>2017/18</b>	18
<b>2018/19</b>	18
<b>2019/20</b>	18

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Atualmente o estado da Paraíba possui o terceiro maior número de máquinas da região nordeste (18), duas vezes mais se comparado ao estado vizinho, Pernambuco, que possui apenas 7 colheitadeiras. Entretanto, os estados com maior número de colheitadeiras, Alagoas e Rio Grande do Norte, possuem 54 e 25 colheitadeiras respectivamente.

**Gráfico 4 - Percentual da área de colheita Manual x Mecanizada.**

Nota: (¹) Previsão em dezembro de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Na colheita manual, é normalmente feita a queima da palha da cana-de-açúcar pré-colheita, com o objetivo de facilitar o corte. Segundo Paixão e Fonseca (2011), em estudo realizado com produtores paraibanos, os mesmos elencaram alguns benefícios convenientes ao método, como: um maior rendimento da colheita manual e do processo de moagem, a diminuição dos custos de transporte da cana para a unidade produtora.

Durante a pesquisa bibliográfica, em busca do percentual da cana queimada no Estado da Paraíba, foi encontrada a referência no estudo dos pesquisadores Paixão e Fonseca (2011). Em análise das UPs do Estado, compararam a porcentagem em relação ao método de colheita da cana (manual e mecanizada) e o respectivo percentual da área queimada. Demonstrando por fim, que o resultado da área de cana queimada basicamente segue a mesma perspectiva do percentual da colheita manual, ou seja, em aproximadamente 100% da área de colheita manual é realizado a queima.

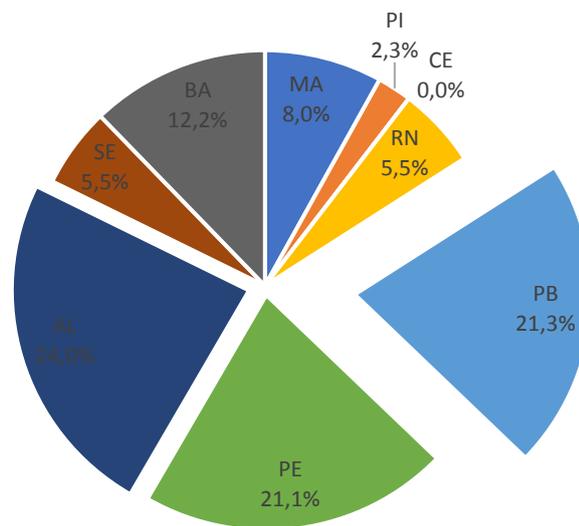
Desta maneira, neste estudo foi adotado o mesmo padrão encontrado pelos pesquisadores, onde a porcentagem da área da cana queimada será a mesma da colheita manual. Assim, na safra de 2019/20 o setor paraibano queimou uma porcentagem de 73%, totalizando uma área de cana-de-açúcar queimada de 89.410 ha.

#### 4.1.2 Produção de Etanol

A produção paraibana tem expressiva contribuição na região Nordeste, correspondendo por 21,3% da produção nordestina de etanol na atual safra de 2019/20 (Gráfico 5). Um adendo

muito importante a destacar, é que na safra 2017/18 pela primeira vez o Estado da Paraíba foi o maior produto de Etanol da região Norte-Nordeste, e o sétimo produtor nacional, produzindo um total de 363898 mil litros de etanol (CONAB, 2020).

**Gráfico 5** - Distribuição percentual da produção de Etanol no Nordeste por estado (Safra 2019/20).



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

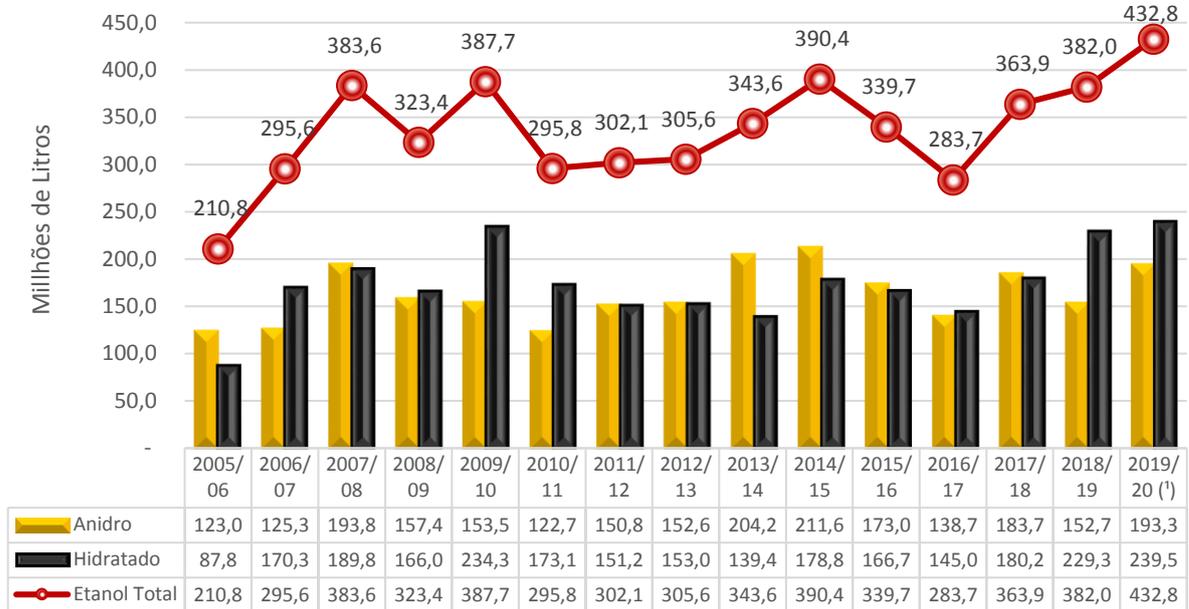
Na safra 2005/06, o estado possuía uma produção muito baixa com índice produtivo de 210,8 milhões litros de etanol total, nas duas safras posteriores o valor obteve expressivo crescimento e chegou a atingir 383,6 milhões litros na safra 2007/08. Após algumas oscilações nos anos seguintes, as safras de 2011/12 a 2014/15 tiveram crescimento gradativo chegando a um dos maiores picos produtivos do Estado na safra 2014/15, 390,4 mil litros de etanol total (Gráfico 6), que estavam divididos em 211579,4 mil litros de etanol anidro (54,2%) e 178771,0 mil litros de etanol hidratado (45,8%).

A queda na produção paraibana de etanol entre as safras 2014/15 e 2016/17, acompanharam o que aconteceu na região Nordeste, resultante de diversos fatores: baixa produtividade agrícola, menor área plantada e o maior percentual de cana-de-açúcar direcionada a produção de açúcar, que estava com melhor (VIDAL, 2019).

Após este período de baixa produção de etanol, durante as safras 2017/18, 2018/19 a produção voltou a crescer, e a perspectiva para safra 2019/20 é que a Paraíba atinja a sua maior produção de etanol total de sua história, totalizando 432,8 milhões de litros (Gráfico 6), um crescimento de 13,29% comparado a safra anterior. Este total está dividido em 193308 mil litros de etanol anidro, que representa 44,7% do total e 239455 mil litros de etanol hidratado, sendo

55,3% do total (Tabela 4).

**Gráfico 6** - Produção paraibana de etanol anidro, hidratado e total entre as safras 2005/06 e 2019/20 (em Milhões de litros).



Nota: (1) Previsão em dezembro de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

**Tabela 4** - Produção paraibana de etanol anidro, hidratado e total e variação das últimas safras

Etanol Total (em mil litros)							
Safra 2014/15	Safra 2015/16	Safra 2016/17	Safra 2017/18	Safra (a) 2018/19	Safra <sup>1</sup> (b) 2019/20	Variação (a-b)	
						Absoluta	%
390350,547	339748,559	283740	363898	382000	<b>432763</b>	<b>50763</b>	<b>13,29%</b>
Etanol Anidro (em mil litros)							
Safra 2014/15	Safra 2015/16	Safra 2016/17	Safra 2017/18	Safra (a) 2018/19	Safra <sup>1</sup> (b) 2019/20	Variação (a-b)	
						Absoluta	%
211579,467	173023,086	138746	183734	152662	<b>193308</b>	<b>40646</b>	<b>26,62%</b>
Etanol Hidratado (em mil litros)							
Safra 2014/15	Safra 2015/16	Safra 2016/17	Safra 2017/18	Safra (a) 2018/19	Safra <sup>1</sup> (b) 2019/20	Variação (a-b)	
						Absoluta	%
178771,081	166725,473	144994	180164	229338	<b>239455</b>	<b>10117</b>	<b>4,41%</b>

Nota: (1) Previsão em dezembro de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

A crescente produção do etanol hidratado no estado é importante para atender a demanda interna do país e aumenta a potencialidade de exportação do combustível pelo Estado da Paraíba.

#### 4.1.3 Rendimento do Etanol Total, Anidro e Hidratado (Litros/TC)

Observando-se os aspectos referente ao rendimento do etanol (litros por tonelada de cana), ou seja, a capacidade produtiva de uma tonelada de cana ser transformada em litros de etanol, é importante identificar a segregação do total da cana-de-açúcar destinada ao etanol (total, anidro e hidratado) e para a produção de açúcar.

Nas Tabelas 5, 6 e 7, nota-se a destinação da cana-de-açúcar para cada tipo de etanol e seu rendimento em litros por tonelada de cana.

**Tabela 5** - Cana-de-açúcar equivalente destinada ao etanol, produção de etanol e seu rendimento (em litros por tonelada de cana).

	<b>Cana-de-açúcar destinada ao etanol total (mil t)</b>	<b>Etanol total (mil l)</b>	<b>Rendimento (l/TC)</b>
<b>Safra 2018/19</b>	<b>4.706,0</b>	<b>382.000,00</b>	<b>81,17</b>
<b>Safra 2019/20</b>	<b>5714,9</b>	<b>432.763,00</b>	<b>75,73</b>
<b>VAR. %</b>	<b>21,4%</b>	<b>13,3%</b>	<b>-6,7%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Observa-se na Tabela 5, que foram destinados para safra 2019/2020 um total de 5714,9 mil toneladas de cana e estima-se uma produção total de 432.763 mil litros de etanol, resultando em um rendimento estimado do etanol total do estado da Paraíba e de **75,73** l/TC. O rendimento esperado, possui uma variação negativa de -6,7% quando comparado aos 81,7 l/TC resultantes da safra 2018/19. Ou seja, o Estado obteve uma eficiência produtiva negativa.

A divisão da produção do etanol total é feita pelos seus dois produtos, anidro e hidratado. Na Tabela 6, constata-se que foram destinados especificamente para produção do etanol anidro um valor de 2.613,2 mil t de cana, que foram utilizados para fabricação de 193.308 mil litros, esse valor representa 44,7% de todo Etanol total produzido, obtendo assim um rendimento de 33,83 l/TC, na safra 2019/20.

**Tabela 6** - Cana-de-açúcar equivalente destinada ao etanol anidro, produção de etanol anidro e seu rendimento percentual (em litros por tonelada de cana)

	<b>Cana-de-açúcar destinada ao etanol anidro (mil t)</b>	<b>Etanol anidro (mil l)</b>	<b>Percentual do etanol total (%)</b>	<b>Rendimento (litros /t)</b>
<b>Safra 2018/19</b>	<b>1.929,1</b>	<b>152.662,00</b>	<b>40,0%</b>	<b>32,44</b>
<b>Safra 2019/20</b>	<b>2.613,20</b>	<b>193.308,00</b>	<b>44,7%</b>	<b>33,83</b>
<b>VAR. %</b>	<b>35,5%</b>	<b>26,6%</b>	<b>11,8%</b>	<b>4,3%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Quando comparado a produção atual com a da safra passada (2018/19), verifica-se que a cana destinada especificamente para produção de etanol hidratado obteve um crescimento de 35,5% e com acréscimo de 26,6%, entretanto o rendimento cresceu apenas 4,3%, Tabela 7.

**Tabela 7** - Cana-de-açúcar equivalente destinada ao hidratado, produção de etanol hidratado e seu rendimento percentual (em litros por tonelada de cana).

	<b>Cana-de-açúcar destinada ao etanol hidratado (mil t)</b>	<b>Etanol hidratado (mil l)</b>	<b>Percentual do etanol total (%)</b>	<b>Rendimento (litros /t)</b>
<b>Safra 2018/19</b>	<b>2.776,9</b>	<b>229.338,00</b>	<b>60,0%</b>	<b>48,73</b>
<b>Safra 2019/20</b>	<b>3.101,70</b>	<b>239.455,00</b>	<b>55,3%</b>	<b>41,90</b>
<b>VAR. %</b>	<b>11,7%</b>	<b>4,4%</b>	<b>-7,8%</b>	<b>-14,0%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da CONAB (2020).

Na Tabela 7 constata-se que foram destinados na safra 2019/20, apenas para produção do etanol hidratado, um valor de 3.101,7 mil t de cana-de-açúcar, sendo utilizados para fabricação de 239.455 mil litros, esse valor representou um percentual de 55,3% de todo Etanol total produzido, tendo uma redução de -7,8% comparado a safra passado. Já o rendimento do etanol hidratado obteve o resultado de 41,90 l/TC, tendo assim uma retração de -14% no seu rendimento na safra com parado a 2018/19.

Assim, mesmo a safra 2019/20 ter aumentado em 11,7% a quantidade de cana destinada a produção de etanol hidratado, a produção do mesmo não conseguiu obter grande crescimento, apenas 4,4% comparado ao ano anterior. Isso, resultou em um rendimento de 41,9 l/TC, gerando uma queda expressiva de rendimento de -14%.

#### 4.1.4 Subprodutos – Bagaço e Energia

Na produção de bagaço de cana, segundo a UNICA (2019b), no panorama nacional uma tonelada de cana produz, em média, 84 litros de etanol e 250 kg de bagaço com 50% de umidade, resultando em 125 kg de matéria seca (ANDREOLI, 2008).

Em busca de dados regionais na literatura, foi encontrado no estudo de Paixão e Fonseca (2011), em uma das usinas da Paraíba estudadas pelos autores, que a proporção de bagaço consumido é em média 260 kg/TC. No tocante da bioenergia, a usina gerava um valor de 75 kwh/TC, desses, 25 kwh/TC estavam sendo consumidos pela própria usina como fonte da própria energia e 50 kwh/TC vendidos como excedentes.

Em outros estudos em uma usina do nordeste, no estado do Rio Grande do Norte, vizinho ao Estado da Paraíba, Almeida (2018) demonstra em seus resultados que cerca de 25-30% de toda energia produzida é consumida pela usina e os outros 70-75% são energia elétrica comercializada. Resultados que corroboram com a usina do Estado da Paraíba do estudo de Paixão e Fonseca (2011).

Visando um cunho regional da pesquisa e também por encontrar estudos com valores bem próximos, foi adotado para este estudo no cenário do setor sucroalcooleiro do Estado da Paraíba, que: em média, o bagaço consumido é 260 kg/TC (umidade de 50%) e 50 kwh/TC são vendidos como energia excedente.

## 4.2 RenovaCalc - Cálculo da Intensidade de Carbono (IC) e Nota De Eficiência Energético-Ambiental (NEEA)

Após o inventário do setor sucroalcooleiro paraibano, a próxima fase é o cálculo do IC (g CO<sub>2</sub>eq/MJ) do etanol anidro e do etanol hidratado, a NEEA de ambos os combustíveis e a redução de emissões, em relação à gasolina na rota E1G do setor paraibano para safra 2019/2020, através da aplicação da ferramenta metodológica de avaliação do ciclo de vida do programa RenovaBio, a RenovaCalc.

Para primeira etapa do cálculo, é preciso o levantamento dos dados da fase agrícola do produtor de biomassa (cana-de-açúcar) paraibano durante a safra 2019/20 (Tabela 8), obtidos a partir do inventário. Dados estes, que serão preenchidos na aba de planilha "*Dados padrão de produtores*", como estabelecido anteriormente na seção 4.5.

Assim, a Tabela 8 dispõe dos dados da fase agrícola do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20), contendo suas respectivas quantidades, unidades e comentário/descrição de

cada parâmetro a ser compilado.

**Tabela 8** - Dados da fase agrícola do setor sucroalcooleiro paraibano safra 2019/20 – Dados de produção específicos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Comentário/Descrição</b>
Tipo de dados fornecidos	-	-	Padrão
Sistema de plantio	-	-	Convencional
Área total	134.212	ha	Soma das áreas colhida, de produção de mudas e de renovação. CONAB (2020)
Produção total colhida para moagem	6.719.600	t cana	Refere-se ao total de cana colhida destinada à moagem. Dados do inventário.
Quantidade comprada pela unidade produtora	6.719.601	t cana	Quantidade total de biomassa primária comprada pela unidade produtora
Teor de impurezas vegetais (base úmida)	50	kg/t cana	Dados típicos para o teor de umidade, conforme Informe Técnico n° 02/SBQ
Umidade das impurezas vegetais	50	%	Dados típicos para o teor de umidade, conforme Informe Técnico n° 02/SBQ
Teor de impurezas minerais	20	kg/t cana	Dados típicos para o teor de impurezas, conforme Informe Técnico n° 03/SBQ
Palha recolhida	0	t palha	Não é recolhida a palha nas UPs do Estado da Paraíba. Dados da pesquisa.
Área queimada	89.425	ha	Porcentagem da área da cana queimada é equivalente a da colheita manual. Área de colheita (122.500 ha), deste 73% da colheita é realizada de forma manual, logo a área queimada é de 89.425 ha. Paixão e Fonseca (2011)

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados da pesquisa, 2020.

Observa-se na Tabela 8, que a área total (134.212 ha) é maior do que a área colhida (122500 ha), pois a mesma engloba além da área colhida de cana-de-açúcar, as de produção de mudas e de renovação, ou seja, toda a área agrícola utilizada no plantio de cana. Tratando da produção colhida da safra 2019/20, é umas das maiores produções esperadas pelo Estado ao longo de uma década, com valores estimados em 6.719.600 t cana.

Com os dados estabelecidos, é preciso seguir algumas orientações no processo de preenchimento como: inserir os dados na unidade pré-indicada, para que não seja desconsiderado qualquer dado que esteja em outra unidade e usar duas casas decimais após a vírgula.

Na Figura 10, observa-se o preenchimento da planilha de dados padrão do produtor de cana-de-açúcar paraibano na RenovaCalc.

**Figura 10** - Preenchimento dos dados padrão paraibano na RenovaCalc

Identificação do produtor de biomassa	CNPJ/CPF:	Informações gerais								Tipo de preenchimento	Impacto da produção da cana-de-açúcar kg CO <sub>2</sub> eq/t cana
		Sistema de plantio	Área total	Produção total colhida para moagem	Quantidade comprada pela unidade produtora de biocombustível	Teor de impurezas vegetais (base úmida)	Umidade e das impurezas vegetais	Teor de impurezas minerais	Palha recolhida (base seca)	Tipo de dados fornecidos	
			ha	t cana	t cana	kg/t cana	%	kg/t cana	t palha		
Paraíba/PB	00.000.000/0000-00	Convencional	134.212,00	6.719.600,00	6.719.600,00	50,00	50%	20,00	0,00	Padrão	<b>65,48</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, RenovaCalc, 2020.

A partir da Figura 9, ao final das colunas disponíveis para o preenchimento dos dados coletados, observa-se o resultado do cálculo do Impacto da Produção em kg CO<sub>2</sub>eq/t cana produzida por cada produtor. Para o setor sucroalcooleiro paraibano o impacto médio oriundo da produção de cana-de-açúcar no Estado, em emissões de CO<sub>2</sub>, é de **65,48 kg CO<sub>2</sub>eq/t cana**.

Após a inserção dos dados e o cálculo do impacto da produção de cana-de-açúcar, é gerado automaticamente na planilha "*Consolidado*", os resultados consolidados (preestabelecidos pela ferramenta) que serão posteriormente utilizados na Planilha RenovaCalc na fase agrícola, que a posterior se unirão com os dados primários da fase industrial.

Ou seja, estes serão os dados fixados que devem ser inseridos na fase agrícola da RenovaCalc sem fazer nenhuma alteração. É importante lembrar que, já constam inseridos automaticamente entre resultados consolidados a penalidade sofrida pelo produtor por optar em usar o perfil de dados padrão.

Os dados consolidados da fase agrícola do setor sucroalcooleiro paraibano da safra 2019/20, Figura 11.

**Figura 11 - Fase agrícola RenovaCalc – Dados consolidados**

Fase agrícola - Dados Consolidados					
<b>Informações gerais</b>					
Área total	134.212,00	ha			
Produção total colhida para moagem de comprada pela unidade produtora de biocombustível	6.719.600,00	t cana			
Teor de impurezas vegetais (1,000 t/ha)	6.719.600,00	t cana			
Teor de impurezas minerais	50,00	kg/t cana	Umidade	50,00%	
Palha recolhida (1,000 t/ha)	20,00	kg/t cana			
		t palha			
<b>Area Queimada</b>					
Área queimada	89.425,00	ha			
<b>Corretivos</b>					
Calcário calcítico		kg/t cana			
Calcário dolomítico	12,00	kg/t cana			
Gesso	5,00	kg/t cana			
<b>Fertilizantes Sintéticos</b>					
Ureia	2,00	kg N/t cana			
Fosfato monoamônico (MAP)		kg N/t cana			
Fosfato monoamônico (MAP)		kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana			
Fosfato diamônico (DAP)		kg N/t cana			
Fosfato diamônico (DAP)		kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana			
Nitrato de amônio		kg N/t cana			
Solução de nitrato de amônio e ureia (UAN)		kg N/t cana			
Amônia anidra		kg N/t cana			
Sulfato de amônio		kg N/t cana			
Nitrato de amônio e cálcio (CAN)		kg N/t cana			
Superfosfato simples (SSP)	1,00	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana			
Superfosfato triplo (TSP)		kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana			
Cloreto de potássio (KCl)	2,00	kg K <sub>2</sub> O/t cana			
Outros Formulados com N		kg N/t cana			
Outros Formulados com P		kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana			
Outros Formulados com K		kg K <sub>2</sub> O/t cana			
<b>Fertilizantes Orgânicos/Organominerais</b>					
Vinhaça	1.000,00	L/t cana	Concentração de N	0,38	g N/L
Torta de Filtro (base úmida)	42,80	kg/t cana	Concentração de N	2,80	g N/kg
Cinzas e fuligem (base úmida)	10,08	kg/t cana	Concentração de N	0,00	g N/kg
Outros especificar		kg/t cana	Concentração de N		g N/kg
Outros especificar		kg/t cana	Concentração de N		g N/kg
<b>Combustíveis e eletricidade</b>					
Diesel - B8		L/t cana			
Diesel - B10	6,00	L/t cana			
Diesel - BX		L/t cana	Teor de biodiesel na mistura		
Diesel - B20		L/t cana			
Diesel - B30		L/t cana			
Biodiesel - B100		L/t cana			
Gasolina C		L/t cana			
Etanol hidratado		L/t cana			
Biometano de terceiros		Nm <sup>3</sup> /t cana			
Biometano próprio		Nm <sup>3</sup> /t cana			
Eletricidade da rede - mix médio		kWh/t cana			
Eletricidade - PCH		kWh/t cana			
Eletricidade - biomassa		kWh/t cana			
Eletricidade - eólica		kWh/t cana			
Eletricidade - solar		kWh/t cana			

Fonte: Elaborado pelo autor, RenovaCalc, 2020.

Identificando os elementos na Figura 11, nota-se que as informações gerais que foram inseridas pelo produtor permanecem fixadas. Entretanto, são atribuídos automaticamente pela calculadora, através do “perfil de produção padrão”, valores relacionados a Corretivos, Fertilizantes sintéticos, Fertilizantes Orgânicos/Organominerais e Combustível e Eletricidade. Dados que são referentes aos insumos utilizados em todas as etapas de produção agrícola da

cana-de-açúcar.

Na fase agrícola, na seção de “Corretivos”, são atribuídos pela ferramenta; **Calcário agrícola** a níveis médios de **12,00 kg/t cana** e **Gesso agrícola** a nível de **5,00 kg/t cana**. Já na seção de “Fertilizantes Sintéticos”, os três principais macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), que constituem o tripé vital de desenvolvimento das plantas, são representados pelos fertilizantes de **Ureia**, **Superfosfato simples (SSP)** e **Cloreto de Potássio (KCl)**, tendo valores médios de utilização de **2 kg N/t cana**, **1 kg N/t cana** e **2 kg N/t cana** respectivamente, Figura 11.

Ainda se tratando dos fertilizantes, só que na seção de “Fertilizantes Orgânicos/Organominerais”, que são adubos orgânicos enriquecidos ou não com nutrientes minerais, tem: a **Vinhaça** com um consumo médio de **1000,00 l/t cana** a uma concentração de N de **0,38 g N/Litro**; a **Torta de Filtro (base úmida)**, cotada a **42,80 kg/t cana**; e a utilização média de **Cinzas e Fuligens (base úmida)** nos cultivos agrícolas é de **10,08 kg/t cana**. São todos subprodutos da indústria sucroalcooleira, oriundos do processo de produção das usinas, que são utilizados em substituição à adubação química.

Já para seção de “Combustível e Eletricidade” destinados para fase agrícola, a calculadora estabelece um valor médio de utilização atribuído apenas ao combustível **Diesel - B10** um consumo de **6,00 L/t cana**.

Lembrando que estes são dados consolidados atribuídos pela própria calculadora, que possui uma extensa base de dados, oriundas de um dos maiores banco de dados mundial de avaliação de ciclo de vida (ACV), “ecoinvent”, como também a partir de dados do cenário nacional.

Na segunda etapa para estabelecermos o IC e NEEA do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20), temos a fase industrial. Da mesma forma como feito anteriormente na fase agrícola, utilizando os dados da safra 2019/20 obtidos a partir do inventário. Estes dados serão preenchidos na planilha nomeada de “**Planilha RenovaCalc**”, especificamente na aba de planilha “E1G”, que contém os campos a serem preenchidos sobre a fase agrícola, fase industrial e fase de distribuição da rota de etanol combustível de primeira geração produzido a partir de cana-de-açúcar. Assim, posteriormente os dados da fase industrial serão compilados juntamente com as fases agrícolas e de distribuição.

Os dados da fase industrial do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20), contendo suas respectivas quantidades, unidades e comentário/dscrição de cada parâmetro a ser compilado na rota E1G, Tabela 9.

**Tabela 9** - Dados da fase industrial e de distribuição do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).

Parâmetro	Quantidade	Unidade	Comentário/Descrição
Quantidade de cana processada	5714900	t cana	Quantidade total de cana processada para produção de etanol
Quantidade de palha processada	0	t palha	Dados da pesquisa
Rendimento de etanol anidro	33,83	L/ t cana	Dados da pesquisa
Rendimento de etanol hidratado	41,9	L/ t cana	Dados da pesquisa
Rendimento do açúcar	0	kg/ t cana	Será considerado apenas a produção do Etanol
Rendimento de energia elétrica comercializada	50	kwh/t cana	Dados da pesquisa
Eletricidade - Bagaço próprio	260	kg/t cana	Dados da pesquisa
Umidade do Bagaço	50	%	Dados da pesquisa
Distribuição etanol anidro	100%	Rodoviário	Dados da pesquisa
Distribuição etanol hidratado	100%	Rodoviário	Dados da pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados da pesquisa, 2020.

Na Tabela 9, observa-se que foram destinados um total de 5714,9 mil toneladas de cana especificamente para produção de etanol no setor paraibano na safra 2019/2020, tendo um rendimento total de 73,73 L/t cano. Quando trata-se especificamente de cada produto que compõe a produção do etanol total, o etanol anidro e hidratado, possuem rendimentos específicos que somados estabelecem o rendimento total.

O etanol anidro obteve um rendimento percentual de 33,83 L/t cana e o etanol hidratado resultados mais expressivos chegando um rendimento de 41,90 L/t cana, ambos na safra 2019/20. Se tratando do rendimento do açúcar, o estudo considerou apenas a produção do biocombustível etanol. Diante a análise do recolhimento de palha, as usinas do Estado da Paraíba não fazem o recolhimento da palha separadamente da cana. Assim, o resultado é nulo.

Por fim, como destacado na seção metodológica de subprodutos (bagaço e energia), foi adotado para este estudo que a quantidade média de bagaço próprio consumido é de 260 kg/t cana (umidade de 50%) e são vendidos como energia excedente 50 kwh/t cana. Considerando que o setor consuma toda energia elétrica da sua própria produção (usinas autônomas), não foram consideradas a aquisição/consumo de elétrica da rede.

Para terceira e última etapa, fase de distribuição, é constatado que 100% do volume total produzido do biocombustível etanol anidro e hidratado da Paraíba são distribuídos (distância

percorrida da usina até o posto de combustível) via sistema logístico rodoviário. Como é feito em basicamente todo o Brasil.

Exposto todos os parâmetros utilizados, na Figura 12 nota-se os mesmos inseridos na fase industrial e de distribuição da RenovaCalc, rota E1G.

**Figura 12** - Fase industrial e de distribuição – RenovaCalc.

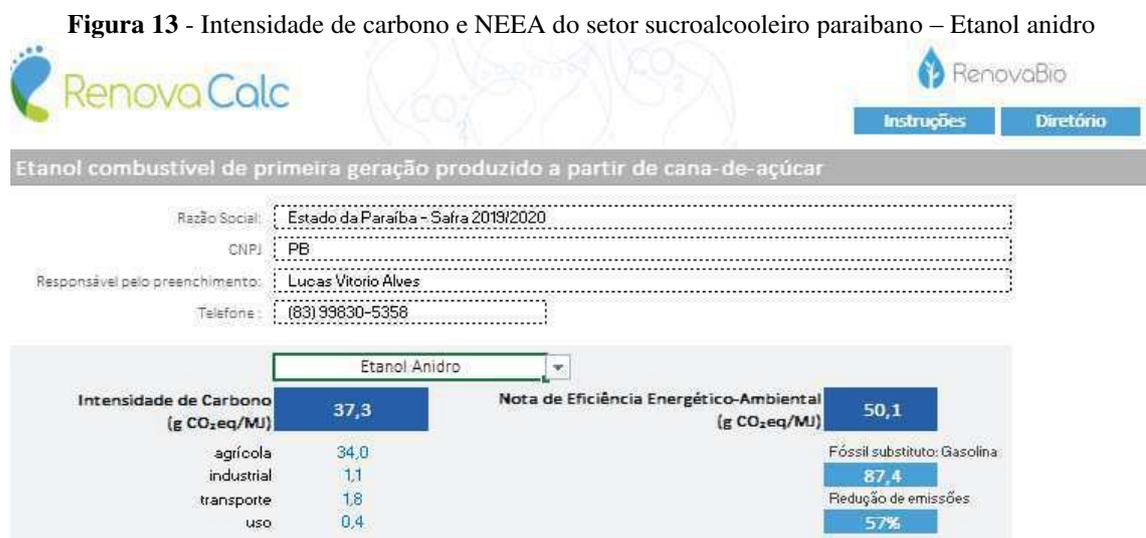
Fase industrial - processamento do etanol					
<b>Processamento e rendimentos</b>					
Quantidade de cana processada	5.714.900,00	t cana			
Quantidade de palha processada (kg/t cana)		t palha			
Rendimento Etanol Anidro	33,83	L/t cana			
Rendimento Etanol Hidratado	41,90	L/t cana			
Rendimento Açúcar		kg/t cana			
Rendimento Energia Elétrica Comercializada	50,00	kWh/t cana			
Rendimento Bagaço Comercializado (kg/t cana)		kg/t cana			Umidade <input type="text"/>
<b>Combustíveis e eletricidade</b>					
<b>Bagaço próprio</b>					
Quantidade (kg/t cana)	260,00	kg/t cana			
Umidade	50,00%				
<b>Palha própria</b>					
Quantidade (kg/t cana)	<input type="text"/>	kg/t cana			
Umidade	<input type="text"/>				
<b>Bagaço de terceiros</b>					
Quantidade (kg/t cana)	<input type="text"/>	kg/t cana			
Umidade	<input type="text"/>				
Distância de transporte	<input type="text"/>	km			
<b>Palha de terceiros</b>					
Quantidade (kg/t cana)	<input type="text"/>	kg/t cana			
Umidade	<input type="text"/>				
Distância de transporte	<input type="text"/>	km			
<b>Cavaco de madeira</b>					
Quantidade (kg/t cana)	<input type="text"/>	kg/t cana			
Umidade	<input type="text"/>				
Distância de transporte	<input type="text"/>	km			
<b>Lenha</b>					
Quantidade (kg/t cana)	<input type="text"/>	kg/t cana			
Umidade	<input type="text"/>				
Distância de transporte	<input type="text"/>	km			
<b>Resíduos florestais</b>					
Quantidade (kg/t cana)	<input type="text"/>	kg/t cana			
Umidade	<input type="text"/>				
Distância de transporte	<input type="text"/>	km			
Óleo combustível	<input type="text"/>	L/t cana			
Etanol hidratado próprio	<input type="text"/>	L/t cana			
Etanol anidro próprio	<input type="text"/>	L/t cana			
Biogás próprio	<input type="text"/>	Nm <sup>3</sup> /t cana			
Biogás de terceiros	<input type="text"/>	Nm <sup>3</sup> /t cana			PCI do biogás <input type="text"/> MJ/Nm <sup>3</sup>
Eletricidade da rede - mix médio	<input type="text"/>	kWh/t cana			PCI do biogás <input type="text"/> MJ/Nm <sup>3</sup>
Eletricidade - PCH	<input type="text"/>	kWh/t cana			
Eletricidade - biomassa	<input type="text"/>	kWh/t cana			
Eletricidade - eólica	<input type="text"/>	kWh/t cana			
Eletricidade - solar	<input type="text"/>	kWh/t cana			
<b>Fase de distribuição</b>					
<b>Etanol anidro</b>					
Rodoviário	<input type="text"/>	100,00%			
Dutoviário	<input type="text"/>	0,00%			
Ferroviário	<input type="text"/>	0,00%			
<b>Etanol hidratado</b>					
Rodoviário	<input type="text"/>	100,00%			
Dutoviário	<input type="text"/>	0,00%			
Ferroviário	<input type="text"/>	0,00%			

Fonte: Elaborado pelo autor, RenovaCalc, 2020.

Finalmente, com todos os dados inseridos na RenovaCalc na rota E1G, foi calculado a intensidade de carbono relacionada a cada etapa produtiva, do etanol anidro e do etanol

hidratado e a Nota de Eficiência Energético-Ambiental de ambos os combustíveis do setor sucroalcooleiro paraibano na safra 2019/20. A IC indica o conteúdo energético médio do biocombustível etanol, por emissão, em termos de  $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$  do Estado, já a NEEA consiste na nota atribuída ao emissor, neste caso o setor sucroalcooleiro paraibano, que é definida em função da diferença entre a intensidade de carbono calculada e a intensidade de carbono de seu combustível fóssil substituto, neste caso a gasolina. Lembrando que, quanto mais eficiente for o processo produtivo do emissor primário melhor será sua nota.

Na Figura 13 o resultado da IC e da NEEA do setor sucroalcooleiro paraibano, para o biocombustível etanol anidro com base na safra 2019/20.



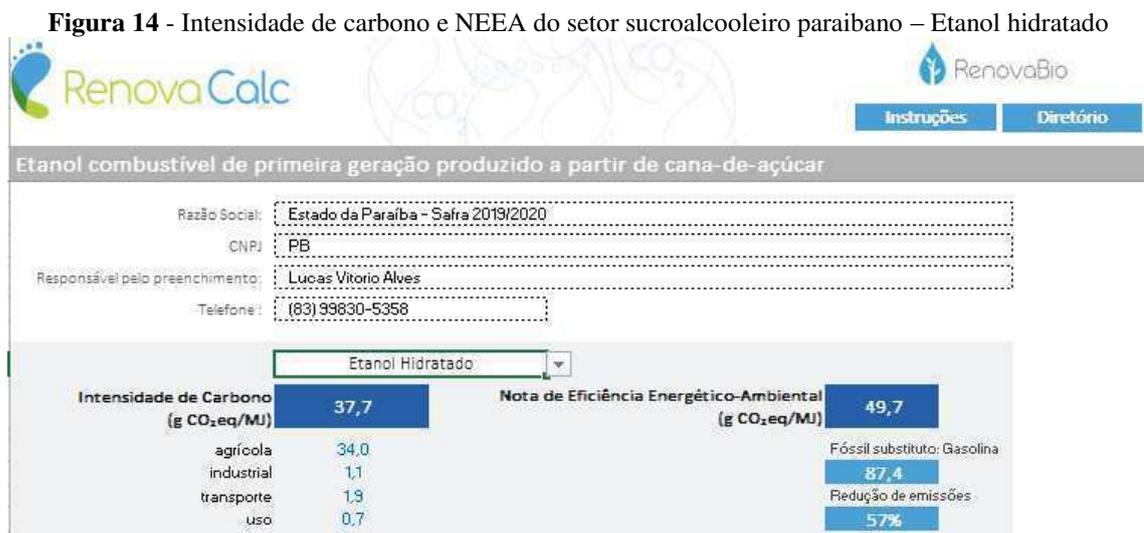
Fonte: Elaborado pelo autor, RenovaCalc, 2020.

Analisando o resultado referente ao biocombustível “Etanol Anidro”, o valor da IC foi de **37,3 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**, **Figura 13**. Este valor está relacionado ao somatório das emissões de CO<sub>2</sub> de todas as fases do produtor de biocombustível: agrícola, industrial, transporte e acrescido do uso, que é a mudança de uso da terra (MUT; ou Land Use Change - LUC), o qual consiste na mudança de propósito para o qual a terra é utilizada pelo homem, valor determinado automaticamente pela calculadora (MOREIRA, 2018).

A **fase agrícola** obteve o maior índice médio de emissões, **34,0 g CO<sub>2</sub>eq/MJ** representando um percentual extremamente elevado de 91,2% de todas emissões. Por sua vez a fase industrial obteve valores de **1,1 g CO<sub>2</sub>eq/MJ** equivalente a 3,0%, e a fase de distribuição representou aproximadamente 4,8% do total, contabilizando emissão de **1,8 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**. Por fim, as emissões referentes ao uso foram de **0,4 g CO<sub>2</sub>eq/MJ** representando apenas 1%, **Figura 13**.

A NEEA obteve um valor de **50,1 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**, visto que a intensidade de carbono da gasolina é estabelecida em 87,4 g CO<sub>2</sub>eq/MJ, a diferença entre essa intensidade com a intensidade do etanol anidro obtida no estudo (**37,3 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**), equivale a NEEA do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20), Figura 13. Representando assim uma redução de emissões de 57% na utilização do Etanol Anidro, quando comparado a gasolina.

Os resultados da IC e da NEEA do setor sucroalcooleiro paraibano, para o biocombustível etanol hidratado com base na safra 2019/20, estão na Figura 14.



Fonte: Elaborado pelo autor, RenovaCalc, 2020.

De forma análoga, podemos verificar o biocombustível “Etanol Hidratado” produzido pelo setor paraibano (Figura 9). O IC deste biocombustível apresentou índice de emissões de **37,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**, valor um pouco mais elevado que o etanol anidro, com variação de 1,0%.

Esta pequena elevação do IC de 0,4 g CO<sub>2</sub>eq/MJ comparado ao anidro, é percebida com o crescimento das emissões referentes ao **uso** para um valor de **0,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ** representando 1,8% das emissões e também na fase de distribuição que obteve valores de **1,9 g CO<sub>2</sub>eq/MJ** equivalente a 5,0%. Já nas fases agrícola e industrial os valores emissões permanecem os mesmo quando comparado ao etanol anidro, **34,0 g CO<sub>2</sub>eq/MJ (90,2%)** e **1,1 g CO<sub>2</sub>eq/MJ (3,0%)** respectivamente.

Silva (2019) avaliando as influencias das mudanças climáticas no cultivo de cana de açúcar na Paraíba correlacionando com a atividade agrícola, afirma que a agricultura foi responsável por elevar o aumento nas emissões em cerca de 0,93% nos anos avaliados, evidenciando a cana-de-açúcar como principal atividade agrícola encarregado pelas emissões de GEE, cerca de 90% das emissões de GEE na agricultura no ano de 2016. De acordo com

este autor ao aumentar a quantidade de cana de açúcar produzida, haverá acréscimos de 80,71 toneladas de CO<sub>2</sub> lançados ao meio ambiente por tonelada de cana produzida.

Devido ao pequeno aumento das emissões de CO<sub>2</sub> do biocombustível Etanol Hidratado, a NEEA obtida teve redução por serem grandezas inversamente proporcionais. Sendo assim, a NEEA do etanol hidratado do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20) é de **49,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**. Potrich (2019) ao fazer uma análise da produção de etanol, relata que nos cenários abordados a nota de certificação das Usinas quanto maior significa que houve diminuição na taxa de emissão de GEE.

Deste modo, a partir da aplicação da ferramenta metodológica de avaliação do ciclo de vida, RenovaCalc, temos que a Nota de Eficiência Energético-Ambiental (NEEA) para os biocombustíveis Etanol Anidro e Hidratado do seu Setor Sucroalcooleiro Paraibano safra (2019/20) é de **50,1 e 49,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ** respectivamente. Isso implica para o setor, uma potencial redução de 50,1 e 49,7 g CO<sub>2</sub>eq a cada um MJ de etanol anidro e hidratado produzido pelo Estado, comparado as emissões de CO<sub>2</sub> do seu combustível substituto, a gasolina, assim quanto maior a nota maior o potencial de redução de emissão de GEE

Resultados superiores foram obtidos pela Usina Vale do Paraná (SP), sendo a primeira empresa a se certificar no Renovabio, com notas de eficiência em cerca de 67 gCO<sub>2</sub>eq/MJ (NOVACANA, 2019).

A potencialidade de redução de 57% das emissões de CO<sub>2</sub> do Etanol paraibano, comparado a gasolina, apontam a redução de emissões maior do que a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) tem considerado sobre o produto brasileiro. Segundo a EPA o etanol brasileiro possui uma redução em torno de 50% de emissões de CO<sub>2</sub> em comparação com a gasolina. (BACCHI: CALDARELLI, 2015; COUTINHO ET AL., 2016)

É importante salientar que os resultados obtidos possuem elevados índices de emissões de CO<sub>2</sub> na fase agrícola, convergindo com o que relatam e calculam os estudos de diversos pesquisadores no mundo, sobre os maiores impactos ambientais e emissões de GEE na Análise do Ciclo de Vida da Produção do Etanol, estarem presentes na fase agrícola (PIACENTE, 2005; FERNANDES, 2009; COUTINHO et al., 2016; AMORIM et al. 2018).

#### **4.3 Cálculo da Emissão Potencial de Crédito de Descarbinização (CBIO) Paraibano**

Para o cálculo da emissão potencial de CBIO do Setor Sucroalcooleiro Paraibano (Tabela 12), definindo a quantidade em potencial de Créditos de Descarbonização a serem

emitidos pelo setor no Estado, inicialmente calcula-se a fração do volume de biocombustível etanol elegível (*f elegível*), que é igual à fração de biomassa energética (cana-de-açúcar) elegível utilizada, e em seguida o fator para emissão de CBIO (*f*) para cada biocombustível em análise, etanol anidro e etanol hidratado.

O cálculo da fração do volume de etanol elegível, tem como parâmetros a quantidade de biomassa (cana-de-açúcar) total e elegível processadas pelo produtor primário. Para simulação deste estudo, foi utilizada a quantidade de biomassa elegível processada pela unidade produtora (*Qtd elegível*), as toneladas de cana-de-açúcar (biomassa) destinada a produção apenas do biocombustível etanol no setor sucroalcooleiro Paraibano na safra 2019/20. Já a quantidade total de biomassa processada na unidade produtora (*Qtd total*), será a produção total de cana-de-açúcar do Estado, destinado tanto para produção de etanol como para a produção de açúcar da mesma safra.

Os valores adotados e o resultado da fração do volume de etanol elegível, estão na Tabela 10, com dados advindo do inventário do setor sucroalcooleiro paraibano na safra (2019/20).

**Tabela 10** - Cálculo da fração do volume de etanol elegível do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).

<i>f elegível</i> = ( <i>Qtd elegível</i> / <i>Qtd total</i> ) * 100 (3)	
Anidro / Hidratado	Descrição
<i>Qtd elegível</i> = 5714,9 mil t cana	Cana-de-açúcar destinada para produção de Etanol na Paraíba, safra (2019/20)
<i>Qtd total</i> = 6719,602 mil t cana	Cana-de-açúcar total destinada para produção de Açúcar e Etanol na Paraíba, safra (2019/20)
<i>f elegível</i> = (5714,9 / 6719,602) * 100 <i>f elegível</i> = <b>85,05 %</b>	A fração do volume elegível Paraibano é de 85,05 %

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados da pesquisa, 2020.

Assim, a fração do volume etanol elegível do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20) é de *f elegível* = **85,05 %**, Tabela 10.

Dirigindo-se para o cálculo do fator para emissão de CBIO, teremos dois caminhos com parâmetros e resultados específicos para cada tipo de biocombustível, divididos em: fator para emissão de CBIO do etanol anidro (*f anidro*) e fator para emissão de CBIO do etanol hidratado (*f hidratado*).

Os parâmetros referentes a cada biocombustível e o resultado do fator para emissão de CBIO do etanol anidro e hidratado do setor sucroalcooleiro paraibano na safra (2019/20), estão na Tabela 11.

**Tabela 11** - Cálculo do fator para emissão de CBIO do etanol anidro e hidratado do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).

$f = NEEA * (f \text{ elegível} / 100) * p * PCI (2)$	
Anidro	Hidratado
Parâmetros para calcular o fator de emissão de CBIO Paraibano:	
$NEEA = 50,1 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$	$NEEA = 49,7 \text{ g CO}_2\text{eq/MJ}$
$f \text{ elegível} = 85,05 \%$	$f \text{ elegível} = 85,05 \%$
$p = 0,791 \text{ t/m}^3$	$p = 0,809 \text{ t/m}^3$
$PCI = 28,26 \text{ MJ/kg}$	$PCI = 26,38 \text{ MJ/kg}$
Substituindo os parâmetros na equação (2), temos:	
$f \text{ anidro} = 50,1 * (0,791 * 28,26) * 0,8505$	$f \text{ hidratado} = 49,7 * (0,809 * 26,38) * 0,8505$
$f \text{ anidro} = 952,49057 \text{ g CO}_2 \text{ eq/litro}$	$f \text{ hidratado} = 908,09862 \text{ g CO}_2 \text{ eq/litro}$
<b><math>f \text{ anidro} = 9,5249057\text{E-}04 \text{ t CO}_2 \text{ eq/litro}</math></b>	<b><math>f \text{ hidratado} = 9,0809862\text{E-}04 \text{ t CO}_2 \text{ eq/litro}</math></b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Diante dos resultados na Tabela 11, o valor do fator para emissão de CBIO do etanol anidro é de  **$f \text{ anidro} = 9,5249057\text{E-}04 \text{ t CO}_2 \text{ eq/litro}$** , e para o fator de emissão de CBIO do etanol hidratado temos um valor de  **$f \text{ hidratado} = 9,0809862\text{E-}04 \text{ t CO}_2 \text{ eq/litro}$** .

O fator de CBIO é de extrema importância para a emissão dos CBIOs, quando multiplicado pelo volume de combustível em litros vendido, informado na Nota Fiscal Eletrônica (NF-e), ditará a quantidade de CBIOs a serem escriturados pelo produtor primário.

Estimando a emissão potencial de CBIOs do setor sucroalcooleiro paraibano para o mercado, ou seja, o valor potencial de CBIOs que o mercado do etanol anidro e hidratado paraibano possui para atender/vender aos distribuidores de combustível, para que possam cumprir com as metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores de efeito estufa aplicáveis a todos os distribuidores de combustíveis. Metas essas, estabelecidas anualmente pela ANP.

É feita a simulação da emissão potencial de CBIOs, baseados no princípio básico da potencialidade de que todo o etanol anidro e hidratado produzido na safra (2019/20) do setor

sucroalcooleiro paraibano pode ser comercializado. Assim, para o parâmetro de Volume de Biocombustível Comercializado para o cálculo do CBIO Paraibano, utilizaremos os volumes da produção paraibana de etanol anidro e hidratado na safra (2019/20). Os mesmos serão multiplicados de acordo com o fator de emissão de CBIO específico de cada biocombustível, como dita a RenovaBio a respeito da emissão de CBIOs.

Na Tabela 12 os parâmetros referentes a cada biocombustível, o resultado do CBIO anidro e hidratado e por fim, o valor da emissão potencial do CBIO total do setor sucroalcooleiro paraibano na safra (2019/20).

**Tabela 12** - Cálculo da emissão potencial do CBIO total do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20).

<i><b>CBIO = f * Volume de Biocombustível Comercializado (1)</b></i>	
<i><b>CBIO total PB = CBIO Anidro PB + CBIO Hidratado PB (4)</b></i>	
Anidro	Hidratado
Parâmetros para calcular o potencial de CBIO total da Paraíba:	
<i>f anidro</i> = 9,5249057E-04 t CO2 eq/litro	<i>f hidratado</i> = 9,0809862E-04 t CO2 eq/litro
<i>Volume de Etanol anidro Comercializado (2020/19)</i> = 193.308.000 litros	<i>Volume de Etanol Hidratado Comercializado (2020/19)</i> = 239.455.000 litros
Substituindo os parâmetros na equação (1), temos:	
CBIO Anidro PB = 9,5249057E-04 t CO2 eq/litro * 193.308.000 litros <b>CBIO Anidro PB = 184.124,0 t CO2 eq</b>	CBIO Hidratado PB = 9,0809862E-04 t CO2 eq/litro * 239.455.000 litros <b>CBIO Hidratado PB = 217.448,75 t CO2 eq</b>
Substituindo em (4), temos:	
<i>CBIO total PB</i> = 184.124,0 t CO2 eq + 217.448,75 t CO2 eq <b>CBIO total PB = 401.572,0 t CO2</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

O Estado da Paraíba atrelado ao seu setor sucroalcooleiro na safra (2019/20), tem potencial de emitir ao mercado um total de **401.572,0 CBIOs** a serem negociados com os distribuidores de combustível em atendimento das metas individuais. Este valor do CBIO, segundo Potrich (2019) deverá ser comercializado pelas instituições financeiras na bolsa de valores, abrindo concorrência para os biocombustíveis disputar com o preço de petróleo.

De acordo com NOVACANA (2019) a Usina Vale do Paraná (SP), obteve uma produção de 408,5 mil CBIOs, valor superior ao encontrado nesta pesquisa, com cálculo

previsto aproximado de obter R\$ 14 milhões com a venda dos CBIOs. Dessa maneira para o estado da Paraíba pode se estimar um ganho de aproximadamente **R\$ 13,7 milhões** na venda dos CBIOs.

Sabe-se, por outro lado que a ANP, em 20/03/2020, publicou o DESPACHO Nº 263, DE 19 DE MARÇO DE 2020 que estabelece as metas individuais compulsórias, por distribuidor de combustíveis, de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa, que vigorarão até 31 de dezembro de 2020 (ANP, 2020b). As metas são estabelecidas em unidades de CBIO, e calculadas a partir da meta compulsória anual definida pela Resolução CNPE nº 15, de 24 de junho de 2019. A meta total de CBIOs dos distribuidores de combustível para o ano de 2020 de 28,7 milhões de CBIOs.

Essa tônica discursiva conota que o setor sucroalcooleiro paraibano tem potencial de contribuir com a emissão **401.572,0 CBIOs** para a meta total dos distribuidores de combustível, este valor representa **1,4%** do total de CBIOs estimados para meta total de 2020, contribuindo com uma potencial redução de **401.572,0 t CO<sub>2</sub>** de serem lançadas para camada de ozônio

Por sua vez, as comercializações de CBIOs acontecerão anualmente até uma data determinada pela ANP, quando analisará a carteira do distribuidor e definirá se ele está passível, ou não, a alguma penalização de acordo com o comprimento da meta pré-determinada. Como os CBIOs estarão disponíveis em um mercado aberto, qualquer pessoa poderia comprar os títulos, com o mercado indo além das distribuidoras.

Entretanto, como as distribuidoras terão uma meta de CBIOs a serem adquiridos anualmente, eles precisarão fechar negócio com os produtores e acumulando os créditos para cumprir com as metas e não sofrer as punições referidas em lei.

E em razão dessas situações, com a possível negociação dos CBIOs, o Estado da Paraíba tem potencial para gerar investimentos, reestruturar o setor, gerar emprego, fazer aquisição de novas tecnologias para uma maior eficiência do sistema produtivo e assim poder sair da crise que vem assombrando durante anos.

Ao considerar os referidos aspectos, é importante situar que no atual momento da pesquisa, o processo de finalização de como irão ocorrer as negociações dos CBIOs e outros elementos, ainda encontram-se em discursão e construção, dificultando uma análise mais aprofundada deste cenário. Uma ferramenta a ser disponibilizada por empresa contratada pela ANP, a Plataforma CBIO, está em pleno desenvolvimento. Essa ferramenta irá contribuir na prestação de serviços de informática com vistas à geração das informações necessárias à garantia da fiel emissão de CBIOs e acompanhamento e controle das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores de efeito estufa dos distribuidores de combustíveis.

E ainda, com uma maior produção e comercialização dos biocombustíveis o mercado nacional diminuirá a dependência por combustíveis fósseis e terá uma matriz energética ainda mais sustentável. Atendendo assim, com os resultados esperados da RenovaBio.

#### **4.4 Análise da Pré-certificação das Unidas Produtoras Paraibanas em processo implementação do RenovaBio**

A adesão das unidades produtoras a Política Nacional de Biocombustíveis é de grande importância para o desenvolvimento econômico e ambiental dos biocombustíveis, a consolidação e o sucesso do programa, como também, a relação da obrigatoriedade de obter determinado número de Créditos de Carbono por ano pelo distribuidor, que terá de demandar mais CBIOs, e assim o produtor/importador será obrigatoriamente estimulado a produzir mais. Ou seja, êxito do Programa RenovaBio está relacionado a adesão e implementação das UPs. A LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017, no Capítulo III, aborda elementos sobre as metas compulsórias anuais e possíveis penalidades (BRASIL, 2017a):

Art. 9º O não atendimento à meta individual sujeitará o distribuidor de combustíveis à multa, proporcional à quantidade de Crédito de Descarbonização que deixou de ser comprovada, sem prejuízo das demais sanções administrativas e pecuniárias previstas nesta Lei e na Lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999, e de outras de natureza civil e penal cabíveis.

Parágrafo único. A multa a que se refere o caput deste artigo poderá variar, nos termos do regulamento, entre R\$ 100.000,00 (cem mil reais) e R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais).

Art. 10. Serão anualmente publicados o percentual de atendimento à meta individual por cada distribuidor de combustíveis e, quando for o caso, as respectivas sanções administrativas e pecuniárias aplicadas.

No geral, em todo o país já são 140 unidades produtoras de biocombustível que aderiram a RenovaBio em busca da certificação, e esse número só vem aumentando ANP (2020a). Ao considerar essa perspectiva, as unidades produtoras de biocombustível etanol da Paraíba, se comparado aos outros estados do nordeste brasileiro, são destaque na adesão ao Programa

RenovaBio. O Estado possui sete usinas que produzem etanol, destas, cinco unidades produtoras já aderirão a nova política. Ou seja, 71,4% dos produtores de biocombustível etanol paraibanos no primeiro ano da RenovaBio já aderiram ao processo de obtenção do Certificado de Produção Eficiente de Biocombustíveis e contribuindo assim, para disseminação e possível trunfo do programa.

As cinco unidades produtoras possuem grande representatividade perante todo o setor sucroalcooleiro paraibano, somadas, a área total das unidades obtém um total de 99.420,5 ha. Dados apresentados no Relatório de Verificação da Produção Eficiente de Biocombustível e na RenovaCalc de cada unidade, referente ao ano de 2018 (SGS, 2020). Isso representa um percentual de cerca de 81,42% da área total de todo o setor sucroalcooleiro paraibano, se comparado com os dados da safra de 2018/19 (122.100 ha).

Destas, uma encontra-se totalmente certificada, concluindo todos os processos de certificação e as outras quatro estão nas últimas etapas da certificação (Tabela 5). É importante relatar que estes dados sofrem constantes atualização, e os dados relatados foram atualizados em 19/03/2020. (ANP, 2020a)

As etapas dos processos administrativos de certificação RenovaBio e a número de usinas, de cada estado do Nordeste, em cada etapa administrativa comparado ao total nacional, Tabela 13.

**Tabela 13** - Processos Administrativos de Certificação Renovabio – atualizado em 19/03/2020.

Estados	Contratações Comunicadas	Consultas Públicas Em Análise pela ANP	Consultas Públicas Aguardando Cumprimento de Pendências	Consultas Públicas Aprovadas	Consultas Públicas em Andamento	Aguardando o Envio do Relatório Final pelas Firmas Inspetoras	Relatório Final Aguardando o Análise pela ANP	Relatórios Finais Aguardando Cumprimento de Pendências pelas Firmas Inspetoras	Certificações Aprovadas	Total de Processos
AL	3				2		4			9
BA	3						1		2	6
CE							1			1
MA							1			1
PB							3	1	1	5
PE							3		1	4
PI							1			1
RN						1				1
<b>BRASIL</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>38</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>71</b>	<b>140</b>

Fonte: ANP (2020a)

Constata-se que as usinas que aderem ao RenovaBio passam por uma série de etapas até

a aquisição final do Certificado de Produção Eficiente de Biocombustível. Dentre estas etapas, três unidades produtoras paraibanas estão aguardando a análise pela ANP do relatório final, uma está fazendo os cumprimentos de pendências detectados pela firma inspetora no relatório final e temos uma unidade que já está completamente certificada pela ANP.

Com o propósito de obter a Certificação da Produção Eficiente de Biocombustível, que é parte integral do Programa RenovaBio, instituído pela Política Nacional de Biocombustíveis (Lei nº 13.576/2017). Para que uma unidade produtora de biocombustível seja completamente certificada, é preciso a contratação de firmas inspetoras credenciadas pela ANP para realizar uma auditoria *in loco*, com objetivo de verificação das informações estabelecidas pela unidade produtora na RenovaCalc, necessárias para cálculo da Nota de Eficiência Energético Ambiental.

Assim feito, será gerado pela firma inspetora um relatório da auditoria (relatório parcial de verificação da produção eficiente de biocombustível) que tornar-se-á, posteriormente, exposto e divulgado em consulta pública pelo prazo mínimo de trinta dias, com a disponibilização dos seguintes documentos (ANP, 2019a):

- a) dados preenchidos pelo produtor ou importador de biocombustível na planilha denominada “RenovaCalc” e validados pela firma inspetora;
- b) proposta de Certificado da Produção Eficiente de Biocombustível com indicação expressa da Nota de Eficiência Energético Ambiental e da fração do volume de biocombustível elegível, conforme modelo disponível no sítio eletrônico da ANP;
- c) relatório parcial sobre o processo de certificação

Por fim, o Certificado de Produção Eficiente de Biocombustíveis deve ser emitido após a aprovação do processo pela ANP.

O certificado deverá conter obrigatoriamente os seguintes itens (ANP, 2019a):

- i. Razão social, CNPJ, endereço completo, nome do responsável legal e do auditor líder da firma inspetora, conforme o escopo credenciado;
- ii. Razão social e endereço completo do produtor ou importador de biocombustível;
- iii. Identificação do certificado<sup>10</sup> formado pela sigla da firma inspetora<sup>11</sup>, número da firma inspetora na ANP<sup>12</sup>, número sequencial<sup>13</sup>, mês de emissão e ano de emissão.
- iv. Data de emissão e validade do certificado;

- v. Nota de Eficiência Energético-Ambiental calculada de acordo com a RenovaCalc;
- vi. Identificação da fração do volume de biocombustível elegível (%), relativa à produção total da unidade produtora, massa específica do biocombustível (t/m<sup>3</sup>), poder calorífico inferior (MJ/kg);
- vii. Fator para emissão de CBIO;
- viii. Descrição do produto e rota certificada.

Apresentado todos os requisitos básicos que devem conter o Relatório de Verificação da Produção Eficiente de Biocombustível para obtenção do Certificado de Produção Eficiente de Biocombustível, a Tabela 14 evidencia todos os principais dados do Relatório de Verificação da Produção Eficiente de Biocombustível das cinco unidades produtoras de biocombustível que estão em processo de certificação e já certificada no Estado da Paraíba.

Destaque para a NEEA como o principal resultado obtido da RenovaCalc e o Fator para emissão de CBIO (t CO<sub>2</sub>eq/), que é um fator calculado pela própria unidade produtora e auditado pela firma inspetora.

Os dados apresentados na RenovaCalc e nos Relatórios com a proposta de Certificado da Produção Eficiente de Biocombustível das unidades e auditado pela firma inspetora, são referentes ao ano de 2018 (Tabela 14).

**Tabela 14** - Principais dados do Relatório de Verificação da Produção Eficiente de Biocombustível das UPs da Paraíba.

	Emissor primário	CNPJ	Biocombustível	Rota	Nota de Eficiência Energético-Ambiental (gCO <sub>2</sub> eq/MJ)	Volume elegível (%)	Fator para emissão de CBIO (t CO <sub>2</sub> eq/l)	Massa específica (t/m <sup>3</sup> )	Poder calorífico inferior (MJ/K)	Firma Inspetora	Endereço Emissor Primário	Data da auditoria	Renovacalcul
1	Usina Giasa Ltda. - Pedras de Fogo - PB	31.093.639/00-01-92	Etanol hidratado	Etanol combustível de primeira geração - cana-de-açúcar	58,40	82,82%	1,032218E-03	0,809	26,38	SGS ICS CERTIFICADORA LTDA.	Rodovia PB-032, Km 13 - Pedra de Fogo -PB.	02 e 03 de outubro de 2019	V5 de 09/09/2019
			Etanol anidro		58,70		1,086731E-03	0,791	28,26				
2	USINA MONTE ALEGRE S/A. - Mamanguape - PB	09.094.632/00-02-17	Etanol hidratado		59,90	56,56%	7,230354E-04	0,809	26,38		Fazenda Monte Alegre, S/N - Zona Rural. Mamanguape/PB	09 e 10 de outubro de 2019	
			Etanol anidro		60,30		7,623868E-04	0,791	28,26				
3	Japungu Agroindustrial Ltda	09.357.997/00-01-06	Etanol hidratado		58,10	70,42%	8,731633E-04	0,809	26,38		Fazenda Japungu, S/N - Zona Rural - Santa Rita/PB.	30 de setembro e 01 de outubro de 2019	
			Etanol anidro		58,50		9,208747E-04	0,791	28,26				
4	MIRIRI ALIMENTOS E BIOENERGIA S/A	09.090.259/00-01-45	Etanol hidratado		59,20	58,84%	7,433917E-04	0,809	26,38		Fazenda Miriri, s/n. Zona Rural - Santa Rita / PB	07 e 08 de outubro de 2019	
			Etanol anidro		59,50		7,825972E-04	0,791	28,26				
5	Agro Industrial Tabu S.A.	09.053.646/00-01-01	Etanol hidratado		60,60	47,36%	6,125022E-04	0,809	26,38		Fazenda Tabu, s/nº - Zona Rural - Caaporã/PB	03 e 04 de outubro de 2019	
			Etanol anidro		61,00		6,457883E-04	0,791	28,26				

Melhores resultados

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de SGS (2020) e ANP (2020a)

Diante da Tabela 14, identifica-se que a firma inspetora credenciada pela ANP contratada por todas as cinco usinas da Paraíba foi a, SGS ICS Certificadora Ltda. A empresa, por sua vez, realizou a auditoria *in loco* das referidas unidades, entre os dias 30 de setembro a 10 de outubro de 2019.

As cinco unidades se enquadram na mesma rota E1G e produzem etanol anidro e hidratado. Referente a versão da RenovaCalc, foi utilizada a versão cinco (V5) de 09/09/2019 para o cálculo do IC e NEEA de todas unidades paraibanas.

A Usina Giasa Ltda. localizada no município de Pedras de Fogo/PB, obteve em seus resultados da RenovaCalc a segunda pior NEEA dos referidos biocombustíveis, entre as cinco unidades produtoras da Paraíba (***NEEA hidratado = 58,40 gCO<sub>2</sub>eq/MJ; NEEA anidro = 58,70 gCO<sub>2</sub>eq/MJ***), entretanto quando analisado o volume elegível de combustível a unidade possui o maior percentual elegível (***f elegível = 82,82%***). Em virtude desse resultado, faz com que a mesma alcançasse o melhor resultado do fator de emissão de CBIOs para os biocombustíveis (***f hidratado = 1,032218E-03 t CO<sub>2</sub>eq/litro; f anidro = 1,086731E-03 t CO<sub>2</sub>eq/litro***), entre as 5 unidades.

É importante lembrar que esse fator é imprescindível para geração de CBIOs, atrelado ao volume do combustível comercializado vai ditar a quantidade de CBIOs que a Giasa, ou cada usina, vai poder emitir. Ou seja, quanto maior for o fator para emissão de CBIO, mais CBIOs a empresa pode emitir e comercializar, gerando assim ganhos econômicos maiores.

Analisando a usina Japungu Agroindustrial Ltda., que está localizada no município de Santa Rita/PB, a empresa obteve a pior NEEA dos referidos biocombustíveis calculado na RenovaCalc, entre as unidades produtoras em análise (***NEEA hidratado = 58,10 gCO<sub>2</sub>eq/MJ; NEEA anidro = 58,50 gCO<sub>2</sub>eq/MJ***), contudo atingido o segundo maior percentual de volume elegível de biocombustível (***f elegível = 70,42%***), a usina pode obter o segundo melhor fator para emissão de CBIOs (***f hidratado = 8,731633E-04 t CO<sub>2</sub>eq/litro; f anidro = 9,208747E-04 t CO<sub>2</sub>eq/litro***).

O cenário apresentado pela Agro Industrial Tabu S.A., localizada no município de Caaporã/PB, é exatamente o oposto das duas usinas. A mesma obteve as melhores NEEA resultante da RenovaCalc das cinco unidades produtoras da Paraíba em análise (***NEEA hidratado = 60,60 gCO<sub>2</sub>eq/MJ; NEEA anidro = 61,00 gCO<sub>2</sub>eq/MJ***). Não obstante, a unidade registrou o pior índice de volume elegível do biocombustível etanol (***f elegível = 47,36%***). Esse percentual bem desanimador, abaixo dos 50%, cominou em grande impacto negativo no resultado do fator de CBIOs, fazendo com que a unidade alcançasse o pior fator para emissão de CBIOs (***f hidratado = 6,125022E-04 t CO<sub>2</sub>eq/litro; f anidro = 6,457883E-04 t***

**CO<sub>2</sub>eq/litro).**

Ou seja, para as unidades produtoras não adianta somente obter uma boa NEAA na RenovaCalc, é preciso, também, que possam obter um percentual de volume elegível de biocombustível representativo, para que possa obter um fator alto e conseqüentemente poder emitir e negociar mais CBIOS. O volume elegível representa o percentual de biocombustível que pode ser negociado/vendido nos termos da RenovaBio para gerar o CBIOS. Quanto mais combustível a unidade puder negociar mais CBIOS ela pode gerar.

Como visto, na Paraíba são 7 usinas que fabricam Etanol a partir do processamento da cana-de-açúcar e estão localizadas na região litorânea, regiões geográficas imediatas de João Pessoa e Mamanguape-Rio Tinto. Assim, duas usinas ainda não aderirão ao programa RenovaBio.

O levantamento de possíveis elementos para a não adesão, ainda, ao programa RenovaBio pelas Usina São José e Usina D'Pádua (antiga Usina Peniel), estão provavelmente atreladas a inviabilidade econômica de alguns pontos-chaves, como: a baixa capacidade produtiva das unidades; o nicho de mercado escolhido optando pela produção de açúcar, falta de controle adequado para levantamento das informações requeridas, e certamente a crise enfrentada pelo setor sucroalcooleiro paraibano durante os últimos anos.

A usina São José, localizada em Santa Rita/PB, é uma unidade mista produtora de açúcar e etanol. A usina possui instalações antigas e concentra-se a maior parte de suas atividades produtivas na produção de açúcar, com isso possui baixa produção de etanol, e sobre tudo vem sofrendo a alguns anos com a crise e falta de investimento no setor sucroalcooleiro paraibano.

Já a Usina D'Pádua, localizada no município de Rio Tinto/PB, é produtora apenas de Etanol. Entretanto, possui uma baixa capacidade produtiva se comparada as outras unidades paraibanas, recentemente passou por um processo de comercialização e também vem sofrendo com a falta de investimento e a crise no setor.

Corroborando com esta perspectiva, Paixão e Fonseca (2011) em seu estudo, relatam que a Usina São José e Usina Peniel (atualmente Usina D'Pádua), obtiveram as menores produções (em m<sup>3</sup>) da Paraíba, 13.533 m<sup>3</sup> e 35.841 m<sup>3</sup> respectivamente na safra de 2009/2010. Os pesquisadores ainda destacam que a dinâmica atual de produção do Estado sofre devido à grandes limitações, como: o baixo nível tecnológico de produtores e usinas de menor porte; a ausência/dificuldade de obtenção de crédito para investimentos, com altos custos financeiros e dificuldade de acesso.

É preciso uma nova reestruturação no setor sucroalcooleiro paraibano, com maiores investimentos e novas tecnologias. E o programa RenovaBio nasce como uma grande

oportunidade de retomar os investimentos do setor e com o importante papel sustentável, na redução das emissões de CO<sub>2</sub> junto a reestruturação dos biocombustíveis como fonte renovável e a produção de um combustível com menos impacto ao meio ambiente.

Inúmeros benefícios podem estar atrelados as usinas sucroalcooleiras que aderirem ao programa, focando no longo prazo e possuindo potencial para gerar investimentos com propósitos de: Renovar as lavouras; Expansão da capacidade de produção das usinas; Desenvolvimentos tecnológicos (agrícola, industrial e de infraestrutura.); a busca da redução de insumos (pesticidas e herbicidas); geração de mais empregos; sem contar no novo mercado relacionado a emissões dos CBIOs, gerando renda extra para as empresas.

Entretanto é preciso que as usinas invistam na implementação do novo programa para que cresçam e com elas todo o mercado possa crescer junto.

#### **4.5 Comparando os Resultados: Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20) versus UPs do Estado**

De posse dos resultados essenciais para obtenção da Certificação de Produção Eficiente de Biocombustível, avaliados em auditoria por meio de evidências e validação das informações inseridas na Planilha de Produtores e RenovaCalc (NEEA, Volume elegível e Fator para emissão de CBIO) das cinco UPs Paraibanas que aderiram ao Programa RenovaBio, faremos o comparativo com os resultados mensurados, neste estudo do Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20) calculados, também, com base no Programa RenovaBio e sua ferramenta RenovaCalc.

Desta forma, avalia-se o comportamento do setor, como um todo, frente as unidades produtoras que o compõe, de forma individual. Ou seja, uma análise do cenário macro e micro.

É importante lembrar que a análise do setor sucroalcooleiro paraibano, no cenário deste estudo, é estudada/investigada como sendo uma análise global nos termos da nova política nacional de biocombustíveis (RenovaBio). A política é individualizada para cada unidade produtora, entretanto o estudo faz uma análise média da perspectiva futura do cenário estadual.

A variação dos resultados comparativos obtidos pelo Setor Sucroalcooleiro Paraibano (2019/20) versus as Ups Paraibanas que aderiram a RenovaBio, Tabela 15.

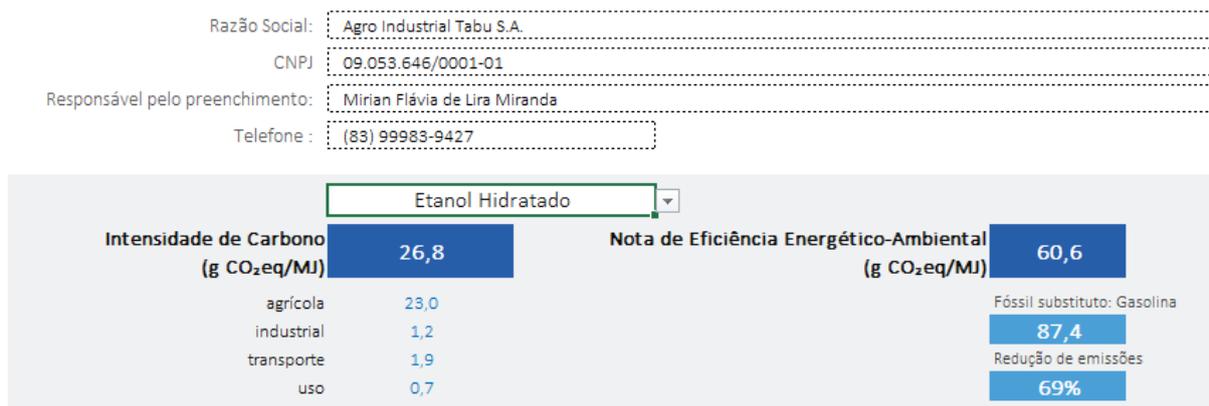


Ao compararmos o resultado da NEEA do etanol hidratado e anidro obtidas pelo Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20) com os resultados das UPs do Estado, é percebido que o setor obteve uma nota bem abaixo das UPs. Tendo a menor e maior variação percentual negativa de -14,4% e -18,0% respectivamente (Tabela 15).

Para podermos identificar a causa da expressiva variação, neste caso negativa, dos resultados frente a NEEA paraibana, se faz interessante um comparativo individual. Para isso vamos comparar com a usina Agro Industrial Tabu S.A. que obteve a maior NEEA, e conseguinte os menores IC.

A Figura 15 mostra o resultado da RenovaCalc da Agro Industrial Tabu para o biocombustível etanol hidratado, destacando os índices de cada fase produtiva que compõe o IC e resulta na NEEA.

**Figura 15** - Intensidade de carbono e NEEA da usina Tabu – Etanol hidratado



Fonte: RenovaCalc Usina Tabu, SGS (2020).

Diante da Figura 15, comparando com o resultado referente ao biocombustível “Etanol Hidratado” Parraíba (safra 2019/20) apresentado da seção 5.2 na Figura 08, identificamos que o valor da IC do etanol hidratado da usina Tabu (**26,8 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**) é expressivamente menor do que o IC Paraibano hidratado (**37,7 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**). Resultado guiado, sobretudo, pela menor emissão de CO<sub>2</sub> na fase agrícola da usina Tabu (**29,0 g CO<sub>2</sub>eq/MJ**), comparado a emissão de 34,0 g CO<sub>2</sub>eq/MJ do setor paraibano, culminando em maior NEEA por serem grandezas inversamente proporcionais.

Ou seja, a fase agrícola é a maior responsável pelas emissões de CO<sub>2</sub> do setor sucroalcooleiro paraibano, resultando em maiores IC e conseqüentemente menores NEEA. Essa análise comparativa se estende para todas as cinco UPs em avaliação.

Em razão dessas situações, tais considerações apontam que o fato de maiores emissões de CO<sub>2</sub> na fase agrícola do setor sucroalcooleiro paraibano, se dá pela utilização do caminho

metodológico, “perfil de produção padrão” (“default”), que foi utilizado pelo estudo. Como previsto anteriormente, seguir o caminho do perfil de produção padrão, ao invés do “perfil de produção específico”, acarretaria em punição (fatores de penalização) aplicadas de forma intrínseca pela RenovaCalc, obtendo uma menor eficiência do sistema produtivo, elevando assim o IC do biocombustível da unidade e conseqüentemente diminuindo a NEEA.

Essa perspectiva é totalmente comprovada pelos pesquisadores que formaram o grupo de trabalho que desenvolveu a ferramenta RenovaCalc, em seu estudo Matsuura et al. (2018) realizaram uma análise de sensibilidade atrelado a três cenários distintos: cenário base, cenário 1 e cenário 2. No cenário 2, os pesquisadores utilizaram o perfil de produção padrão para toda fase agrícola da cana própria da usina e também dos céus fornecedores. Mesmo cenário utilizado nesta pesquisa.

Segundo os autores, na análise de sensibilidade “Tipo de preenchimento da etapa agrícola – dados primário vs. Padrão”, devido à penalização pertencente ao perfil de produção padrão, ao optar por este tipo de preenchimento para sua produção de cana própria e para cada um de seus fornecedores (própria + F1 + F2), o IC aumenta em **47,5 %** do melhor, o cenário base contendo dados primário (perfil de produção específico), para o pior cenário 2 contendo dados 100% padrão. “Esta penalização visa estimular a usina a fornecer dados específicos do seu perfil de produção, e, por consequência, estimulá-los a conhecer e controlar melhor seu perfil de emissões de GEE no processo de produção” (MATSUURA ET AL., 2018, p. 153). Desta forma, a opção por utilizar o perfil de produção padrão neste estudo não significa dizer que o mesmo esteja errado ou seja inválido, e sim que ao optar por este caminho, devido à falta de dados para obter cada parâmetro estipulado na RenovaCalc em sua etapa agrícola, o estudo sofreu penalidades intrínsecas a ferramenta.

Entretanto, para podemos findar a validação do modelo de cálculo do IC e NEEA do Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20) aqui apresentado, na seção seguinte serão realizadas análises de sensibilidade (AS) do modelo paraibano, utilizando as variáveis da fase agrícola referentes ao cenário de cada usina inseridas na RenovaCalc Paraibana. Ou seja, serão utilizados os dados primários (perfil de produção específico) da fase agrícola de cada UP, atrelados aos parâmetros primários do setor que serão fixados: “Área total”, “Produção total”, “Palha recolhida” e todo o conjunto de parâmetros relacionados à etapa industrial e de distribuição preenchidos com dados primários do Setor Sucroalcooleiro Paraibano (safra 2019/20).

Paralelamente a essa situação, ao analisarmos o volume elegível (*f elegível*) e o fator para emissão de CBIO (*f hidratado e anidro*) das UPs comparados ao setor sucroalcooleiro

Paraibano, identificamos que o percentual do combustível elegível do setor paraibano é maior do que todas unidades. Tirando a usina Giasa, as outras unidades apresentam volume elegível bem abaixo do setor paraibano com variação de 14,6% a 37,7%. Resultando em um fator para emissão de CBIO Paraibano ( $f_{PB}$ ) superior quatro unidades, com variação mínima de 3,3% para o  $f_{anidro}$  e máxima de 32,6% para o  $f_{hidratado}$ . Esse resultado só é menor se comparado ao da usina Giasa.

O baixo nível de combustível elegível, afeta diretamente de forma negativa no resultado do fator para emissão de CBIO. Um exemplo dessa relação a se levar em evidência, é representada de forma bastante perceptível nos resultados da Agro Industrial Tabu S.A, ao registrar o pior índice de volume elegível do biocombustível etanol ( $f_{elegível} = 47,36\%$ ), mesmo obtendo a melhor NEEA entre todos, o baixo volume de combustível elegível resultou com que a unidade alcançasse o pior fator para emissão de CBIOs ( $f_{hidratado} = 6,125022E-04 \text{ t CO2eq/litro}$ ;  $f_{anidro} = 6,457883E-04 \text{ t CO2eq/litro}$ ), resultando em uma variação bem significativa de 32,6% do hidratado e 32,2% do anidro, comparado aos fatores de emissão de CBIOs Paraibano (Tabela 15).

O volume elegível representa o percentual de biocombustível que pode ser negociado/vendido nos termos da RenovaBio para gerar o CBIOs. Quanto mais combustível a unidade puder negociar mais CBIOs ela pode gerar.

Como a fração do volume de etanol elegível, tem como parâmetros a quantidade de biomassa (cana-de-açúcar) total e elegível processadas pelo produtor primário, é de extrema importante que os distribuidores de cana-de-açúcar (fornecedores) e a cana própria da usina, possam cumprir os critérios de elegibilidade dispostos na RenovaBio: Supressão de vegetação nativa, Situação do CAR e Zoneamento Agroecológico (critérios de elegibilidade a que se refere o art. 24 , 25 e 26 da Resolução ANP n° 758/2018).

Desta maneira, as UPs (usinas) precisam, além de investir no processo de certificação do programa RenovaBio, investir na melhoria do desempenho ambiental de seus processos produtivos e dos processos de seus fornecedores de cana-de-açúcar (biomassa), principalmente os de pequeno porte. Segundo Paixão e Fonseca (2011) o setor sucroalcooleiro paraibano é composto principalmente por pequenos produtores, que sofrem principalmente com a falta de conhecimento, investimento, mão de obra qualificada e tecnologia. As usinas precisam investir nestes produtores com:

- ✓ recursos financeiros;
- ✓ treinamento para os pequenos produtores e orientações adequadas para que os mesmos possam se adequar aos critérios de elegibilidade;

- ✓ assistência técnica capacitadas para prestação de consultoria;
- ✓ técnicas/meios de redução de insumos agrícolas que degradam o meio ambiente.

Isso irá resultar em maiores níveis de qualidade e também um maior cumprimento das normas e critérios de elegibilidade presentes no Programa RenovaBio.

#### **4.6 Verificação de Cenários por Meio da Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Energéticas das Usinas Paraibanas**

Para construirmos e verificarmos a sensibilidade de mudança de alguns cenários das usinas paraibanas, é importante lembrar e entender que apenas na “fase agrícola” a RenovaCalc possibilita a utilização do perfil de produção padrão (dados padrão estabelecidos pela ferramenta) e o perfil de produção específico (dados primários dos processos da unidade).

Para a construção da Análise de Sensibilidade dos cenários os seguintes parâmetros de entrada, essenciais solicitados na RenovaCalc referente aos dados primários do setor sucroalcooleiro paraibano (safra 2019/20), foram mantidos fixos:

- i. Informações Gerais: Área total, Área queimada, Produção total colhida para moagem, Quantidade comprada e Palha recolhida;
- ii. Fase Industrial: todos os dados relacionados à etapa industrial;
- iii. Fase de Distribuição: todos os dados da distribuição dos combustíveis comercializados.

Já os parâmetros de sensibilidade que estarão variando, serão os dados primários (perfil de produção específico) da fase agrícola coletados individualmente em cada RenovaCalc das UPs, que foram disponibilizados em consulta pública, por tempo específico, pela firma inspetora SGS (2020), a seguir:

- iv. Informações Gerais: Teor de impurezas vegetais e Teor de impurezas minerais;
- v. Corretivos: dados da quantidade média dos corretivos usados para produção total de cana colhida;
- vi. Fertilizantes Sintéticos: dados da quantidade média de todos os fertilizantes sintéticos usados para produção total de cana colhida;

- vii. Fertilizantes Orgânicos/Organominerais: dados da quantidade média de vinhaça, torta de filtro, cinzas e fuligens e outros usados para produção total de cana colhida;
- viii. Combustível e Eletricidade: dados da quantidade média relacionado aos combustíveis e eletricidade utilizados nas operações agrícolas.

Destaca-se que as unidades de cada um destes dados representam a média de utilização/consumo do parâmetro a cada tonelada de cana colhida para moagem, possibilitando a aplicação dos mesmos na análise de sensibilidade. Um exemplo claro disso: os produtores de biomassa (cana-de-açúcar) da usina Giasa consomem cerca de 2,49 kg/t cana de gesso agrícola, ou seja, em média são consumidos 2,49 kg de gesso a cada uma tonelada de cana produzida pelos produtores de biomassa.

Assim sendo, a Tabela 16 apresenta o inventário dos parâmetros de cenário e os dados de cada usina que serão inseridos na RenovaCalc Paraibana. Cada usina representa um cenário que será comparado e calculado o erro perante o resultado real de cada usina e validado o modelo (Tabela 16).

**Tabela 16** - Inventário dos parâmetros de sensibilidade - fase agrícola.

(Continua)

Parâmetro de Sensibilidade	Unidade	Usina	Usina	Usina	Usina	Usina
		Giasa	Monte Alegre	Japungu	Miriri	Tabu
		C1	C2	C3	C4	C5
<b>1. Informações Gerais</b>						
Teor de impurezas vegetais	(kg/t cana)	122,87	39,64	152,54	71,82	23,12
Teor de impurezas minerais	(kg/t cana)	28,69	21,19	11,34	5,87	20,84
<b>2. Corretivos</b>						
Calcário dolomítico	(kg/t cana)	6,20	8,49	5,62	11,34	1,63
Gesso	(kg/t cana)	2,49	1,49	0,25	0,17	0,55
<b>3. Fertilizantes Sintéticos</b>						
Urea	kg N/t cana	0,99	0,53	0,38		0,22
Fosfato monoamônico (MAP)	kg N/t cana	0,01		0,06	0,10	
Fosfato monoamônico (MAP)	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana	0,04		0,29	0,53	
Sulfato de Amônio	kg N/t cana		0,18	0,24	0,13	
Superfosfato simples (SSP)	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana	0,49	0,26	0,05		0,11
Cloreto de Potássio (KCl)	kg K <sub>2</sub> O/t cana	0,99	0,53	0,49	0,22	0,22
Outros Formulados com N	kg N/t cana	0,09	0,43	0,85	1,36	0,82

**Tabela 17** - Inventário dos parâmetros de sensibilidade - fase agrícola.

(Conclusão)

Parâmetro de Sensibilidade	Unidade	Usina Giasa	Usina Monte Alegre	Usina Japungu	Usina Miriri	Usina Tabu
		C1	C2	C3	C4	C5
Outros Formulados com P	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t cana	0,04	0,10	0,05	0,16	0,23
Outros Formulados com K	kg K <sub>2</sub> O/t cana	0,12	0,57	1,39	1,93	1,36
<b>4. Fertilizante Orgânico/Organominerais</b>						
Vinhaça	L/t cana	1938,14	1114,13	1348,33	1555,18	3763,50
Torta de Filtro	kg/t cana	21,14	60,31	26,73		4,68
Cinzas	kg/t cana	10,62	24,62	0,50	8,79	1,10
<b>5. Combustíveis e Distribuição</b>						
Diesel - B8	L/t cana	0,30	0,51	0,91	0,50	0,58
Diesel - B10	L/t cana	4,80	3,91	3,80	2,55	3,02
Gasolina C	L/t cana	0,01		0,02	0,02	0,04
Etanol Hidratado	L/t cana	0,13	0,37	0,20	0,12	0,28
Eletricidade da Rede - mix médio	kwh/t cana	5,27	5,21	4,49	10,46	1,38

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Na Tabela 17 possui o resultado obtido do NEEA PB referente a simulação de cada cenário e o erro absoluto e percentual do comparativo entre o resultado real da NEEA do etanol hidratado e anidro das UPs paraibanas e o resultado do NEEA PB simulado.

**Tabela 18** - Validação do Modelo - NEEA Real x NEEA PB Simulado

		NEEA REAL		NEEA PB SIMULADO		ERRO Hidratado		ERRO Anidro	
		Hidratado	Anidro	Hidratado	Anidro	Absoluto	%	Absoluto	%
C1	Usina Giasa Ltda.	58,40	58,70	58,70	59,00	0,30	<b>0,51%</b>	0,30	<b>0,51%</b>
C2	Usina Monte Alegre S/A.	59,90	60,30	59,00	59,30	0,90	<b>1,50%</b>	1,00	<b>1,66%</b>
C3	Japungu Agroindustrial Ltda	58,10	58,50	58,30	58,70	0,20	<b>0,34%</b>	0,20	<b>0,34%</b>
C4	Miriri Alimentos e Bioenergia S/A	59,20	59,50	57,90	58,30	1,30	<b>2,20%</b>	1,20	<b>2,02%</b>
C5	Agro Industrial Tabu S.A.	60,60	61,00	62,10	62,40	1,50	<b>2,48%</b>	1,40	<b>2,30%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Nessa abordagem, percebe-se que o erro absoluto e percentual entre o resultado real da NEEA do etanol hidratado e anidro das UPs paraibanas, o qual foi calculado pelas próprias usinas e auditado, e o resultado simulado da NEEA do etanol hidratado e anidro do setor sucroalcooleiro paraibano, utilizando os parâmetros de sensibilidade da fase agrícola de cada cenário das UPs, foram muito menores do que aqueles calculado e comparados na Tabela 07, utilizando o perfil de produção padrão para o setor sucroalcooleiro paraibano.

O erro percentual ficou abaixo de 2,50% e em alguns casos o erro é tão pequeno que pode ser desconsiderado, mostrando que o modelo simulado e a metodologia adotada pelo estudo, mesmo usando dados padrão, está em total sintonia com a realidade.

O cenário C1, que utilizou os parâmetros de sensibilidade da fase agrícola da usina Giasa na RenovaCalc do setor Paraibano, comparado com a NEEA Real da usina, obteve um erro de apenas **0,51%** para ambos combustíveis, hidratado e anidro. Seguindo a mesma metodologia, o cenário C2 utilizou os parâmetros de sensibilidade da fase agrícola da usina Monte Alegre na RenovaCalc do setor Paraibano, e o erro da NEEA do combustível etanol hidratado e anidro foram **1,50%** e **1,66%** respectivamente. Utilizando dados da Japungu, no cenário C3 o erro foi de **0,34%** para os dois combustíveis. Já o cenário C4 com parâmetros advindo da usina Miriri, ao ser comparado com a NEEA Real teve erro de **2,20%** para o etanol hidratado e **2,02%** no anidro. E por fim, o cenário C5 que utilizou os parâmetros de sensibilidade da fase agrícola da usina Tabu na RenovaCalc do setor Paraibano, comparado com a NEEA Real da usina, foi o que teve os maiores erros: **2,48%** referentes ao etanol hidratado e **2,30%** para o etanol anidro.

Assim, os erros encontrados entre as medidas reais e simuladas estão bem abaixo do erro de 5% comumente aceitável na validação de modelos. Logo, temos forte indícios para total validação do modelo calculado para o setor sucroalcooleiro paraibano, atrelado aos elementos metodológicos utilizadas por este estudo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação do Programa RenovaBio com o setor sucroalcooleiro paraibano possui completo potencial para reestruturação econômica e sustentável do setor, atrelando a sustentabilidade e eficiência produtiva ao negócio da economia de baixo carbono; A produção e possível comercialização do biocombustível anidro e hidratado o setor pode contribuir com uma potencial redução de 401.572,0 t CO<sub>2</sub> de serem lançadas para camada de ozônio, e, gerar cerca de 401 mil CBIOs, gerando lucro de R\$13,7 milhões no setor;

No cenário macro (setor sucroalcooleiro paraibano safra 2019/20) e o cenário micro (as UPs que compõem o setor no Estado), os índices de emissões obtiveram valores mais elevados e que conseqüentemente reduzem a NEEA, chegando a obter redução percentual em certa de 18,0%, comparado as usinas do estado que utilizaram o “Perfil de Produção Específico”. Ademais, a penalidade tem o intuito de estimular a usina a fornecer dados específicos (reais) dos processos produtivos, e, por conseguinte, incita-los a conhecer e possivelmente mitigar as emissões de GEE no processo de produção. Em contraposição, o perfil padrão é uma oportunidade/incentivo para promover a ampla disseminação e adoção da certificação por um maior número de produtores/importadores e UPs de pequeno porte, por ser menos oneroso, reduzir o custo com a etapa da certificação porque, como gera menos informações a serem validadas nas auditorias consome menos horas da firma inspetora, não precisa contratar empresa de consultoria, tornando o processo menos complexo e mais ágil, posteriormente a empresa pode investir mais a fundo na acurácia dos dados.

Para obter resultados máximos do Fator para emissão de CBIOs e assim poder gerar mais CBIO para o mercado, as UPs precisam, também, obter um percentual de Volume elegível de biocombustível representativo, próximos a 90%.

Recomenda-se a adesão ao Programa RenovaBio as duas UPs do Estado da Paraíba, como também a outras UPs nacionais que possuam características semelhantes às encontradas nestas unidades, na forma mais simples atualizando o preenchimento dos dados no “Perfil de Produção Padrão” tomando por base esse estudo e seguindo assim todas etapas apresentadas.

Assim, em mais uma recomendação/sugestão técnica, recomenda-se que as UPs apliquem políticas de investimento e incentivo a práticas de sustentáveis, que visem a melhoria do desempenho ambiental de seus processos produtivos e dos processos de seus fornecedores de biomassa (cana-de-açúcar), sobretudo os de pequeno e médio porte.

O modelo utilizado é válido tanto para aplicação com dados padrões ou específicos das UPs do Estado. A partir dos resultados, permitiu uma análise comparativa entre o simulado e o real e a disparidade existente entre eles, com erros abaixo de 2,50%.

A RenovaCalc, ferramenta de avaliação de ciclo de vida, dispõe de uma elevada capacidade de diferenciação entre diferentes perfis de produção de biocombustíveis: padrão e específico. De fácil utilização e compreensão, possui uma ampla e moderna base de dados que tem sensibilidade aos principais parâmetros de entrada solicitados e as fases produtivas, como percebido nas variações de IC e NEEA entre os cenários analisados.

Essa foi a primeira aplicação da RenovaCalc no cenário Estadual aplicada ao Setor Sucroalcooleiro, portanto, é necessário realizar outros estudos aplicando a Metodologia em outros estados Brasileiro e comparar com os resultados obtidos individualmente pelas UPs.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2014a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2014b.

ACORDO DE PARIS. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação – MTIC. **Decreto nº 9.073/2017**. 2017.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. **INFORME TÉCNICO nº 02/SBQ v. 3**. 2019a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/prod-fornecimento-biocombustiveis/renovabio/informe-tecnico-02-v3.pdf>>. Acesso em: 28 de Março de 2020.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. **Resolução ANP Nº 758, de 23.11.2018** - DOU 27.11.2018. 2018. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2018/novembro&item=ranp-758-2018>>. Acesso em: 28 de Março de 2020.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **INFORME TÉCNICO nº 03/SBQ v. 1 em 10/09/2019**. 2019b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/producao-fornecimento-biocombustiveis/renovabio/informe-tecnico-03.pdf>> . Acesso em: 28 de Março de 2020.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. **Boletim do etanol nº9/2017**. Superintendência de refino, processamento de gás natural e produção de biocombustíveis. 13p., 2017.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. **RESOLUÇÃO Nº 19, DE 15 DE ABRIL DE 2015**, 2015.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. **O Boletim do Etanol**. 2019d. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/etanol/fornecedor-de-etanol-para-fins-automotivos-2>>. Acesso em: 30/07/2019.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. **Certificados da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis**. Atualizado em 19/03/2020. 2020a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente>> . Acesso em: 19/03/2020.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. **RESOLUÇÃO ANP Nº 802, DE 05.12.2019**. Estabelece os procedimentos para geração de lastro necessário para emissão primária de Créditos de Descarbonização, de que trata o art. 14 da Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e altera a Resolução ANP nº 758, de 23 de novembro de 2018. 2019c.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis-ANP. **DESPACHO Nº 263, DE 19 DE MARÇO DE 2020. Metas individuais compulsórias por distribuidor de**

**combustíveis**. 2020b. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/despacho-n-263-de-19-de-marco-de-2020-249027109>>. Acesso em: 10/05/2020.

ALMEIDA, Ítalo José Lopes de. **Análise da geração de energia elétrica através da biomassa da cana-de-açúcar: um estudo de caso**. 2018. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Mestrado Profissional em Energia Elétrica. Natal, RN, 2018.

AMORIM, F.R.; PATINO, M.T.O.; MARCOMINI, G.R. Sustentabilidade da produção de cana de açúcar em Usinas no Estado de São Paulo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1133-1145, 2018.

ANDRADE, M.C. Inovações Tecnológicas no setor sucroalcooleiro: determinantes, estágios vigente e perspectivas no contexto brasileiro (2005-2014). **Revista Brasileira de Gestão e Inovação – Brazilian Journal of Management & Innovation**, v.4, n.3, p89-105, 2017

ANDREOLI, Claudinei. Convergência de agricultura e energia: produção de biomassa celulósica para biocombustíveis e eletricidade. **Revista Economia e Energia**, v. 11, n. 66, p. 3-13, 2008.

ARBEX, Marcos Abdo et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. **J. bras. pneumol. [online]**. 2012, vol.38, n.5, pp. 643-655. ISSN 1806-3713.

BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, entre 2005 e 2009. **Nova Economia**, v. 25, n.1, p. 209-224, 2015.

BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. **Meio Ambiente guia prático e didático**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2013. 256p. ISBN: 978-85-365-0396-7.

BATISTA, C. R.; MENDONÇA, I. D. N. AVALIAÇÃO DA MECANIZAÇÃO SOBRE O MERCADO DE TRABALHO NA LAVOURA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, v. 8, n. 2, p. 50 - 86. 2020.

BRANCO, J. E. H.; BARTHOLOMEU, D. B.; VETTORAZZI, A. C. Avaliação das emissões de co2 na etapa de transporte do etanol: aplicação de um modelo de otimização. **Transportes**, v. 28, n. 1, p. 63-80, 2020.

BRASIL, Ministério De Minas E Energia. **Nota Explicativa Sobre A Proposta Da Criação Da Política Nacional De Biocombustíveis**. 2017b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/36224/459938/Nota+Explicativa+RENOVABIO+-+Documento+de+CONSOLIDACAO+-+site.pdf/dc4b6756-d7ca-ab6a-4aac-226c4b8bf436>>. Acesso em: 28 de Março de 2020.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Renovabio**. 2018c

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, v. 6 -Safra 2019/20**, n. 1 -Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-58, maio de 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9.308, de 15 de março de 2018**. Dispõe sobre A Definição das Metas Compulsórias Anuais de Redução de Emissões de Gases Causadores do Efeito Estufa Para A Comercialização de Combustíveis de Que Trata A Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. 2018a

BRASIL. **Decreto nº 9.888, de 27 de junho de 2019**. Dispõe sobre a definição das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis de que trata a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. 2019a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9888.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9888.htm)>. Acesso em: 28 de Março de 2020.

BRASIL. **Decreto nº 9.964, de 8 de agosto de 2019**. Altera o Decreto nº 9.888, de 27 de junho de 2019, para dispor sobre critérios, procedimentos e responsabilidades para regulação e fiscalização da Certificação de Biocombustíveis e do lastro do Crédito de Descarbonização da Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio. 2019b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/D9964.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9964.htm)>. Acesso em: 28 de Março de 2020.

BRASIL. **Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. 2017a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm)>. Acesso em: 18 de Agosto de 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Instrumentos Renovabio**. 2018b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. RenovaBio. **Justificativa Renovabio**. 2017c. Disponível em: <<https://www.ubrablo.com.br/sites/1800/1891/PDFs/20170320RenovaBioConsultaPA%C2%BAblicaUbrablo.pdf>>. Acesso em: 17 de Março de 2020.

CARVALHO, G.R.; OLIVEIRA, C. O setor sucroalcooleiro em perspectiva. **Circular técnica, 10. Embrapa**, p.1-18, 2006.

CASTRO, SB de; ANDRADE, S. A. C. **Engenharia e tecnologia açucareira**. CTG (Centro de Tecnologia e Geociências), Universidade Federal do Pernambuco, Departamento Engenharia Química, Recife, 2006.

CAVALETT, O., CHAGAS, M. F., SEABRA, J. E., & BONOMI, A.. Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 18(3), 647-658. 2013

**Centro de Tecnologia Canaveira – CTC**. 2019. Disponível em <http://www.ctcanaveira.com.br/etanol2g.html>. Acesso em: 29/08/2019.

CHAROUX, O. M. G. **Metodologia: processo de produção, registro e relato do conhecimento**. 3. ed. São Paulo: DVS Editora, 2006.

CHERUBINI, F., ULGIATI S. Crop residues as raw materials for biorefinery systems—a LCA case study. **Appl Energ** 87:47–57. 2010.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Tecnologia e Fabricação do Álcool. Inhumas: E-tec Brasil**, 2012. 74 p.

CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. Inovação na indústria Sucroalcooleira Paulista: determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **RESR**, Piracicaba, SP, v. 48, n. 4, p. 543-565, 2010.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas. Cana-de-açúcar (Indústria; Agrícola; Área Total)**. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 24/fev. 2020.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Perfil do setor de açúcar e do álcool no Brasil**. Brasília: 2013. (Volume 5 – safra 2011/2012).

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana de açúcar. Safra 2018/2019, v.5, i. Primeiro Levantamento**, Brasília, p.1-62, 2018.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana de açúcar. v. 6 - Safra 2019/20, n. 1 - Primeiro levantamento**, Brasília, p. 1-58, maio de 2019a.

CONAB. **Indic. Agropec.**, Brasília, Ano XXVIII, n.1, Janeiro 2019b, p. 01-118

CONAB. **Indic. Agropec.**, Brasília, Ano XXVIII, n.3, Março 2019c, p. 01-96

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil /Companhia Nacional de Abastecimento. – v. 1(2017) – Brasília : Conab**, 2017. 67p.

CONSECANA-SP. **Manual de Instruções**. 2016. Disponível em: <[http://www.orplana.com.br/manual\\_2006.pdf](http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf)> Acesso em: 30/07/2019.

CORREA, G. G. et al. Perfil socioeconômico das populações expostas a resíduos da exploração de petróleo. **Rev. bras. epidemiol. [online]**. 2011, vol.14, n.3, pp. 372-385. ISSN 1415-790X.

COUTINHO, J. S. et al. Barreiras na produção de cana-de-açúcar no estado da Paraíba (PB). **Exacta – EP**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 319-336, 2016. DOI: 10.5585/ExactaEP.v14n2.6410

CREMONEZ, Paulo André et al. Biofuels in Brazilian aviation: Current scenario and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1063-1072, 2015.

CRUZ, C.H.B. et al. **Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. Luís Augusto Barbosa Cortez (org.). – São Paulo: Blucher, 2016. 224 p.

CURI, D. **Gestão Ambiental**. São Paulo: Pearson, 2011. 312p. ISBN: 978-85-7605-698-0

DA SILVA, M. W.; PEREIRA, N. C.; ZAPPAROLI, I. D. **Metodologia da aplicação da avaliação do ciclo de vida (ACV) no etanol combustível por meio do software simapro**. In: II Simpósio de Bioenergia e Biocombustíveis do Mercosul, 2014.

DAVIS, S. C.; HAY, W.; PIERCE, J. Biomass in the energy industry: an introduction. **London (GB): BP plc**, 2014. Disponível em: <[http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/sustainability/groupreports/ESC\\_biomass\\_handbook.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/sustainability/groupreports/ESC_biomass_handbook.pdf)>. Acesso em: 28/08/2019.

DÍAZ, Marco Antonio Díaz. **Análise do ciclo de vida do etanol brasileiro visando à certificação ambiental**. Rio de Janeiro, 2011. 115p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: produção e uso de energia**. Brasília: EPE, 2016. 97 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>>. Acesso em: 21 de Julho de 2019.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Crop yield response to water**. Rome: FAO, 2012. 505p. (Irrigation and Drainage, paper 66).

FERNANDES, I.O.L., **Avaliação energética e ambiental da produção de óleo de dendê para biodiesel na região do baixo sul, Bahia**. 2009 151f. 2009. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente)-Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PRODEMA). Ilhéus: UESC.

FIALHO, M.L.; ADORNO, P.A.; LIMA, J.I.C.; REIS, K.P.; OLIVEIRA, R.B. O uso de agrotóxicos na cultura de cana-de-açúcar e os principais riscos à saúde do trabalhador rural. **Revista científica integrada**, v.3, n .4, p. 1-11, 2018.

FREDO, C. E.; SALLES-FILHO, S. L. M. Tecnologia X Emprego no setor Sucroalcooleiro de São Paulo. **Rev. de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 59, n. 1, p. 05-22, 2012.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. Biocombustíveis. FGV Energia. Rio de Janeiro: **FGV Energia**, Agosto 2017 | ano 4 | nº 8 | ISSN 2358-5277

GARCIA, J. R. **O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel Brasileiro e a Agricultura Familiar na Região Nordeste**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GARCIA, JR. R.; LUNAS LIMA, D. A. L. L.; PINTO VIEIRA, A. C. P. A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: Panorama e Perspectivas. **Revista Econômica Contemporânea**, v. 19, n. 1, p. 162-184, 2015

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, A.S.; GOMES,C.R.A. **Classificação dos tipos de pesquisa em Informática na Educação**. Jaques, Patrícia Augustin; Pimentel, Mariano; Siqueira; Sean; Bittencourt, Ig.(Org.) Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação: Concepção da Pesquisa. Porto Alegre: SBC, 2019, p.66, 2019.

GONÇALVES, K.Y.; BLOCK, N.C.S.; CORRÊA, E.G.; NEGRÃO, P.H.B.; COSTA, G.S.A. **Processo produtivo do etanol hidratado a partir da cana-de-açúcar**. In: IX Encontro de Engenharia de produção agroindustrial, 2015.

GONZÁLEZ-GARCÍA S., MOREIRA M.T., FEIJOO G. Comparative environmental performance of lignocellulosic ethanol from diferente feedstocks. **Renew Sustain Energy**, Rev 14:2077–2085, 2010.

Granbio. **BioVertis: Cana-energia** Apresentação CTBE 30 de março de 2017. Disponível em: <[http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/04/Jose\\_Bressiani\\_2017\\_03\\_30\\_Cana\\_energia\\_Granbio\\_CTBE.pdf](http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/04/Jose_Bressiani_2017_03_30_Cana_energia_Granbio_CTBE.pdf)>. Acesso em: 24/fev. 2020.

GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial crops and products**, v. 129, p. 201-205, 2019.

HALLEUX H., LASSAUX S., RENZONI R., GERMAIN A. Comparative life cycle assessment of two biofuels: ethanol from sugar beet and rapeseed methyl ester. **Int J Life Cycle**, 13(3):184–190, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Senso Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**, 2019. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html)>. Acesso em: 14/05/2020.

IRIYA, H.K.; OLIVEIRA, C.M.; BERTO, A. R. Setor sucroalcooleiro: análise das exportações brasileiras. **Revista de Ciências Empresarias**, v.2, n.4, p.1-11, 2009.

LIMA, L.R.; MARCONDES, A.A. **Álcool carburante: uma estratégia brasileira**. Editora UFPR, 248p. 2002.

MACEDO I.C., SEABRA J.E.A., SILVA J.E.A.R.. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and bioenergy**, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008.

MACEDO, I. C.. Sugar cane's energy—Twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability. **São Paulo: UNICA-Sao Paulo Sugar Cane Agroindustry Union**, 2005.

MACHADO, A.M.; VIEIRA, J.C.L.; BOCCALETTI, H.; SURIAN, S.S. **Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia**, V.7 N.13, p.1-12, 2018.

MARACAJÁ, K. F. B; ARAÚJO, L. E.; SILVA, V. de P. R. Regionalização da Pegada Hídrica do Estado da Paraíba. **Reunir**, v. 14, n. 1,p.105-122, 2014.

MATSUURA, M. D. S. et al. **A RenovaCalc aplicada ao biocombustível etanol de cana-de-açúcar**. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., 2018, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: Ibict, 2018., 2018.

MATSUURA, M. D. S. et al. **Avaliação de ciclo de vida: proposta de avaliação de desempenho ambiental e certificação para o Programa RenovaBio**. 2017. Disponível em: <<https://ubrabilio.com.br/sites/1800/1891/PDFs/EXPANDMG/30Ago17RenovaCalcAvaliaAAodeCiclodeVidaR.pdf>>. Acesso em: 17 de Março de 2020.

MELO, M. C. de R. **Políticas públicas brasileiras de biocombustíveis: estudo comparativo entre os programas de incentivos à produção, com ênfase em etanol e biodiesel**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1172>.

MILANEZ, Artur Yabe et al. Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 31, p. 49-98, mar. 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Acompanhamento da Produção Sucroalcooleira**. 2020. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/acompanhamento-da-producao-sucroalcooleira>>. Acesso em: 20 de Março de 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Renováveis devem manter participação de 43% na matriz energética em 2017**. 2017.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**. Edição nº80, 2014.

MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA – MME . **RenovaBio: Perguntas e Respostas**. 2019. Disponível em: <[.http://www.mme.gov.br/documents/1138769/0/P%26R++RenovaBio.pdf/a29044a3-6315-4845-80d8-832852efbb7f](http://www.mme.gov.br/documents/1138769/0/P%26R++RenovaBio.pdf/a29044a3-6315-4845-80d8-832852efbb7f)>. Acesso em: 18 de Agosto de 2019.

MOREIRA, M. M. R. et al. **Proposta de contabilização da mudança de uso da terra na política nacional de biocombustíveis (RenovaBio)**. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., 2018, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF: Ibict, 2018., 2018.

NEVES, P. D. M.; MENDONÇA, M. R. RenovaBio e o agrohidronegócio canavieiro em Goiás. **GeoTextos**, v. 16, n. 1, p.85-108, 2020.

NOGUEIRA, L. A. H.; HOLLANDA, J. B. **Reverendo a paridade entre etanol hidratado e gasolina em veículos flexíveis**. Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), 2014.

NOVACANA. **Vale do Paraná é certificada pela ANP para participar do RenovaBio**. 19 nov 2019. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/industria/usinas/vale-parana-certificada-anp-participar-renovabio-191119>>. Acesso em: 27 de Julho de 2020.

OHASHI, F. H. O advento, crescimento, crise e abandono do Proálcool. 2008. 46 p. **Monografia (Trabalho de Graduação)–Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008**.

OMETTO A.R., HAUSCHILD M.Z., ROMA W.N.L. Lifecycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Brazil. **The international journal of life cycle assessment**, 14:236–247, 2009.

PAIXÃO, M. C. S.; DA FONSECA, M. B. A produção de etanol de cana no Estado da Paraíba: alternativas de sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 24, 2011.

PEREIRA, J. V. I. Sustentabilidade: diferentes perspectivas, um objectivo comum. **Economia Global e Gestão**, v. 14, n. 1, p. 115-126, 2009.

PEREIRA, L. M. **Os biocombustíveis no plano nacional de energia e a garantia do direito fundamental ao ambiente equilibrado**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2017. 170 p.

PHILIPPI Arlindo Jr e ROMERO, Marcelo Andrade. Metodologia do Trabalho Científico em Gestão Ambiental. In: Arlindo Jr., ROMERO, Marcelo Andrade e BRUNA, Gilda Collet, editores, **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. Porto Alegre: Bookman, 1999. 182 p.

PIACENTE, F. J. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental: o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. Dissertação (Mestrado em economia) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2005.

POMPELLI, Marcelo Francisco et al. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2011.

POTRICH, E. **Modelagem, simulação e análise técnico-econômica-ambiental do processo de extração de óleo de soja por hexano e etanol e da produção de biodiesel**. Tese (doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos. 137 p. 2019.

PROENÇA, E. R. **Caracterização da produção de cana-de-açúcar e de inovações tecnológicas adotadas por Usinas da Regional de Andradina (SP)**. 2008, 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2008.

RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS (RAIS). **Base de dados**. 2019. Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/acesso-online-asbases-de-dados>>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

RENOUF M.A., PAGAN R.J., WEGENER M.K.. Life cycle assessment of Australian sugarcane products with a focus on cane processing. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 2, p. 125-137, 2011.

RENOUF, M.A., WEGENER, M.K., PAGAN, R.J. Life cycle assessment of Australian sugarcane production with a focus on sugarcane growing. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 9, p. 927-937, 2010.

REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. **Agricultural Systems**, v. 138, n. 1, p. 77-87, 2015.

RIBEIRO, A.R.B.; SILVA, F.F.; MEIRELES, Y.S.; MELO, F.L.; RODRIGUES, R.P. Gestão da sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar: um estudo de caso no nordeste do Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 3, p. 843-861, 2018

RIBEIRO, Gabrielle de Araújo. **Análise da sustentabilidade ambiental na agroindústria canavieira utilizando a pegada hídrica**. 2019.125f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, 2019.

RODRIGUES, Nadir; GARCEZ, Bruno (Ed.). **Estudo mostra como usinas de cana podem reduzir consumo de água**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2482285/estudo-mostra-como-usinas-de-cana-podem-reduzir-consumo-de-agua>. Acesso em: 30/07/2019.

ROITMAN, T. Programas internacionais de incentivo aos biocombustíveis e o RenovaBio. **Boletim de Conjuntura**, n. 3, p. 19-25, 2019.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D. **Plantio da cana-de-açúcar**. 2019. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_33\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html)>. Acesso em: 30/07/2019.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. **Irrigação da cana-de-açúcar**. In: PARANHOS, S. B. (Org.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação CARGIL, 1987, v.117, p.373-431.

SEABRA J.E.A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil**. Universidade Estadual de Campinas (Doutorado), Faculdade de Engenharia Mecânica, 2008.

SEABRA J.E.A. et al. A techno-economic evaluation of the effects of centralized cellulosic ethanol and co-products refinery options with sugarcane mill clustering. **Biomass and bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1065-1078, 2010.

SEABRA J.E.A. et al. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, n. 5, p. 519-532, 2011.

SGS Sustentabilidade. **Consulta Pública**, 2020. Disponível em: <<https://sgssustentabilidade.com.br/consulta-publica/>>. Acesso em: 25 de Março de 2020.

SHAOCHUN, M.; KARKEE, M.; SCHARF, P.; ZHANG, Q. Sugarcane Harvester Technology: a critical overview. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 30, n. 5, p. 727-739, 2014.

SILVA, S.C.; FERREIRA, R.A. Aspectos jurídicos e ambientais da monocultura da cana de açúcar. **Revista Datavenia**, v.9, n.1, p.112-124, 2017.

SILVA, W. K. D. M. **Influência das mudanças climáticas no cultivo da cana-de-açúcar no Estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis). Programa de Pós-

graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis. Universidade Federal da Paraíba. 142p. 2019.

SINDÁLCOOL–PB Sindicato da Indústria de Fabricação do Alcool do Estado da Paraíba. **Relatório Sindálcool-PB Safras 2016/2017 e 2017/2018**. 2018. Disponível em: <[https://sindalcool.com.br/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2018-08-27\\_2.pdf](https://sindalcool.com.br/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2018-08-27_2.pdf)>. Acesso em: 25 de Março de 2020.

UNICA, União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **A Bioeletricidade Da Cana Julho De 2019**. 2019b. Disponível em: <<https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/07/UNICA-Bioeletricidade-julho2019-1.pdf>>. Acesso em: 25 de Março de 2020.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Safra; etanol em alta e queda expressiva na produção de açúcar**. Notícias, julho, 2019a.

VALENCIA, M.J., CARDONA C.A. The Colombian biofuel supply chains: the assessment of current and promising scenarios based on environmental goals. **Energy Policy**, 2014;67:232–42.

VALLE, F. M., ROCHAEL, D. M., PINHEIRO, R. B. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 1., 2004, Varginha. **Anais...** Varginha: EMATER/MG, p. 1- 5, 2004.

VIDAL, M.F. Desempenho Recente Do Setor Sucroalcooleiro Nordeste. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 4 | Nº 67 | fevereiro | 2019.

VIDAL, M.F. Setor Sucroenergético Nordeste. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 3 | Nº 25 | fevereiro | 2019.

WALTER, A. et al. Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change, GHG emissions and socio-economic aspects. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5703-5716, 2011.

WERNET, Gregor et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p. 1218-1230, 2016.