

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
MESTRADO EM ENERGIA DA BIOMASSA

NORMA SUELY ACIOLI MARINHO

**Produção de etanol de primeira e segunda geração e de eletricidade com cana-de-
açúcar e cana-energia**

Rio Largo – AL

Junho de 2017

NORMA SUELY ACIOLI MARINHO

Produção de etanol de primeira e segunda geração e de eletricidade com cana-de-açúcar e cana-energia

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa do Centro de Ciências Agrárias - CECA, Da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa

Rio Largo – AL

2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Centro de Ciências Agrárias – CECA
Erisson Rodrigues de Santana - Bibliotecário

M338p Marinho, Norma Suely Acioli.

**Produção de etanol de primeira e segunda geração e de
eletricidade de cana-de-açúcar e cana-energia** /Norma Suely
Acioli Marinho. – Rio Largo, 2017.
53 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) –
Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós - graduação
em Energia da Biomassa. Centro de Ciências Agrárias, 2017.

Orientador(a): Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa

1. Cana energia. 2.Etanol de segunda geração
3. Biomassa4. Energia elétrica.

CDU:620.91



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - PROPEP
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
Mestrado Profissional em Energia da Biomassa



Aos 20 dias do mês de junho de dois mil e dezessete às 09:00 horas, na sala do prédio da Pós-Graduação CECA/UFAL, sob a presidência do Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa (CECA/UFAL) reuniu-se a Banca Examinadora para Defesa Pública da Dissertação de Mestrado Profissional em Energia da Biomassa da aluna: **Norma Suely Acioli Marinho**, sob o título: "**Produção de etanol de primeira e segunda geração e de eletricidade com cana-de-açúcar e cana-energia**". A Banca Examinadora ficou assim constituída: Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa (CECA/UFAL) – Orientador; Prof^a. Dr^a. Edjane Gonçalves de Freitas (FAT) - Membro Externo; Prof. Dr. João Messias dos Santos –(CECA/UFAL) Membro Interno e Prof. Dr. Iêdo Teodoro (CECA/UFAL) - Membro Interno. Ocorrências: Abertura pelo presidente da banca Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa, que agradeceu as valiosas presenças dos demais membros componentes da banca, manifestando sua satisfação pela defesa de Dissertação do Curso de Mestrado Profissional em Energia da Biomassa do CECA/UFAL. Dando continuidade aos trabalhos, o Presidente da Banca Examinadora passou a palavra a Prof^a. Dr^a. Edjane Gonçalves de Freitas que procedeu a suas sugestões e arguições, em seguida o Prof. Dr. João Messias dos Santos fez suas sugestões e arguições e o Prof. Dr. Iêdo Teodoro fez suas sugestões e arguições a referida aluna. Terminada a defesa, procedeu-se o julgamento, pelos membros examinadores, sendo a candidata **APROVADA**. Por fim, o professor Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa parabenizou a mestranda **Norma Suely Acioli Marinho** pelo trabalho. A concessão do título de Mestre Profissional da Energia da Biomassa, está condicionada a entrega dos exemplares com as modificações da dissertação sugerida pela banca examinadora, com anuência do orientador no prazo de 60 dias para encaminhamento. Lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Banca Examinadora e Secretário do curso. Rio Largo (AL), 20 de junho de 2017.

Prof. Dr. GERALDO VERÍSSIMO DE SOUZA BARBOSA

Presidente

Prof^a. Dr^a. EDJANE GONÇALVES DE FREITAS

Membro Externo

Prof. Dr. JOÃO MESSIAS DOS SANTOS

Membro Interno

Prof. Dr. IÊDO TEODORO

Membro Interno

MARCOS ANTONIO LOPES

Secretário



Prof. Dr. Elton Lima Santos
Coordenador do Mestrado Profissional
em Energia da Biomassa - CECA/UFAL
Mat. SIAPE 2555134

Aos meus pais, Rosiete Vieira Acioli e José Nunes Acioli, a minha tia e madrinha Rosanilda Soares Lins, aos meus filhos Camila Acioli Marinho e Leonardo Acioli Marinho,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa pela orientação, paciência e confiança.

Aos professores Iêdo Teodoro e Rosa Lira pelos conhecimentos compartilhados.

Ao funcionário Marcos Antônio pela colaboração constante nesses dois anos e meio de convívio.

A Universidade Federal de Alagoas e o Centro de Ciências Agrárias pela oportunidade de realização do Mestrado Profissional em Energia da Biomassa.

Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar pela cessão dos dados utilizados neste trabalho.

Ao Grupo Carlos Lyra, especialmente as pessoas Luiz Carlos Magno, Aldevan Henrique, Otoniel Bonfim, Abeliana Helena, Bruna Luiza Faccioli, Alene Carvalho, Maria de Fátima Araújo, Alexlene Vanderlei pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos José Francisco da Usina Santo Antônio, Davi Antônio da Silva, Eduardo Costa, Samy Ibrahim pelo convívio, trocas constantes de informações e conhecimentos que muito contribuíram para o meu aprendizado.

A todos os colegas da Pós-graduação que estiveram comigo nesta etapa tão importante da minha vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram com a realização deste trabalho.

RESUMO

A Biomassa da cana-de-açúcar passou a ser um grande e sustentável negócio para o país. Esse trabalho teve como objetivo identificar cenários operacionais e econômicos do cultivo de cana-de-açúcar e cana-energia, com diferentes níveis de teores de fibra e açúcar, para a produção de etanol 1G, etanol 2G e eletricidade, demonstrando a sustentabilidade de um sistema energético, para três Regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de Alagoas (Norte, Centro e Sul). Foi realizada uma pesquisa documental, obtenção de dados resultantes de pesquisa agrícola e construção de cenários para essas regiões. Construíram-se nove cenários para cada uma das três regiões (utilização da cana-de-açúcar e 3 tipos de cana-energia). Os dados para cana-energia foram obtidos de resultados de pesquisas realizadas pela RIDESA/UFAL nas três regiões citadas. Foram usadas premissas nos cálculos, considerando diferentes combinações de teores de Pol, Fibra, ATR, rendimento agrícola, quantidade de bagaço excedente, biomassa celulósica seca, pureza do caldo residual, rendimento de litros de etanol hidratado por tonelada de cana, geração de energia a partir da BCS, valor pago ao produtor por litro de etanol e megawatt para Alagoas. Os resultados possibilitaram as seguintes conclusões: Para a Região Norte, a cana-de-açúcar com Fibra de 16% e ATR de 130,65 usando 70% de BCS para produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica, pode-se alcançar R\$ 37.414.237,33 ou 20,01% a mais do que o faturamento alcançado com a produção atual. A cana-energia com fibra de 18% e ATR de 110 é a que proporciona a maior receita para a empresa com a venda de etanol (1G + 2G) e eletricidade, usando 70% de BCS para a produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica. Neste cenário pode-se alcançar R\$144.079.317,17 ou 76,96% a mais do que o faturamento alcançado com a produção atual. Para Região Centro, a cana-de-açúcar com Fibra de 13,50% e ATR de 138 usando 70% de BCS para produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica, pode-se alcançar R\$29.792.468,50 ou 15,12% a mais do que o faturamento alcançado com a produção atual. A cana-energia com fibra de 17% e ATR de 117 é a que proporciona a maior receita para a empresa com a venda de etanol (1G + 2G) e eletricidade, usando 70% de BCS para a produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica. Neste cenário pode-se alcançar 73,18% a mais do que o faturamento alcançado com a produção atual. Na Região Sul, a cana-de-açúcar com Fibra de 14,29% e ATR de 134,57 usando 70% de BCS para produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica, pode-se alcançar 16,13% a mais do que o faturamento alcançado com a produção atual. A cana-energia com fibra de 17% e ATR 114,38 é a que proporciona a maior receita para a empresa com a venda de etanol (1G + 2G) e eletricidade, usando 70% de BCS para a produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica. Neste cenário pode-se alcançar 75,22% a mais do que o faturamento alcançado com a produção atual.

Palavras-chaves: cana-energia, etanol de segunda geração, biomassa, energia elétrica.

ABSTRACT

Nowadays the sugarcane biomass is a great and sustainable business in Brazil. This study aims to identify operational and economic scenarios of the sugarcane and energy cane cultivation, which have different levels of fiber and sugar, used in the production of 1G ethanol, 2G ethanol and electricity, demonstrating the sustainability of an energy system in three sugarcane producers regions of the State of Alagoas (North, Center and South). A documentary research was done, data resulting from agricultural research obtained and scenarios for these regions built. Nine scenarios were created for each region (the use of sugarcane and three types of energy cane). The energy cane data were obtained from research results performed by RIDESA / UFAL in the three mentioned regions. Assumptions were made in the calculations, considering different combinations of Pol, Fiber, CRS, agricultural yield, excess bagasse, dry cellulose biomass, residual broth purity, liters of hydrous ethanol per ton of sugarcane, energy generation at From the BCS, amount paid to the producer per liter of ethanol and megawatt to Alagoas. The results made the following conclusions possible: In the North Region, a 16% Fiber sugarcane and CRS of 130.65 using 70% of BCS for E2G production and 30% for electricity production, being able to reach R\$37,414,237.33 or 20.01% more than the current production revenue. The 18% fiber and 110 CRS energy cane is the one that provides the highest revenue for the company through the ethanol (1G + 2G) and electricity sales, using 70% of BCS for the production of E2G and 30% for the production of electricity. In this scenario, it is possible to reach R\$144,079,317.17 or 76.96% more than the current production revenue. In the Central Region, the 13.50% Fiber and 138 CRS sugar cane using 70% of BCS for E2G production and 30% for electrical production may reach R\$29,792,468.50 or 15.12% more than the current production revenue. The 17% fiber and 117 CRS energy cane is the one that provides the highest revenue for the company through ethanol (1G + 2G) and electricity sales, using 70% of BCS for the production of E2G and 30% for Production of electricity. In this scenario, it is possible to achieve 73.18% more than the current production revenue. In the South Region, 14.29% Fiber and 134.57 CRS sugarcane using 70% of BCS for E2G production and 30% for electrical production is able to reach 16.13% more than the current production revenue. The 17% fiber and 114,38 CRS energy cane is the one that provides the highest revenue for the company through the ethanol (1G + 2G) and electricity sales, using 70% of BCS for the production of E2G and 30% to produce electricity. In this scenario, it may achieve 75.22% more than the current production revenue.

Keywords: energy cane, second generation ethanol, biomass, bioelectricity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rotas Tecnológicas para produção do etanol.....	28
Figura 2 – Fluxo de Produção de etanol 2G.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demanda de energia no processamento da cana.....	32
Tabela 2 – Características de cada cenário.....	34
Tabela 3 – Produção de Biomassa Celulósica Seca para uma unidade da Região Norte do Estado de Alagoas, baseada nas premissas consideradas.....	37
Tabela 4 – Rendimentos e receitas da produção de E1G, E2G (1.ha ⁻¹) e geração de energia elétrica em kWh da Região Norte do Estado de Alagoas, baseadas nos cenários e premissas consideradas.....	39
Tabela 5 – Receitas com a venda de E1G, E2G e energia elétrica para os cenários propostos na Região Norte.....	39
Tabela 6 - Produção de Biomassa Celulósica Seca para uma unidade da Região Centro do Estado de Alagoas, baseada nos cenários e premissas consideradas	40
Tabela 7 – Rendimentos e receitas da produção de E1G, E2G em (1.ha ⁻¹) e geração de energia elétrica em kWh da Região Centro do Estado de Alagoas, baseado nos cenários e premissas consideradas	42
Tabela 8 - Receitas com a venda de E1G, E2G e energia elétrica para os cenários propostos na Região Centro.....	42
Tabela 9 - Produção de Biomassa Celulósica Seca para uma unidade da Região Sul do Estado de Alagoas, baseada nos cenários e premissas consideradas.....	43
Tabela 10 – Rendimentos e receitas da produção de E1G, E2G em (1.ha ⁻¹) e geração de energia elétrica em kWh da Região Sul do Estado de Alagoas, baseado nos cenários e premissas consideradas	45
Tabela 11 – Receitas com a venda de E1G, E2g e energia elétrica para os cenários propostos na Região Sul.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANDEF	Associação Nacional de Defensivos Agrícolas
ATR	Açúcares Totais Recuperáveis
BCS	Biomassa Celulósica Seca
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIF	Com Frete e Impostos inclusos no preço
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Copersucar	Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
EJ	Exajoules – Unidade de medida do SI
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPA	Agência Norte Americana de meio Ambiente
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUNPROÇÚCAR	Programa de incentivo à produção e uso do álcool como combustível
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWh	GigaWatt hora
IAA	Instituto do Açúcar e Álcool
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MJ	Megajoules
MW	Megawatt
kWh	Kilowatt hora
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PLANALSUCAR	Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar
POL	Sacarose Aparente
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar

PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
PZA	Pureza
RIDESA	Rede Interuniversitária para o desenvolvimento do Setor Sucroenergético
SINDAÇÚCAR	Sindicato dos Produtores de Açúcar
TCH	Tonelada de Cana por Hectare
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFMT	Universidades Federais do Mato Grosso
UFRPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFSE	Universidade Federal de Sergipe
UFV	Universidade Federal de Viçosa
RB	República do Brasil
UM	Umidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Energias Fósseis.....	14
2.2 Energias Renováveis.....	15
2.3 Energia da Biomassa.....	15
2.3.1 A cana-de-açúcar.....	17
2.3.1.1 Origem e Introdução em Alagoas.....	17
2.3.1.2 Caracterização Botânica.....	18
2.3.1.3 Composição da cana-de-açúcar.....	18
2.3.1.4 Características e Importância Socioeconômica da Cana-de-açúcar.....	19
2.3.1.5 Características e Importância Ambiental da cana-de-açúcar.....	19
2.3.1.6 Avanços do Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar em Alagoas.....	22
2.3.2 A Cana-energia.....	24
2.4 O Etanol da Cana-de-açúcar.....	25
2.4.1 A importância socioeconômica e ambiental.....	25
2.4.2 Processo de obtenção do etanol.....	27
2.4.2.1 Processo de obtenção do etanol de primeira geração – E1G.....	28
2.4.2.2 Processo de obtenção do Etanol Lignocelulósico – E2G.....	29
2.4.3 Impactos Socioeconômicos e Ambientais da Prod. de Etanol de Primeira Geração.....	31
2.4.4 Impactos Socioeconômico e Ambiental na Prod. de Etanol de Seg. Geração.....	32
3 DESENVOLVIMENTO	34
3.1 Material e Métodos.....	34
3.2 Resultados.....	37
3.2.1 Resultados para a Região Norte do Estado de Alagoas.....	37
3.2.2 Resultados para a Região Centro do Estado de Alagoas.....	40
3.2.3 Resultados para a Região Sul do Estado de Alagoas.....	43
3.2.4 Discussão dos Resultados.....	46
4 CONCLUSÃO	48
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

A produção do etanol no Brasil já acontecia desde o século XVI, mas em 1975, com a criação do Proálcool – Programa Nacional do Alcool, foi intensificada, devido a definições estratégicas e econômicas do governo federal. Na época as questões sociais e ambientais não tiveram significância na decisão governamental.

Com a expansão da produção nacional, provocada pela crise do petróleo e com a intenção de promover uma diversificação na matriz energética brasileira, como também contribuir com as metas estabelecidas pelos protocolos ambientais, aos quais o Brasil é signatário, a agroindústria da cana teve uma grande evolução nos seus conceitos de produção. As pressões exercidas pela sociedade, mais consciente sobre as questões sociais e ambientais, incluindo seus direitos a um ambiente seguro e a busca por alternativas mais viáveis financeiramente, no tocante a combustíveis, contribuiu enormemente para estas modificações.

A indústria da cana se reinventou nos últimos tempos, tornando-se uma indústria autossustentável. Buscou alternativas agronômicas mais rentáveis, mais resistentes às condições do ambiente e às variações climáticas. Desde 2008 vem sendo desenvolvida pelos Programas de Melhoramento genético de cana do Brasil, variedades de cana a partir do cruzamento de espécies ancestrais e híbridos comerciais de cana-de-açúcar, chamada cana-energia, que é uma cana mais robusta, com maior teor de fibra e maior potencial de rendimento de biomassa, que além de produzir o etanol tradicional, ou seja, etanol de primeira geração (Etanol 1G), proporciona maior geração de energia elétrica e obtenção de etanol de segunda geração (Etanol 2G).

Tanto o etanol 1G, quanto o etanol 2G têm a mesma composição química, diferenciando a matéria-prima e o processo utilizado na produção. O etanol tradicional é produzido a partir do caldo da cana ou da mistura do caldo com o melaço, ou do melaço. Já o etanol 2G é feito a partir de açúcares extraídos da celulose da planta, presentes na palha, e no bagaço de cana-de-açúcar. Em 2011 foi criada a empresa Granbio e em setembro de 2014 foi iniciada a produção de etanol 2G pela Bioflex, sua primeira planta, instalada em São Miguel do Campos, Alagoas, é a primeira indústria no Brasil a produzir etanol 2G.

A partir da década de 80 os resíduos da indústria açucareira passaram a ser reaproveitados no processo produtivo, gerando menos consumo de água, menos gastos com fertilizantes e menos consumo de agrotóxicos. Em paralelo a produção de etanol, a cogeração de energia elétrica, transformou-se em um produto, diversificando mais a oferta de produtos energéticos

mais limpos à sociedade e contribuindo mais para a geração de novos recursos financeiros para o negócio.

A Biomassa da cana passou a ser um grande e sustentável negócio para o país.

Esse trabalho teve como objetivo analisar cenários econômicos de cultivo de cana-de-açúcar e cana-energia, com diferentes teores de fibra e açúcar para a produção de etanol e eletricidade em três Regiões do Estado de Alagoas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Energias Fósseis

Os combustíveis fósseis são formados por compostos de carbono (hidrocarbonetos), originados pela decomposição de resíduos orgânicos, principalmente o plâncton (plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) causados pela ação de bactérias em meios de baixo teor de oxigênio, tendo esse processo de formação levado milhões de anos, por esse motivo são considerados recursos naturais não renováveis. São encontrados em bacias sedimentares específicas, formadas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários. São os mais usados no mundo para gerar energia elétrica e movimentar veículos, por meio de sua queima. Encontrados em áreas profundas ou no fundo do mar. Os principais tipos de combustíveis fósseis são o Petróleo, o gás natural e o carvão mineral, embora existam outros como o xisto. Mais especificamente o petróleo, apesar de conhecido desde os primórdios da civilização, apenas em meados do século XIX teve início a exploração de campos e perfuração de poços de petróleo. Só a partir daí, a indústria petrolífera teve grande impulso, essencialmente na Europa e Estados Unidos da América (BAIRD, 2002).

O petróleo, durante várias décadas deu grande impulsão a economia mundial, chegando no início de 1970 a alcançar aproximadamente 50% do consumo de energia primária. No Brasil, o petróleo representa mais de 30% da matriz energética e apresenta como desvantagem a emissão em grande quantidade de poluentes na atmosfera durante a sua queima, provocando altos índices de poluição atmosférica, por isto são os maiores responsáveis pelo efeito estufa e aquecimento global. Ele também emite, no seu processo de queima, substâncias tóxicas e partículas sólidas prejudiciais à preservação dos seres vivos, em geral. Nos chamados gases de efeito estufa (GEE), os mais problemáticos são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Parte das mudanças climáticas verificadas nas últimas décadas, entre elas o aumento da temperatura média do planeta, tem sido atribuído a concentração desses gases na atmosfera. Uma das possíveis consequências do aquecimento global é o derretimento de grandes geleiras, provocando a elevação do nível do mar e o alagamento de áreas costeiras e insulares, o que provoca elevados transtornos a um grande contingente de pessoas e animais silvestres e modifica a biodiversidade destas regiões (ANEEL, 2002).

2.2 Energias Renováveis

É a energia oriunda de fontes naturais que estão em constante regeneração. As fontes dessa energia são naturalmente reabastecidas pelo sol, vento, chuvas, marés e energia geotérmica. As fontes de energia renovável poluem pouco ou não chegam a agredir o meio ambiente, sendo consideradas energias limpas, pois a sua utilização não contribui para a emissão de gases ou outros materiais tóxicos e nocivos para o meio ambiente futuro. A grande quantidade de poluentes que são liberados para a atmosfera, provenientes da queima de combustíveis fósseis como o petróleo, como os gases de efeito estufa e os ocasionadores das chuvas ácidas, fizeram com que o surgimento e aprimoramento das energias renováveis fossem emergências no futuro (CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005).

Entre as principais vantagens das energias renováveis, além de serem inesgotáveis, é a possibilidade de serem implantadas em qualquer lugar do mundo, evitando a centralização dos recursos. Essas energias são classificadas como energias alternativas pelo seu caráter garantido, no tempo presente ou futuro, visto que as energias não renováveis, como o petróleo e o carvão, demorariam milhões de anos para serem repostos. O Brasil ocupa o posto de segundo maior produtor de etanol do mundo, combustível utilizado como uma alternativa à gasolina, proveniente do petróleo. O etanol é considerado um combustível renovável porque é feito da cana-de-açúcar (ANEEL, 2008).

2.3 Energia da Biomassa

Biomassa é uma quantidade de matéria orgânica produzida em determinada área. O conceito de biomassa compreende todas as matérias orgânicas utilizadas como fontes de energia, como resíduos agrícolas, florestal (madeira, principalmente), rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Entre as fontes mais utilizadas, pode-se citar a cana-de-açúcar, o eucalipto e a beterraba para a produção de energia (ANEEL, 2008).

“O uso da biomassa como fonte de energia precede o aparecimento do homo sapiens. Estudos arqueológicos indicam o uso do fogo por hominídeos há mais de 1 milhão de anos”(TOLMASQUIM, 2016). Estima-se o início do uso regular desta fonte em torno de 350.000 a 320.000 anos atrás (SHIMELMITZ et al., 2014). De acordo com Tolmasquim (2016), o aproveitamento energético da biomassa disponível foi primordial para a evolução humana, e tanto a obtenção quanto o modo de uso progrediram juntos, considerando seu uso inicial, onde a lenha era catada e utilizada para a cocção, proteção e aquecimento, até as

práticas atuais silvo-agropecuárias e industriais de exploração, transformação e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade.

Conforme Calle; Bajay; Rothman (2005), biomassa é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um importante papel no desenvolvimento de programas de energias renováveis e na criação de uma sociedade mais consciente ambientalmente. Um quinto de toda energia do mundo é obtida a partir de fontes renováveis de energia, de 13% a 14% é proveniente da biomassa e 6% é proveniente do uso da água. A biomassa chega a representar cerca de 25 milhões de barris de petróleo por dia (55 EJ/ano). No decorrer da história, o uso da biomassa tem variado muito, devido a influência dos fatores: disponibilidade demográfica e disponibilidade de recursos. Prevê-se que no ano de 2050, cerca de 90% da população mundial estará vivendo em países em desenvolvimento e que o cultivo da biomassa para produzir energia estará mais presente no futuro.

A biomassa é tida como uma das fontes de maior potencial de crescimento na produção de energia para os próximos anos. O mercado internacional e o mercado interno a consideram como uma das principais alternativas para diversificar a matriz energética e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. Da biomassa pode ser obtidos os combustíveis, biodiesel e etanol, em substituição aos derivados do petróleo, ou seja, óleo diesel e gasolina (ANEEL, 2008).

O Brasil é classificado como a primeira economia sustentável com base em biocombustíveis do mundo, devido a sua liderança na indústria de biocombustíveis e o etanol de cana-de-açúcar é considerado o combustível melhor sucedido até o momento. O modelo de produção do etanol brasileiro é considerado sustentável por alguns autores, em decorrência da tecnologia agroindustrial avançada e a grande quantidade de terra arável disponível no país. A cana-de-açúcar e a biomassa de base florestal, no Brasil, respondem atualmente por mais de 60% da oferta de energia renovável, tendo o país, uma das matrizes mais limpas do mundo. Um relatório produzido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para energias renováveis, o qual foi divulgado no ano de 2011, mostrou que a biomassa moderna, em conjunto com a energia solar e eólica, são as três tecnologias renováveis que mais devem crescer até 2050 (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

Espera-se que por volta do ano de 2050, as fontes renováveis de energia cheguem a representar três quintos do mercado mundial de eletricidade e dois quintos do mercado de combustíveis diretos, além de que, as emissões de CO₂ cheguem a ser reduzidas em todo o mundo em torno de 75% dos níveis observados em 1985. Nesse cenário, a biomassa seria

responsável pela produção de cerca de 38% dos combustíveis e 17% da eletricidade usados no mundo (CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005).

A principal biomassa utilizada no Brasil para geração de energia elétrica é o bagaço de cana, tendo a sua participação no cenário nacional crescido continuamente, em virtude da pujante indústria de etanol e açúcar instalada no país. A pujança da indústria sucroalcooleira é devido a uma das políticas de maior impacto para introdução dos biocombustíveis no mercado brasileiro, que foi o lançamento do Programa Nacional de Álcool (Proálcool), criado em 14 de novembro de 1975, pelo decreto nº. 76.593. Com este programa o parque fabril sucroalcooleiro do Brasil foi consolidado e ampliado, transformando-se em referência internacional. Trata-se de um programa pioneiro de biocombustíveis para fornecer alternativas em fornecimento de combustíveis ao país, devido ao choque de petróleo ocorrido em 1973 e 1979, quando este produto e seus derivados, tiveram seus preços elevados substancialmente, impactando a balança de pagamentos (EPE, 2015).

No Brasil, em 2007, a biomassa foi a segunda fonte de energia e teve uma participação na matriz energética de 31,1%, superada somente pelo petróleo e seus derivados. “Ela ocupou a mesma posição entre as fontes de energia elétrica de origem interna, respondendo por 3,7% da oferta”. Foi superada apenas pela hidreletricidade, a qual foi responsável por 77,4% da oferta total (ANEEL, 2008).

Há previsões para 2020 de que a relação de energia (produção de energia renovável/consumo de energia fóssil) para o etanol de cana seja próximo a 12. Possivelmente um dos efeitos mais significativos associados ao etanol da cana é a redução dos gases de efeito estufa. De acordo com a comunicação Brasileira para a convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças do clima, considerando valores de 1994, a utilização da energia da cana produziu uma redução de 13% nas emissões de carbono de todo setor energético (CGEE, 2008).

2.3.1A Cana-de-açúcar

2.3.1.1 Origem e introdução em Alagoas

A introdução dessa cultura em Alagoas ocorreu conforme segue:

O povoamento do território de Alagoas iniciou-se a partir de 1570 com o cultivo da cana por um período de seis décadas, inúmeros engenhos banguês produtores de açúcar foram instalados à margem dos rios e próximo ao litoral. Inicialmente eram 14 engenhos em 1630, passando para 69 em 1774,

atingindo 180 em 1802, saltou para 316 em 1849 e subiu para 964 em 1905. Nessa época os engenhos eram movidos tanto à água, como à tração animal, muitos deles produziam açúcar, e as chamadas “engenhocas” produziam rapadura. Os mais avançados produziam açúcar mascavo, que transformava parte da produção em açúcar somenos (embranquecido), pois o mercado oferecia um melhor preço (ANDRADE, 2010) *apud* Barbosa (2015).

2.3.1.2 Caracterização Botânica

“A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae*, tribo *Andropogonae* e ao gênero *Saccharum*. É uma gramínea perene, de grande porte, que se reproduz sexuadamente, preferencialmente por alogamia” (ROACH; DANIELS, 1987; JAMES, 2004). Quando ela alcança a fase adulta apresenta estatura de 2 a 6m, e pode ser colhida em vários ciclos sem necessidade de novo plantio (HENRY, 2010). As partes principais da planta são: colmo, folhas e raízes. O colmo de uma planta madura contém, em média, 2/3 de água e 1/3 de matéria seca (açúcares, sais e fibras), componentes de proporção variável em função da espécie/híbrido e da condição do seu cultivo. O colmo varia na forma e na cor e é formado por nós e entrenós. A propagação é assexuada, mediante o plantio de uma porção do colmo, chamada de reboło ou tolete, que contém gemas presentes nos nós, e que brotam, perfilham e produzem novos colmos na forma de touceiras. As flores são hermafroditas e o fruto é uma cariopse. A reprodução sexuada se dá por meio da germinação de sua cariopse, que é uma estratégia usada por programas de melhoramento genético para a obtenção de variabilidade e seleção de novos clones (VANDILLEWINJ, 1952; BARNES, 1974).

É uma planta que apresenta aparato fotossintético C4, tendo alta capacidade de transformar a energia radiante em energia química.

2.3.1.3 Composição da cana-de-açúcar

Pelas reservas energéticas localizadas no colmo da cana (açúcares e fibra), tradicionalmente seu uso é na produção de etanol e eletricidade, mas com as novas tecnologias de transformar o material lignocelulósico em etanol e eletricidade, tem havido crescente interesse. Seu conteúdo energético está na ordem de 7.400 MJ por tonelada de cana. O material lignocelulósico da cana-de-açúcar (fibras), composto pela celulose, hemicelulose e a lignina, representa entre 11% e 16% da matéria seca. O caldo produzido após a moagem da cana é uma solução composta basicamente por água e açúcares (principalmente sacarose, glicose, frutose) (CGEE, 2009).

2.3.1.4 Características e Importância Socioeconômica da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. O aumento da demanda mundial por etanol, aliado a grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis, o transformam em um país promissor para a exportação desse produto (EPE, 2017).

Em 2007, o Brasil tinha 370 unidades processadoras de cana-de-açúcar, dessas 370 unidades, 294 estavam instaladas na Região Centro-Sul e as outras 76, na região Norte-Nordeste. Das 370 unidades, 355 produziam etanol em 283 municípios. Nessa época, o estado de Alagoas era o maior produtor do Norte-Nordeste e o terceiro do país (NOVACANA, 2017).

De acordo com EPE (2017), no relatório síntese, ano base 2015, a participação de energia renovável na matriz energética foi de 41,2%. Desses 41,2%, a biomassa da cana é responsável por 16,9%. Em 2014 era de 15,8% da matriz energética do Brasil e a geração da energia elétrica em GWh de biomassa, em 2015 alcançou 47.394.

Na safra 2016/2017, o Brasil cultivou 9,05 milhões de hectare, moeu 657,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produziu 38,69 milhões de toneladas de açúcar e 27,86 bilhões de litros de etanol. No Estado de Alagoas foram cultivados 322.200 hectare, moeu 16.030.600 toneladas, produziu 1.446.000 toneladas de açúcar e 382.993.000 litros de etanol (CONAB, 2017).

De acordo com SINDAÇÚCAR (2017), Alagoas tem 7.248 fornecedores e nesta safra eles produziram 6.633.565 toneladas de cana-de-açúcar. A moagem total foi de 16.380.587 toneladas e a produção total de etanol (anidro e hidratado) foi de 376.289 m³.

2.3.1.5 Características e Importância Ambiental da cana-de-açúcar

De acordo com Santos; Colodette; Queiroz (2013), “O Brasil tem uma das matrizes energéticas mais limpas do planeta graças a sua agricultura. Além de produzir alimentos, a agricultura brasileira é líder na geração de energia renovável”. É responsável por mais de 30% da matriz energética brasileira, com uma produção anual equivalente a 68,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, pela fotossíntese. Os autores informam também que a cadeia produtiva da cana-de-açúcar é considerada uma das mais ecológicas e sustentáveis,

sendo a cana, considerada a grande estrela na constelação das energias renováveis, devido a redução das emissões de gás carbônico e a melhoria global do meio ambiente.

Segundo EPE (2010), a energia proveniente de fontes renováveis no Brasil era de 47,3%, enquanto que a média mundial era de 12,7% e nos países que fazem parte da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, era de apenas 7,2%. Neste período, mais de 90% da energia usada nos países desenvolvidos era de origem fóssil, ou seja, energia proveniente do petróleo, gás e carvão mineral, grande fonte emissora de gás carbônico e outros poluentes, ou era de origem nuclear.

Conforme Santos; Colodette; Queiroz (2013), as contribuições de fontes renováveis na matriz energética brasileira são: cana-de-açúcar (etanol e bioeletricidade), hidrelétricas, florestas energéticas para lenha e carvão, óleos vegetais no biodiesel, resíduos agrícolas e outras. A cana-de-açúcar é de fundamental importância para o Brasil, devido a mesma representar de 15 a 18% na matriz energética brasileira, proveniente do biocombustível etanol e da cogeração de bioeletricidade, enquanto todas as hidrelétricas juntas representam 13 a 15%. Merece destaque a seguinte informação dos autores:

Um campo de cana-de-açúcar, cultivado com tecnologias modernas, é hoje uma usina solar por excelência. O tripé que faz da cana-de-açúcar uma produtora imbatível de açúcar, biocombustível e energia elétrica, de forma rentável e sustentável, resulta das interações entre o clima tropical nas áreas de cultivo, as características intrínsecas e geneticamente aprimoradas da planta e das tecnologias e as inovações de produção utilizadas nos campos, nas usinas e em toda a cadeia produtiva.

Os autores também indicam que devido as variações genéticas, há uma gama enorme de variedades adaptadas a várias situações climáticas e de solos. Pelo manejo integrado de pragas e doenças é possível combinar, o uso de agentes de controle natural de pragas e doenças, assim como os defensivos agrícolas de última geração, com enormes benefícios para o meio ambiente. Conforme dados da Associação Nacional de Defensivos Agrícolas – ANDEF, a produção de soja tem uma demanda de 43% por defensivos agrícolas no Brasil, o milho 13,6%, enquanto que a cana representa apenas 9,4%. Além disso, os resíduos resultantes do processamento da cana-de-açúcar nas usinas, como o vinhoto, a torta, as cinzas das caldeiras e outros são reciclados e retornam aos solos com seus nutrientes. O maquinário utilizado com seus pneus de alta fluotabilidade contribui para a não compactação do solo e a preservação das estradas.

Conforme CGEE (2009), no Centro-Sul brasileiro, a utilização de vinhaça para fertirrigação em 30% dos canaviais, elimina a utilização da água e reduz o consumo de

fertilizantes. Com a prática da colheita mecanizada evita-se a queimada dos canaviais e a emissão de fuligem que provoca danos à saúde da população residente nas circunvizinhanças das áreas produtivas.

Espera-se que antes de 2020, grande maioria da colheita, excetuando-se as áreas de encostas, a cana será colhida sem queimadas, trocando-se a fumaça e fuligem por créditos de carbono, bioeletricidade, economia de insumos e ganhos na produtividade (SANTOS; COLODETTE; QU EIROZ, 2013).

De acordo com CGEE (2009), a cana-de-açúcar fixa como açúcar um terço da energia solar absorvida e o restante corresponde à fibra vegetal que tem a composição formada por celulose, hemicelulose e lignina, que são os constituintes do bagaço e da palha. No processamento de uma tonelada de cana, a disponibilidade de bagaço, com 50% de umidade, é de aproximadamente 250 kg, podendo produzir entre 500 kg e 600 kg de vapor, sendo o consumo do processo entre 400 kg e 600 kg de vapor.

Em Alagoas, atualmente, consegue-se obter entre 300 a 330 kg de bagaço por tonelada de cana (correspondente a 33%).

As inovações em tecnologia de produção do etanol de segunda geração, utilizando o bagaço de cana como uma grande parte da matéria-prima trará novos impactos positivos ao meio ambiente. Nos dias de hoje os resíduos do processamento da cana têm se transformado em valiosos produtos de valor agregado. A moagem produz a parte líquida do colmo que é o caldo e o bagaço resultando do seu esmagamento. Para a evaporação da água no caldo utiliza-se calor proveniente da queima do bagaço. Com a perda da água o caldo transforma-se em um mel e finalmente em açúcar, ou é fermentado para a produção de etanol. Para produzir etanol, cada tonelada de cana gera, em média, 250 kg de bagaço e 200 kg de palhas e pontas, considerados como resíduos. Através da modernização das caldeiras, o vapor produzido do bagaço é suficiente para garantir o funcionamento das turbinas e gerar energia elétrica, que é conhecida como bioeletricidade. A pressão das caldeiras que antes era de 65 kg/cm², passou para 100 kg/cm², elevando a produção de vapor de 200 t/h para mais de 400t/h, alcançando a temperatura de 500 °C. Já as turbinas passaram de uma geração de 30 MW para 60 MW ou mais. Na década de 80, a bioeletricidade alcançou uma produção de geração que permitiu o repasse para o sistema elétrico brasileiro. As usinas começaram a aumentar seu interesse nesse novo produto após a regulamentação da oferta e compra da energia e a existência dos leilões. Segundo dados da Associação da Indústria de Cogeração de Energia – COGEN, por volta de 30% das usinas de cana-de-açúcar se conectaram à rede elétrica como geradoras de energia.

A capacidade instalada de bioeletricidade era em 2010 na ordem de 6.700 MW, podendo alcançar em 2020 em 22.000 MW, o que seria equivalente à energia gerada por três usinas hidrelétrica de Belo Monte. Em 2010, a energia de bioeletricidade consumida no Brasil foi mais de 2%. A geração da bioeletricidade é pouco sensível a variação climática, devido ao bagaço está assegurado nas superfícies das áreas de produção agrícola, os projetos de cogeração em usinas ser de pequeno e médio porte, provocando pequenos impactos ambientais. Além de tudo, o licenciamento ambiental é menos complexo e mais fácil de ser obtido. Devendo também ser considerada a proximidade dos centros de carga, possibilitando menores investimentos em conexões com a rede e as instalações têm menores riscos ambientais e operacionais. Para o Brasil, a cana-de-açúcar garante uma oferta sustentada de alimentos e de bioenergia (combustível e eletricidade), com baixa emissão de gás carbônico, melhora da qualidade do ar das metrópoles, reduz o uso dos combustíveis fósseis, além de produzir uma gama de produtos bioquímicos, plásticos, polímeros, com grandes ganhos para o meio ambiente (SANTOS; COLODETTE; QUEIROZ, 2013).

2.3.1.6 Avanços do Melhoramento Genético de cana-de-açúcar em Alagoas

Historicamente, o melhoramento genético teve grande contribuição para a cadeia produtiva do açúcar e etanol.

De acordo com Andrade (1985) *apud* Barbosa (2015) predominou por mais de três séculos o cultivo das variedades Crioula, Caiana, Roxa, Rosa, Ubá e Cristalina; no início do século XX foram introduzidos os primeiros híbridos POJ (Java/Indonésia), Co (Coimbatore/Índia) e CP (CanalPoint/USA); e a partir de 1950 foram plantadas as cultivares brasileiras CB (CamposBrasil) e IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). Andrade (1985)*apud* Barbosa (2015, p.20) registra o trabalho pioneiro de hibridação da cana-de-açúcar no Brasil em 1892 pelo alagoano Manuel Cavalcanti de Albuquerque, que obteve no Engenho Cachoeirinha do município pernambucano de Escada, as variedades Manteiga e Manoel Cavalcanti, através de auto fecundação da variedade Caiana e que alcançaram grande aceitação naquele Estado.

A Usina Brasileiro foi uma das inovadoras na tentativa de substituição de variedades de cana-de-açúcar. Em 1913, a empresa importou de Barbados inúmeros *seedlings* de cruzamentos realizados em 1912, que tinham a abreviatura BA, utilizada inclusive nas canas BA6032 e BA11569, que designava uma nova série de *seedlings* de Barbados, cujos números se elevam a milhares (SANT'ANA,2011) *apud* Barbosa (2015).

Em 1933 foi criado o Instituto do Açúcar e Alcool – IAA que tinha como um dos principais objetivos a regulamentação do mercado de açúcar no país, assim como o fomento da produção de álcool anidro. Para o desenvolvimento de novas tecnologias para a indústria sucroalcooleira

foi criado em 1971 o Planalsucar (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar), sendo extinto, juntamente com o IAA, no ano de 1990. Após um ano, a infraestrutura das coordenadorias e as estações experimentais, assim como o corpo técnico do Planalsucar, foram absorvidas inicialmente por sete universidades federais (UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFSE, UFAL e UFRPE), que instituíram a Rede Interuniversitária para o desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA. Sendo agregada à RIDESA a Universidade Federal de Goiás, em 2004 e as Universidades Federais do Mato Grosso – UFMT e a do Piauí, no ano de 2008. As cultivares de cana-de-açúcar desenvolvidos pela RIDESA são denominados RB – República do Brasil. “O ponto de partida do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar – PMGCA da RIDESA é o banco de germoplasma localizado na Estação de Floração e Cruzamento da Serra do Ouro (UFAL), no município de Murici, Estado de Alagoas” (DAROS et al., 2015).

O desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas teve início em 1967, num modelo de parceria público privada, com o objetivo de elevar os rendimentos em açúcar. Neste ano foi estabelecido um banco de germoplasma, sendo importados diversos acessos do gênero *Saccharum* e híbridos de várias partes do mundo. Fora criada a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro. A partir de então, realizaram-se hibridações e seleção de indivíduos superiores na obtenção de cultivares da sigla RB – República do Brasil, além da importação e seleção local de cultivares da sigla SP - São Paulo (BARBOSA, 2014).

O programa de desenvolvimento de novos cultivares de cana-de-açúcar é, devido a sua natureza, considerado de longa duração. Por isso, a persistência das pessoas que trabalham neste processo é considerada uma virtude. O lançamento de novos cultivares leva em média 13 anos, após inúmeras avaliações dos clones, por meio de experimentos, sendo observadas as reações deles em relação às doenças e pragas, assim como a produtividade em diferentes ambientes de produção. Atualmente são cultivadas variedades RB em quase 60% da área plantada no Brasil. O principal fator de aumento de produtividade é decorrente dos cultivares de cana-de-açúcar. Foi constatado um aumento de mais de 30% no rendimento de açúcar por hectare desde o início do programa de incentivo ao uso do etanol no Brasil. A qualidade da matéria-prima e o prolongamento do período de safra foi possível devido ao uso de cultivares de maturação precoce. “O melhoramento genético contribui também para a sustentabilidade do sistema de produção, pois exclui totalmente a utilização de fungicidas nas lavouras, pelo fato de os cultivares serem tolerantes às principais doenças fúngicas” (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2012).

Anualmente são lançadas cerca de seis novas variedades no mercado, o que vem fazendo, com que, sejam cultivadas aproximadamente 500 variedades anualmente (CGEE, 2008).

2.3.2A Cana-energia

Para atender à necessidade energética da humanidade, de uma forma sustentável, de modo que não haja competição com a produção de alimentos, chegou-se à conclusão de que só através do melhoramento genético chegaria a uma solução, e essa solução passaria pela produção de plantas fibrosas em vez de amiláceas e oleaginosas (STICKLEN, 2008 apud MATSUOKA et al., 2010).

De acordo com Matsuoka et al. (2010), os requisitos para produção de biomassa que atenda às necessidades referenciadas são:

- a) Plantas de alta eficiência energética, isto é, de alta capacidade de transformação da energia solar em biomassa sem requerer muita água, nutrientes e outros *inputs* (plantas C4);
- b) Crescimento perene e dossel de longa duração para permitir colheita durante a maior parte do ano;
- c) Possibilidade de aplicação de tecnologia agrícola de produção em grande escala;
- d) Ser de fácil e eficiente transformação em formas utilizáveis de energia; e exploração sustentável, econômica e ambientalmente, com pouco trabalho de preparo de solo (menos erosão) e de plantio (perene) e menor uso de fertilizantes e outros insumos.

CGEE (2009) considera que essa finalidade energética vem tomando força através de desenvolvimento de variedades de cana concebidas para atendimento a esse objetivo. A variedade concebida pelo nome de cana-energia maximiza a produção de energia. Elas poderão priorizar a maximização da disponibilidade de energia primária da cana por hectare, a maximização da energia secundária, a maximização da redução das emissões de gases de efeito estufa ou a maximização do lucro.

É notório que nas últimas quatro décadas houve significativo ganho de rendimento de açúcar e aumento da rentabilidade das empresas do setor açucareiro brasileiro e alagoano com a adoção dos modernos genótipos. Entretanto, à medida que toda a cana possa ser colhida (colmo, ponteiros e palhas), com o aproveitamento dos seus açúcares (sacarose, glicose e frutose) e das fibras (celulose, hemicelulose e lignina), essa cultura passa a

ser uma fonte de enorme interesse. Assim, será possível utilizá-la numa ampla gama de produtos em processos integrados e interdependentes e as atuais usinas de açúcar e etanol se configuram cada vez mais no contexto das chamadas Biorrefinarias. Com isso, vislumbra-se que essas Biorrefinarias possam produzir outros produtos derivados da cana além daqueles tradicionais. As projeções mostram que a cana possa produzir biocombustíveis avançados, como etanol celulósico, o diesel de cana, o bioquerosene de aviação, além de plástico biodegradável, bioquímicos, fármacos e polímeros para a fabricação de cosméticos e fragrâncias (BNDES/CGEE, 2008).

Como a produtividade é o principal direcionador para a sustentabilidade de qualquer fonte de energia de biomassa (Econômica, ambiental, social, etc.), cana-energia tem potencial para contribuir de forma eficaz para a demanda mundial de avanços em bioenergia. Sugeriu-se que a cana sozinha poderia suprir o aumento esperado na demanda mundial de energia, petróleo e eletricidade até 2030. Se cana-energia é desenvolvida e utilizada em vez de cana convencional, a sua proposição seria muito mais fácil de atingir, especialmente com o desenvolvimento completo da tecnologia de etanol de segunda geração (MATSUOKA et al., 2014).

Devido ao cenário do estado de Alagoas com oferta de bagaço e palha de cana da colheita mecanizada a serem aproveitados, em maio de 2012 houve a implantação no Estado da primeira biorrefinaria do Hemisfério Sul, com operação iniciada em 2014 para produção do bioetanol celulósico (FINEP, 2013) *apud* Barbosa (2014).

2.4 O Etanol da cana-de-açúcar

2.4.1 A importância socioeconômica e ambiental

Após a 2ª. Guerra Mundial existiram constantes alterações na cotação do açúcar no mercado internacional e como nossas indústrias possuíam equipamentos obsoletos, encontrava-se em desvantagens em relação às indústrias da Austrália e África do Sul. Em decorrência desta nova realidade, o parque industrial açucareiro foi forçado a uma mudança de atitude para manutenção da sua sobrevivência, então coube a Copersucar – Cooperativa formada em 1959 por produtores paulistas, visando à defesa de seus preços de comercialização, a iniciativa de buscar novas tecnologias para o setor. Da África do Sul vieram vários equipamentos modernos. Na área agrícola houve a busca por novas variedades de cana mais produtivas e mais resistentes às pragas e doenças. As entidades Copersucar, IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e o IAA-Planalsucar foram às responsáveis pelos avanços implementados. Esse período de renovação culminou com a elevação dos preços do **açúcar** no mercado internacional atingindo a marca histórica de mais de US\$ 1.000.00 a

tonelada. O aumento dos preços possibilitou a criação pelo IAA do Funproçúcar que financiou a modernização da maioria das indústrias, no ano de 1973. Todos estes fatos foram de extrema importância para o Brasil enfrentar as crises do petróleo que se seguiram a partir de 1973, através do Proálcool. Este Programa, criado em 1975, foi o responsável pelo incentivo à produção e consumo de etanol como combustível em substituição à gasolina, e provocou com isto, o desenvolvimento de novas regiões produtoras como o Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em menos de cinco anos, a produção pulou de 300 milhões de litros para mais de 11 bilhões de litros, mostrando o Proálcool como o maior programa de energia renovável estabelecido no mundo, economizando através dele mais de U\$30 bilhões em divisas (CGEE, 2009). Na produção do etanol o estado de Alagoas se sobressai como o maior produtor da região Nordeste e o terceiro do Brasil. De acordo com as informações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) 2007, Alagoas contava com 25 usinas, das quais quatro produziam somente açúcar, e estavam localizadas, principalmente, numa faixa de 50 km de largura paralela ao litoral (BNDES/CGEE, 2008). Segundo SINDAÇÚCAR (2017), na Safra 2016/2017, Alagoas contou com 18 usinas em operação e destas 18 usinas, apenas 14 produziram etanol. Nesta safra os fornecedores contribuíram com 4.900.100 toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2017).

O etanol é um combustível, oriundo de biomassa ou processos petroquímicos e carboquímicos, contudo, estes são derivados do petróleo. A principal diferença é o elevado teor de oxigênio, combustível, apresenta diferenças importantes em comparação com combustíveis convencionais que constitui cerca de 35% em massa do etanol. As características do etanol produzem uma combustão mais limpa e um melhor desempenho dos motores, contribuindo para a redução das emissões poluidoras, mesmo quando misturado à gasolina. Quando o etanol, neste caso, o anidro, é misturado à gasolina, comporta-se como um aditivo para o combustível normal, proporcionando melhorias em suas propriedades (BNDES/CGEE, 2008).

“Com a conferência das Nações Unidas, Rio 92, a sustentabilidade passou a ser considerada nos seus três pilares – ambiental, social e econômico” (BNDES/CGEE, 2008), logo é de vital importância analisar a produção desse combustível, levando em consideração esses pilares.

Segundo BNDES/CGEE (2008), os impactos ambientais que estão associados a produção de cana e etanol a serem considerados na análise de sustentabilidade são:

- Emissões de gases de efeito estufa – emissões de efeito global e local associados a pré-colheita da cana, consumo de combustíveis fósseis no campo

e indústria, movimentação da terra no preparo, manutenção e colheita, processo fermentativo;

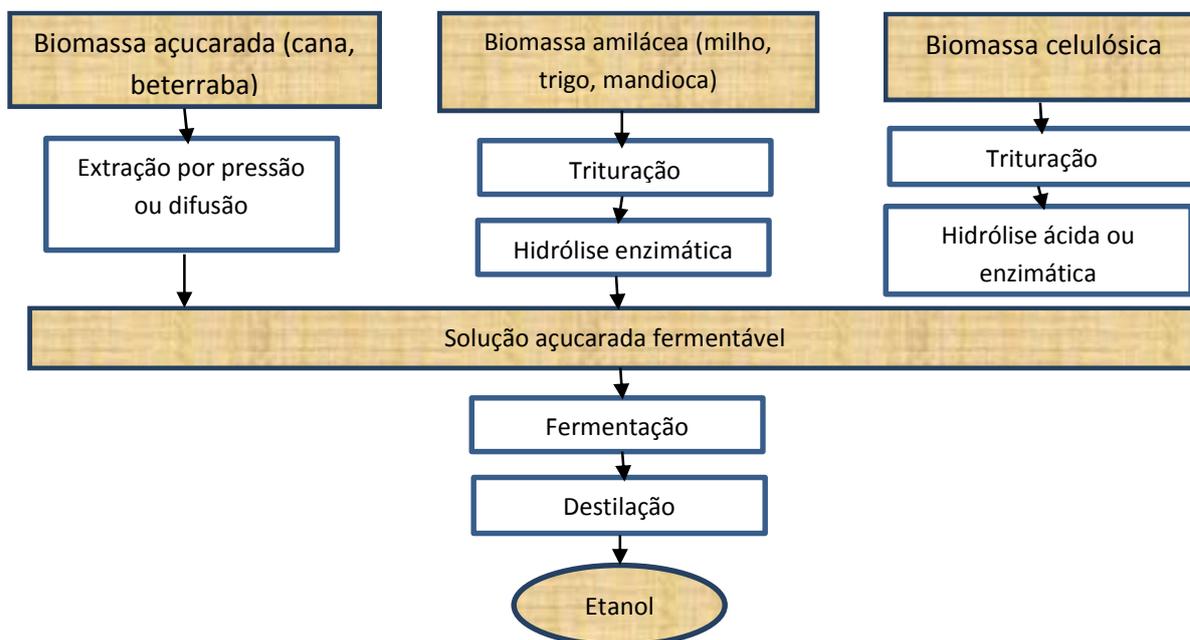
- Uso de água e disposição de efluentes (águas residuárias e vinhaça);
- Uso de defensivos agrícolas e fertilizantes;
- Erosão e proteção da fertilidade do solo e da biodiversidade.

Em decorrência do grande rendimento fotossintético já comprovado na produção de cana-de-açúcar e no processo de conversão do etanol, o uso do etanol em substituição aos combustíveis fósseis reduz enormemente as emissões dos gases de efeito estufa. Essa redução é considerada como um dos aspectos mais importantes associados a produção do etanol.

2.4.2 Processo de obtenção do etanol

O etanol pode ser obtido através de qualquer biomassa que tenha teores significantes de amido ou açúcares, conforme rotas tecnológicas demonstrada na Figura 1. As matérias-primas amiláceas, como milho, trigo e mandioca, têm este conteúdo convertido para açúcares por processo enzimático a altas temperaturas. Posteriormente são fermentadas por leveduras e o vinho resultante é destilado. No caso da matéria-prima cana-de-açúcar, o processo é bem mais simples envolvendo uma etapa a menos, devido aos açúcares já estarem disponíveis na biomassa. Esse processo baseia-se na extração dos açúcares da cana, por meio de moagem ou difusão, que podem seguir diretamente para a fermentação. No caso da cana-de-açúcar, há no Brasil uma produção de **80 toneladas de cana por hectare**, uma produtividade de **85 litros de etanol por tonelada de cana processada** e a utilização de **30% do bagaço disponível e metade de palha, convertida em etanol à razão de 400 litros por tonelada de biomassa celulósica seca**. A produtividade média de etanol da cana-de-açúcar é em torno de **6.800 l/ha para etanol 1G e 3.000 l/ha para etanol 2G, totalizando 9.800 l/ha, valor esse bem superior as demais culturas** (BNDES/ CGEE, 2008).

Figura 1 – Rotas Tecnológicas para produção do etanol



Fonte: BNDES/CGEE (2008), Elaboração de Luiz Augusto Horta Nogueira.

2.4.2.1 Processo de obtenção do etanol de primeira geração – E1G

No Brasil os únicos combustíveis encontrados nos postos de combustíveis para motores com ignição de centelha são: gasolina regular e premium, ambas com teores de etanol anidro entre 25% e 27% e etanol hidratado, usadas em veículos aptos para seu uso. Sua produção é obtida tanto utilizando o melaço ou mel final (solução residual rica em açúcar), proveniente da centrifugação do processo de produção de açúcar, o caldo de cana direto, como a mistura de caldo e melaço. No caso de caldo da cana direto, as primeiras etapas do processo de fabricação são: peneiramento do caldo, tratamento químico para coagulação, floculação e precipitação de impurezas, as quais são eliminadas pela decantação. Deste processo sai um resíduo com açúcares, que passa por filtros rotativos a vácuo, denominado torta de filtro, que é utilizado posteriormente como adubo. Após a decantação, o caldo passa por uma calagem, aquecimento e decantação, e em seguida é misturado com mel, dando origem ao mosto de fermentação (solução açucarada e pronta para ser fermentada). O mosto alimenta reatores, intitulados dornas de fermentação, onde são adicionadas as leveduras (fungos unicelulares da espécie *Saccharomyces cerevisiae*), fermentado por um período de 8 a 12 horas, originando o vinho “levurado”, com uma concentração de 7% a 10% de álcool. Este vinho é centrifugado, indo a massa leitosa, contendo as leveduras, para os pré-fermentadores, onde passará por adição de água, ácido sulfúrico (para controle de pH) e caso necessário adição de bactericidas, para posteriormente retornar as dornas de fermentação. Já o vinho “delevurado” é enviado

para as colunas de destilação, retificação (etanol hidratado com ± 96 °GL), resultando na liberação de um resíduo (vinhaça), numa proporção de 10 a 13 litros por litro de etanol produzido, e desidratação (etanol anidro com $\pm 99,7$ °GL), após passar por uma coluna de desidratação com adição de ciclohexano, formando uma mistura azeotrópica ternária, com ponto de ebulição inferior ao do etanol anidro. Na coluna de desidratação, o ciclohexano é adicionado no topo, o etanol anidro é retirado no fundo. A mistura ternária é retirada no topo, em seguida condensada e decantada, sendo a parte rica em água enviada a recuperação do ciclohexano (BNDES/CGEE, 2008).

Segundo BNDES/CGEE (2008), uma tonelada de cana produz em média 100 kg de açúcar, além de produzir 20 litros de etanol do melaço. Considerando os valores médios (valores adaptados de CTC, 2005), com uma tonelada de cana é produzido 86 litros de etanol hidratado, e ainda é possível obter 23 litros de etanol hidratado por tonelada de cana por meio do melaço.

2.4.2.2 Processo de obtenção do Etanol Lignocelulósico – E2G

BNDES/CGEE (2009), discorre sobre o processo de obtenção de etanol de segunda geração (E2G), conforme seja:

O etanol tem sido produzido pela hidrólise e fermentação de materiais lignocelulósicos desde o fim do século XIX, porém apenas nos últimos 20 anos, esta opção tem sido oferecida para atender ao mercado de combustíveis. As tecnologias para obtenção do etanol de materiais lignocelulósicos envolvem a hidrólise dos polissacarídeos da biomassa em açúcares fermentescíveis e sua posterior fermentação. Para quebrar as moléculas de materiais lignocelulósicos, a hidrólise é realizada através de processos físicos, químicos e biológicos ou a combinação deles. A biomassa lignocelulósica é composta de polissacarídeos (celulose e hemicelulose) e pela lignina. A fração celulósica (40%-60% da matéria seca) é um polímero linear do dímero glicose-glicose (celobiose), rígido e difícil de ser quebrado; sua hidrólise gera a glicose, cuja fermentação com *Saccharomyces cerevisiae* já é dominada. Já a fração hemicelulósica (20%-40%) é constituída de uma cadeia principal de xilose com várias ramificações de manose, arabinose, galactose, ácido glicurônico, etc., apesar de ser hidrolisada mais facilmente, a sua fermentação (pentoses) não é tão desenvolvida como a fermentação da glicose. A fração de lignina (10%-25%) não é pretendida para a fabricação de etanol por rotas fermentativas. Ela é utilizada como fonte de energia elétrica para os processos, de forma a garantir a autossuficiência, reduzindo a dependência de recursos energéticos fósseis externos, possibilitando maior viabilidade econômica e ambiental aos processos.

A Figura 2 mostra o processo de produção do etanol 2G, conforme relato a seguir:

A primeira etapa de produção deste tipo de etanol consiste no pré-tratamento mecânico da matéria-prima, que visa à limpeza e à quebra do material, de modo a provocar a destruição da estrutura celular e torná-la mais fácil aos tratamentos químicos ou biológicos posteriores. A segunda etapa trata-se da remoção da lignina e hidrólise da hemicelulose, também chamado de pré-tratamento. Entre eles podem ser citados: explosão a vapor, a biomassa triturada é tratada com vapor saturado (160°-260° C) seguida de rápida descompressão; termodrólise, onde é utilizada água quente a alta pressão; biológicos, utilizando-se fungos para solubilizar a lignina, etc. Na etapa de hidrólise propriamente dita, a celulose é convertida em glicose, segundo a seguinte reação, que pode ser catalisada por ácido diluído, ácido concentrado ou enzimas (celulase):



A hidrólise ácida (tanto concentrada quanto diluída) ocorre em dois estágios devido às diferenças entre hemicelulose e celulose. O primeiro estágio envolve a hidrólise da hemicelulose e no segundo estágio, são aplicadas temperaturas mais altas para otimizar a hidrólise da fração celulósica. O processo com ácido diluído utiliza altas temperaturas e pressões, com tempos de reação de segundos a alguns minutos, o que facilita a utilização de processos contínuos. Já os processos com ácido concentrado são conduzidos em condições mais brandas e com tempo de reação mais longo. No processo enzimático, a hidrólise é catalisada por enzimas chamadas genericamente de celulases. Este processo é conduzido em condições brandas (pH 4,8 e temperatura entre 45° e 50° C), por este motivo seu custo de utilidades é relativamente baixo, além de permitir maiores rendimentos, possibilitar a fermentação simultânea à sacarificação e apresentar baixo custo de manutenção. Devido ao seu grande potencial de evolução e redução de custos, muitos especialistas vêem a hidrólise enzimática como um caminho provável para a produção do etanol a um custo competitivo à longo prazo.

Figura 2 – Fluxo de Produção de etanol 2G



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=rotas+tecnológicas+para+produção+de+etanol&espv>

2.4.3 Impactos Socioeconômicos e Ambientais da Produção de Etanol de Primeira Geração

Considerando todo o processo de produção do etanol de primeira geração (1G), os resíduos são constituídos pela vinhaça (entre 800 a 1.000 litros por tonelada de cana processada), a torta de filtro (aproximadamente 40 kg úmidos por tonelada de cana processada) e cinzas das caldeiras. Estes resíduos são valorizados e efetivamente constituem subprodutos, que são reciclados e utilizados como fertilizantes, contribuindo desta forma para reduzir a quantidade de fertilizantes usados pela empresa. O bagaço é utilizado para cogeração de energia e a palha de cana é utilizada parte para proteção do solo e parte para alimentação do gado. O consumo de água no processo é considerado alto, mas vem sendo reduzido devido à implantação de medidas de reuso. A demanda por energia é alta, onde o consumo de energia térmica para o etanol hidratado é de 3,0 kg a 3,5 kg de vapor por litro de etanol e o processo de destilação azeotrópica com ciclohexano com um consumo de 1,5 kg a 2,0 kg de vapor por litro de etanol anidro. **A demanda por energia elétrica é próxima de 12 kWh por tonelada de cana processada** (BNDES/CGEE, 2008). A Tabela 1 apresenta as demandas de energia por processo numa unidade sucroalcooleira.

Tabela 1 - Demanda de energia no processamento da cana

ENERGIA	UNIDADE	AÇÚCAR	ETANOL HIDRATADO	ETANOL ANIDRO
Térmica Como vapor saturado a 1,5 bar(manométrico), para aquecedores, evaporadores e destilaria	Kg/tc	470-500	370-410	500-580
Mecânica Acionamento dos sistemas de preparo e moagem da cana e motobombas	KWh/tc	16	16	16
Elétrica Motores elétricos diversos, iluminação e outra cargas	Kwh/tc	12	12	12

Fonte: BNDES(2008), Adaptado de Pizaia (1998).

Por sua contribuição socioeconômica e ambiental, o etanol brasileiro têm reconhecimento mundial, conforme Santos; Colodette; Queiroz (2013):

A sustentabilidade do biocombustível da cana-de-açúcar foi reconhecida pela Agência Norte Americana de Meio Ambiente – EPA e um dos destaques apresentados pelo Brasil na Conferência Mundial de desenvolvimento Sustentável ocorrida no Rio de Janeiro em 2012, a Rio + 20.

2.4.4 Impactos Socioeconômico e Ambiental na Produção de Etanol de Segunda Geração - 2G

A fermentação dos açúcares do hidrolisado a etanol, independente do método utilizado, segue os mesmos princípios para o caso da produção com base em amido ou açúcares. Entretanto, no caso da hidrólise, boa parte do hidrolisado é composto por açúcares de cinco carbonos, os quais não podem ser fermentados por linhagens selvagens de *saccharomyces cerevisiae*. Até o momento, a maioria dos processos ou descarta essa fração dos açúcares, ou realiza a fermentação em duas etapas, o que compromete a sua viabilidade econômica (BNDES/CGEE, 2008). Num futuro, a tendência é que essas transformações aconteçam

simultaneamente em um menor número de reatores, necessitando de microrganismos capazes de fermentar ambos os açúcares com alto rendimento. Isto tem feito os pesquisadores recorrerem à engenharia genética para adicionar rotas metabólicas de pentose em leveduras e outros microrganismos bioetanológicos e também melhorar o rendimento dos microrganismos capazes de fermentar ambos os açúcares (GALBE; ZACCHI, 2002; LYND et al., 2005; GRAY et al., 2006) *apud* (BNDES/CGEE,2008).

Como mencionado anteriormente considera-se o processo de hidrólise enzimática um custo mais competitivo e de menor impacto ambiental.

No Brasil, a tecnologia de hidrólise também tem sido desenvolvida, com pesquisas aplicadas em um estágio avançado. Há alguns anos, em um projeto envolvendo a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), a Dedini Indústrias de Base vem testando em escala-piloto um processo para a produção de etanol com base no bagaço e, eventualmente, palha de cana, por meio de um tratamento Organosolv (mistura de um solvente orgânico - metanol, etanol e acetona, por exemplo – com um catalisador ácido (H_2SO_4 , HCl)) combinado com a hidrólise com ácido diluído(BNDES/CGEE, 2008).

Com esta tecnologia oportunizam-se mais ganhos econômicos para a indústria sucroalcooleira, devido a maior produtividade de etanol utilizando-se resíduos como palha e bagaço, maior valor agregado tanto para a indústria como para o fornecedor de cana que irá receber pela palha, anteriormente queimada, provocando emissões de gases de efeito estufa, mitigando conseqüentemente os impactos ambientais.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa documental, obtenção de dados resultantes de pesquisa agrícola e construção de cenários para três Regiões de Alagoas produtoras de cana-de-açúcar.

Foram construídos cinco cenários para cada uma das três regiões, totalizando 15 cenários. As regiões selecionadas foram as Regiões Norte, Centro e Sul, devido serem as que têm maior relevância produtiva um maior volume de produção, conseqüentemente um maior número de empregos, maiores receitas de venda, maior arrecadação de impostos. Essas regiões apresentam diferenças de clima que fazem diferenças nas características agrícolas e conseqüentemente provocando diferenças nos rendimentos agroindustriais.

Tabela 2 – Diferentes cenários para uso da cana-de-açúcar e cana-energia para a produção de etanol 1G e 2G e energia elétrica, de acordo com o percentual de uso do excedente de bagaço e dos níveis de ATR, Pol do bagaço, Pureza do caldo residual e fibra.

CENÁRIOS	CARACTERISTICAS
C1*	Cana-de-açúcar para produção de etanol 1G e uso de 70% do bagaço excedente para produção de energia elétrica para a venda.
C2	Cana-de-açúcar para produção de etanol 1G e uso de 30% de bagaço excedente para produção de etanol 2G e 70% do bagaço excedente para a produção de energia elétrica para a venda.
C3	Cana-de-açúcar para produção de etanol 1G e uso de 70% de bagaço excedente para produção de etanol 2G e 30% do bagaço excedente para a produção de energia elétrica para a venda.
C4**	Cana-energia para produção de etanol 1G e uso de 30% de bagaço excedente para produção de etanol 2G e 70% do bagaço para a produção de energia elétrica para a venda.
C5	Cana-energia para produção de etanol 1G e uso de 70% de bagaço excedente para produção de etanol 2G e 30% do bagaço excedente para a produção de energia elétrica para a venda.

*: Nos cenários de cana-de-açúcar foram considerados valores de ATR, Pol do Bagaço, Pureza do caldo residual e Fibra das Regiões estudadas (média das safras 2015/2016, 2016/2017).

** : Nos cenários de cana-energia forma considerados três combinações de ATR, Pol do Bagaço, Pureza do caldo residual e Fibra, de acordo com as Regiões estudadas.

A Região Norte tem clima tropical chuvoso com verão seco e inverno úmido. As temperaturas variam entre 23°C e 28°C. As chuvas se concentram no inverno, registrando índices de precipitação entre 1.800 e 2.000 mm/ano. Na Região Sul do estado, o clima é quente e úmido. As temperaturas médias oscilam entre 20°C e 25°C, mas chegam a registrar índices inferiores a 18°C. Nos meses de abril a junho as chuvas são mais frequentes. O índice pluviométrico fica na faixa de 1.100 a 1.500 mm/ano podendo chegar a 1.800 mm. A Região Centro apresenta um comportamento intermediário com um índice pluviométrico oscilando entre 1.500 a 1.700 mm/ano (ALAGOAS EM DADOS, 2016).

Dentre esses cenários, o primeiro construído foi para cana-de-açúcar com a realidade atual, o segundo e terceiro foram de cana-de-açúcar propondo modificações no processo para fabricar E1G + E2G e os outros dois cenários foram considerados utilizando cana-energia com diferentes valores para ATR (Açúcares Totais Recuperáveis), Pol do Bagaço (sacarose aparente do bagaço) e fibra. Os dados para cana-energia foram obtidos de resultados de pesquisa, realizadas pela RIDESA/UFAL nas três Regiões citadas.

Premissas utilizadas nos cálculos:

Os dados considerados para cana-de-açúcar foram médias das últimas duas safras (2015 / 2016, 2016 / 2017) em unidades produtoras, localizadas nas Regiões Norte, Centro e Sul do Estado de Alagoas.

Os dados para cana-energia foram considerados os valores mínimos, médios e máximos de três experimentos localizados nas três regiões já citadas, para as características ATR, Pol do bagaço e Fibra.

Foi considerada uma área colhida de cana de 20.000 hectare por empresa. Para a produtividade da cana-de-açúcar foi considerado um valor médio de empresas inovadoras do estado igual a **70 TCH** (tonelada de cana por hectare). Já para cana-energia foi considerado o valor médio do intervalo citado pela referência BNDES/CGEE (2008), ou seja, **100 TCH**.

A umidade (**UM**) do bagaço foi considerada um valor médio encontrado nas três regiões para os cenários de cana-de-açúcar (safras 2015/2016 e 2016/2017) e de 50% para cana-energia.

Foi utilizada a fórmula para cálculo do Bagaço % excedente de cana informada pelas usinas Caeté (Região Centro) e Santo Antônio (Região Norte).

$$\text{Bagaço \% de cana} = F / \{100 - [UM + ((\text{Pol}_B \% / \text{PZA}_{\text{RES}}) \times 100)]\} \times 100$$

Onde PZA_{RES} = pureza do caldo residual é o teor de açúcar após extração da última moenda.

O cálculo de bagaço excedente foi feito multiplicando o bagaço total por 33%, onde esse percentual é a média de sobra do bagaço após o uso pela unidade produtora na produção de vapor e energia para suas necessidades operacionais.

Litros de etanol hidratado por tonelada de cana foi calculado multiplicando **o valor do ATR pelo fator 0,59126**, conforme referência NOVACANA (2017) e o preço pago ao produtor de R\$1,7172 por litro CIF foi obtido do CEPEA (2017).

CIF = com frete e impostos inclusos no preço.

Para o cálculo da BCS (biomassa celulósica seca) foi considerado que uma tonelada de cana gera em média 250 kg de bagaço e 200 kg de palhas e pontas, com **umidade média de 50% para bagaço e 9,7% para folhas e pontas**, conforme referência BNDES/CGEE (2008).

Foi considerado que a **BCS produz em média 400 l.t⁻¹ de etanol hidratado**, de acordo com a referência BNDES/CGEE (2008).

Para o cálculo de **geração de energia a partir da BCS**, foi utilizada a relação de **12 kWh** por tonelada de cana, informação obtida da referência www.novacana.com/estudos/a-cana-de-acucar-como-fonte-de-energia-eletrica-241013/. E o valor pago ao produtor de **R\$241,08 por megawatt para a Região Nordeste** do obtido de NOVACANA (2017).

3.2 Resultados

3.2.1 Resultados para a Região Norte do Estado de Alagoas

Os resultados da Tabela 3 demonstram o comportamento operacional atingido para as situações simuladas com matérias-primas com características diferenciadas em relação à ATR, Pol_B e Fibra, comprovando que as diferenças a menor dos rendimentos na indústria são grandemente suplantados pelo alto rendimento agrícola da matéria-prima cana-energia, provocando grande elevação da moagem e da Biomassa Celulósica Seca comparado com a matéria-prima cana-de-açúcar.

Tabela 3 – Produção de Biomassa Celulósica Seca para uma unidade da Região Norte do Estado de Alagoas, baseada nos cenários e premissas consideradas.

Cenários	Área ha	Produtividade TCH	Moagem t	ATR Kg.t ⁻¹	Pol_B %	UM %	PZA_{RES}	F %	BCS ¹ t.tc ⁻¹	BCS ² t.tc ⁻¹
C1	20.000	70	1.400.000	130,65	2,01	50,46	76,24	16	0,0398	-----
C2	20.000	70	1.400.000	130,65	2,01	50,46	76,24	16	0,0398	0,0170
C3	20.000	70	1.400.000	130,65	2,01	50,46	76,24	16	0,0170	0,0398
C4(1)	20.000	100	2.000.000	110,00	1,69	50,00	64,19	18	0,0763	0,0685
C4(2)	20.000	100	2.000.000	100,00	1,54	50,00	58,35	20	0,0833	0,0755
C4(3)	20.000	100	2.000.000	90,00	1,38	50,00	52,52	22	0,0902	0,0825
C5(1)	20.000	100	2.000.000	110,00	1,69	50,00	64,19	18	0,0685	0,0763
C5(2)	20.000	100	2.000.000	100,00	1,54	50,00	58,35	20	0,0755	0,0833
C5(3)	20.000	100	2.000.000	90,00	1,38	50,00	52,52	22	0,0825	0,0902

ATR - Açúcares Totais Recuperáveis; Pol_B - sacarose aparente do bagaço; UM – Umidade do bagaço; F – Fibra da cana; BCS – Biomassa Celulósica Seca; BCS¹ – fator utilizado na produção de energia elétrica; BCS² - fator utilizado na produção de etanol 2G. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

O cenário C1 é a situação atual das unidades produtoras da região considerada, onde são utilizadas em média 70% da BCS para produzir energia e as restantes 30% são armazenadas para utilização na próxima safra, enquanto que nos outros cenários estariam sendo considerados a produção do E2G, utilizando 30% da BCS e 70% da BCS para produção de energia.

A simulação apresentada com os cenários propostos (Tabelas 4 e 5), considera o uso de percentuais diferentes da biomassa celulósica seca para a produção de etanol 2G e geração de energia elétrica. A opção de cana-energia com 90 de ATR e 22% de fibra foi a situação que

gerou mais energia elétrica em relação aos demais cenários (14.995.205,32 kWh). Os resultados financeiros obtidos comprovam a efetividade dos cenários com cana-energia, independente dos percentuais diferentes de utilização da biomassa celulósica seca para produção de etanol 1G e 2G. Porém, o cenário C5(1) que tem fibra 18,00 % e ATR de 110 mostra-se o mais vantajoso operacional e financeiramente, o que demonstra ser o de característica mais recomendada.

Considerando apenas a geração de energia elétrica, o cenário mais recomendado, ou seja, o que apresenta um melhor resultado operacional, independente do percentual de biomassa celulósica seca utilizada para geração dessa energia é o cenário C4(3) que tem uma fibra de 22%, usando 70% do bagaço excedente, ATR de 90, provocando maior faturamento com a venda deste produto (R\$3.615.044,00).

Fazendo-se uso de cana-de-açúcar e modificações no processo produtivo para agregar a inserção da produção do etanol 2G, o resultado financeiro é R\$37.597.325,80 superior a situação de produção de etanol 1G (Diferença da receita entre os cenários C3 e C1). Nos cenários utilizando a cana-energia como matéria-prima o resultado mais significativo é o da cana com ATR de 110,00 e fibra de 18,00% C5(1), elevando o faturamento com venda dos produtos em R\$144.079.317,73 considerando o cenário C1 para cana-de-açúcar (situação atual das usinas nesta região). Mesmo considerando o cenário C3 que também usa a matéria-prima cana-de-açúcar, a diferença na receita com a venda dos produtos ainda é muito considerável em favor do cenário C5(1) da cana-energia, alcançando o valor de R\$106.491.991,93.

Tabela 4 – Rendimentos e receitas da produção de E1G, E2G (l.ha⁻¹) e geração de energia elétrica em kWh da Região Norte do Estado de Alagoas, baseados nos cenários e premissas consideradas.

Cenários	E1G l.ha ⁻¹	E2G l.ha ⁻¹	E _{TOTAL} l.ha ⁻¹	Receita com a venda de (E1G + E2G) R\$.ha ⁻¹	EE kWh	Receita obtida na venda da EE R\$
C1	5.407,35	0,00	5.407,35	9.284,99	4.626.102,22	1.115.260,72
C2	5.407,35	477,15	5.884,52	10.104,31	4.626.102,22	1.115.260,72
C3	5.407,35	1.113,35	6.520,72	11.196,72	1.982.615,24	477.968,88
C4(1)	6.503,86	2.741,06	9.244,92	15.874,45	12.679.179,58	3.056.696,61
C4(2)	5.912,60	3.019,75	8.932,35	15.337,74	13.837.192,45	3.335.870,36
C4(3)	5.321,34	3.298,45	8.619,79	14.801,03	14.995.205,32	3.615.044,10
C5(1)	6.503,86	3.051,46	9.555,32	16.407,43	11.389.428,88	2.745.763,52
C5(2)	5.912,60	3.330,15	9.242,75	15.870,73	12.547.441,76	3.024.937,26
C5(3)	5.321,34	3.608,85	8.930,19	15.334,02	13.705.454,63	3.304.111,00

E1G – Etanol de 1^a. Geração; E2G – Etanol de 2^a. Geração; E_{TOTAL} - Etanol Total; EE – Energia Elétrica. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

Tabela 5 – Receitas com a venda de E1G, E2G e energia elétrica para os cenários propostos na Região Norte.

Cenários	Receita com a venda total de (E1G+E2G) R\$	Receita total com a venda de (E1G+E2G) + EE R\$
C1	185.699.843,19	186.815.103,91
C2	202.086.107,89	203.201.368,61
C3	223.934.460,83	224.412.429,71
C4(1)	317.488.901,32	320.545.597,93
C4(2)	306.754.797,46	310.090.667,82
C4(3)	296.020.693,60	299.635.737,70
C5(1)	328.148.658,12	330.894.421,64
C5(2)	317.414.554,26	320.439.491,52
C5(3)	306.680.450,41	309.984.561,41

E1G – Etanol de 1^a. Geração; E2G – Etanol de 2^a. Geração;
E_{TOTAL} - Etanol Total; EE – Energia Elétrica. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

3.2.2 Resultados para a Região Centro do Estado de Alagoas

Os resultados da Tabela 6 demonstram o comportamento operacional atingido para as situações simuladas com matérias-primas com características diferenciadas em relação a ATR, POL_B e Fibra, comprovando que as diferenças a menor dos rendimentos na indústria são grandemente suplantados pelo alto rendimento agrícola da matéria-prima cana-energia, provocando grande elevação da moagem e da Biomassa Celulósica Seca comparado com a matéria-prima cana-de-açúcar.

Tabela 6 – Produção de Biomassa Celulósica Seca para uma unidade da Região Centro do Estado de Alagoas, baseada nos cenários e premissas consideradas.

Cenários	Área ha	Produtividade TCH	Moagem t	ATR Kg.t ⁻¹	Pol _B %	UM %	PZA _{RES}	F %	BCS ¹ t.tc ⁻¹	BCS ² t.tc ⁻¹
C1	20.000	70	1.400.000	138,00	2,53	48,64	78,60	13,5	0,0315	-----
C2	20.000	70	1.400.000	138,00	2,53	48,64	78,60	13,5	0,0315	0,0135
C3	20.000	70	1.400.000	138,00	2,53	48,64	78,60	13,5	0,0135	0,0315
C4(1)	20.000	100	2.000.000	117,00	2,15	50,00	66,90	17	0,0735	0,0658
C4(2)	20.000	100	2.000.000	99,00	1,83	50,00	56,86	20	0,0841	0,0764
C4(3)	20.000	100	2.000.000	84,00	1,56	50,00	48,33	24	0,0982	0,0905
C5(1)	20.000	100	2.000.000	117,00	2,15	50,00	66,90	17	0,0658	0,0735
C5(2)	20.000	100	2.000.000	99,00	1,83	50,00	56,86	20	0,0764	0,0841
C5(3)	20.000	100	2.000.000	84,00	1,56	50,00	48,33	24	0,0905	0,0982

ATR - Açúcares Totais Recuperáveis; Pol_B - sacarose aparente do bagaço; UM – Umidade do bagaço; F – Fibra da cana; BCS – Biomassa Celulósica Seca; BCS¹ – fator utilizado na produção de energia elétrica; BCS² - fator utilizado na produção de etanol 2G. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

Os resultados financeiros demonstrados nas Tabelas 7 e 8 comprovam a efetividade dos cenários com cana-energia, independente dos percentuais diferentes de utilização da biomassa celulósica seca para produção de etanol 1G e 2G. Porém o cenário C5(1) que tem fibra 17,00 % e ATR de 117, mostra-se o mais vantajoso operacional e financeiramente, o que sinaliza ser o de característica mais recomendado.

Já na geração de energia elétrica, conforme mostrado na Tabela 7, o cenário mais recomendado, ou seja, o que apresenta um melhor resultado operacional é o cenário C4(3) que tem uma fibra de 24% e ATR de 84, provocando maior faturamento com a venda deste produto, a saber: R\$3.936.577,03.

Assim como no caso da Região Norte, na Região Centro do Estado foi considerada a situação atual de produção das unidades produtoras – C1 e mais oito situações, onde o cenário C2 e C3, seria necessária modificações nos processos para a produção de E2G, mas utilizando a cana-de-açúcar como matéria-prima. Já os outros cenários foram utilizadas a cana-energia com diferentes características para ATR, POL_B, e Fibra. Verificou-se que mesmo mantendo a cana-de-açúcar como matéria-prima, a produção de E1G + E2G tem resultados melhores, mas inferior aos cenários com cana-energia. O cenário C5(1) de cana-energia com ATR de 117 e fibra de 17, mostra-se mais efetivo que os demais.

No cenário C3, com o uso de cana-de-açúcar e fazendo modificações no processo produtivo para agregar a inserção da produção do etanol 2G, o resultado financeiro é R\$29.792.468,50 superior a situação atual, ou seja, C1. Nos cenários utilizando a cana-energia como matéria-prima o resultado mais significativo é o cenário C5(1) com ATR de 117 e fibra de 17,00%, elevando o faturamento com venda dos produtos em R\$144.185.538,08 considerando o cenário C1 para cana-de-açúcar (situação atual). Mesmo considerando o cenário C3 que é o que produz um melhor resultado usando a matéria-prima cana-de-açúcar, a diferença na receita com a venda dos produtos é de R\$114.393.069,58 maior para o cenário C5(1).

Como na primeira simulação, o cenário cana-de-açúcar C1 é a situação atual das unidades produtoras da região considerada, onde são utilizadas em média 70% da BCS para produzir energia e as restantes 30% são armazenadas para utilização na próxima safra, enquanto que nos outros cenários estariam sendo considerados a produção do E2G, utilizando 30% da BCS e 70% da BCS para produção de energia.

Tabela 7 - Rendimentos e receitas da produção de E1G, E2G (l.ha⁻¹) e geração de energia elétrica em kWh da Região Centro do Estado de Alagoas, baseados nos cenários e premissas consideradas.

Cenários	E1G l.ha ⁻¹	E2G l.ha ⁻¹	E _{TOTAL} l.ha ⁻¹	Receita com a venda de (E1G + E2G) R\$.ha ⁻¹	EE kWh	Receita obtida na venda da EE R\$
C1	5.711,57	0,00	5.711,57	9.807,34	3.665.766,16	883.742,91
C2	5.711,57	378,10	6.089,67	10.456,57	3.665.766,16	883.742,91
C3	5.711,57	882,23	6.593,80	11.322,21	1.571.042,64	378.746,96
C4(1)	6.917,74	2.630,94	9.548,68	16.396,04	12.221.636,74	2.946.392,18
C4(2)	5.853,47	3.054,42	8.907,89	15.295,75	13.981.263,41	3.370.602,98
C4(3)	4.966,58	3.619,43	8.586,01	14.743,04	16.328.994,12	3.936.577,03
C5(1)	6.917,74	2.941,34	9.859,08	16.529,03	10.931.886,05	2.635.459,09
C5(2)	5.853,47	3.364,82	9.218,30	15.828,74	12.691.512,72	3.059.669,89
C5(3)	4.966,58	3.929,83	8.896,41	15.276,03	15.039.173,42	3.625.643,93

E1G – Etanol de 1ª. Geração; E2G – Etanol de 2ª. Geração; E_{TOTAL} - Etanol Total; EE – Energia Elétrica. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

Tabela 8 – Receitas com a venda de E1G, E2G e energia elétrica para os cenários propostos na Região Centro.

Cenários	Receita com a venda total de (E1G+E2G) R\$	Receita total com a venda de (E1G+E2G) + EE R\$
C1	196.146.791,89	197.030.534,80
C2	209.131.419,51	210.015.162,42
C3	226.444.256,34	226.823.003,30
C4(1)	327.920.856,99	330.867.249,17
C4(2)	305.915.035,18	309.285.638,16
C4(3)	294.860.815,08	298.797.392,11
C5(1)	338.580.613,79	341.216.072,88
C5(2)	316.574.791,98	319.634.461,77
C5(3)	305.520.571,88	309.146.215,81

E1G – Etanol de 1ª. Geração; E2G – Etanol de 2ª. Geração;
E_{TOTAL} - Etanol Total; EE – Energia Elétrica. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

3.2.3 Resultados para a Região Sul do Estado de Alagoas

Os resultados da Tabela 9 demonstram o comportamento operacional atingido para as situações simuladas com matérias-primas com características diferenciadas em relação a ATR, POL_B, e Fibra, comprovando que as diferenças a menor dos rendimentos na indústria são grandemente suplantados pelo alto rendimento agrícola da matéria-prima cana-energia, provocando grande elevação da moagem e da Biomassa Celulósica Seca comparado com a matéria-prima cana-de-açúcar.

Tabela 9 – Produção de Biomassa Celulósica Seca para uma unidade da Região Sul do Estado de Alagoas, baseada nos cenários e premissas consideradas.

Cenários	Área ha	Produtividade TCH	Moagem t	ATR Kg.t ⁻¹	Pol _B %	UM %	PZA _{RES}	F %	BCS ¹ t.tc ⁻¹	BCS ² t.tc ⁻¹
C1	20.000	70	1.400.000	134,57	2,60	48,00	68,00	14,29	0,0329	-----
C2	20.000	70	1.400.000	134,57	2,60	48,00	68,00	14,29	0,0329	0,0141
C3	20.000	70	1.400.000	134,57	2,60	48,00	68,00	14,29	0,0141	0,0329
C4(1)	20.000	100	2.000.000	114,38	2,21	50,00	57,80	17	0,0743	0,0666
C4(2)	20.000	100	2.000.000	97,22	1,88	50,00	49,13	20	0,0850	0,0773
C4(3)	20.000	100	2.000.000	82,64	1,60	50,00	41,76	23	0,0958	0,0880
C5(1)	20.000	100	2.000.000	114,38	2,21	50,00	57,80	17	0,0666	0,0743
C5(2)	20.000	100	2.000.000	97,22	1,88	50,00	49,13	20	0,0773	0,0850
C5(3)	20.000	100	2.000.000	82,64	1,60	50,00	41,76	23	0,0880	0,0958

ATR - Açúcares Totais Recuperáveis; Pol_B - sacarose aparente do bagaço; UM – Umidade do bagaço; F – Fibra da cana; BCS – Biomassa Celulósica Seca; BCS¹ – fator utilizado na produção de energia elétrica; BCS² - fator utilizado na produção de etanol 2G. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

Assim como nas duas regiões anteriormente estudadas, na Região Sul do Estado foi considerada a situação atual de produção das unidades produtoras e mais quatro cenários, onde o cenário C2 e C3, seria necessária modificações nos processos para a produção de E2G, mas utilizando a cana-de-açúcar que já está sendo utilizada como matéria-prima. Já os outros cenários foram utilizados a cana-energia com diferentes características para ATR, POL_B, e Fibra. Verificou-se que mesmo mantendo a cana-de-açúcar como matéria-prima, a produção de E1G + E2G tem resultados melhores, mas inferior aos cenários com cana-energia

Os resultados financeiros demonstrados na Tabela 10 e 11 comprovam a efetividade dos cenários com cana-energia, independente dos percentuais diferentes de utilização da biomassa celulósica seca para produção de etanol 1G e 2G. Porém o cenário C5(1) que tem fibra 17,00 % e ATR de 114,38, com um mix de 70% de BCS para produção de E2G e 30% para a geração de energia elétrica, mostra-se o mais vantajoso operacional e financeiramente, elevando o faturamento em R\$ 144.678.236,33, em relação ao faturamento com o cenário atual, o que sinaliza ser o de característica mais recomendada.

Já na geração de energia elétrica, o cenário mais recomendado, ou seja, o que apresenta um melhor resultado operacional, conforme Tabela 10 é o cenário C4(3) que tem uma fibra de 23% e ATR de 82,64, provocando maior faturamento com a venda deste produto, a saber: R\$3.837.730,02.

No cenário C3, fazendo uso de cana-de-açúcar e fazendo modificações no processo produtivo, com mix de 30% da BCS sendo utilizada na geração de energia elétrica e 70% sendo usada para a produção de E2G, o resultado financeiro é R\$31.016.320,56 superior a situação atual. Mesmo considerando o cenário C3 que é o que gera uma maior receita e usa a matéria-prima cana-de-açúcar, a diferença na receita com a venda dos produtos, em relação ao cenário C5(1) - melhor cenário de cana-energia ainda é bastante considerável em favor do deste último cenário, alcançando o valor de R\$113.661.915,77.

Tabela 10 - Rendimentos e receitas da produção de E1G, E2G (l.ha⁻¹) e geração de energia elétrica em kWh da Região Sul do Estado de Alagoas, baseados nos cenários e premissas consideradas.

Cenários	E1G l.ha ⁻¹	E2G l.ha ⁻¹	E _{TOTAL} l.ha ⁻¹	Receita com a venda de (E1G + E2G) R\$.ha ⁻¹	EE kWh	Receita obtida na venda da EE R\$
C1	5.569,61	0,00	5.569,61	9.563,58	4.420.279,53	1.065.640,99
C2	5.569,61	394,67	5.964,28	10.241,26	4.420.279,53	1.065.640,99
C3	5.569,61	920,89	6.490,50	11.144,84	1.894.405,51	456.703,28
C4(1)	6.762,83	2.662,61	9.425,44	16.184,42	12.353.222,65	2.978.114,92
C4(2)	5.748,23	3.091,59	8.839,82	15.178,85	14.135.689,15	3.407.830,49
C4(3)	4.886,17	3.520,75	8.406,92	14.435,53	15.918.906,68	3.837.730,02
C5(1)	6.762,83	2.973,01	9.735,84	16.717,41	11.063.471,96	2.667.181,82
C5(2)	5.748,23	3.401,99	9.150,22	15.711,84	12.845.932,46	3.096.897,40
C5(3)	4.886,17	3.831,15	8.717,32	14.968,52	14.629.155,99	3.526.796,93

E1G – Etanol de 1ª. Geração; E2G – Etanol de 2ª. Geração; E_{TOTAL} - Etanol Total; EE – Energia Elétrica. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

Tabela 11 – Receitas com a venda de E1G, E2G e energia elétrica para os cenários propostos na Região Sul.

Cenários	Receita com a venda total de (E1G+E2G) R\$	Receita total com a venda de (E1G+E2G) + EE R\$
C1	191.271.549,16	192.337.190,15
C2	204.825.231,28	205.890.872,27
C3	222.896.807,43	223.353.510,71
C4(1)	323.688.487,86	326.666.602,78
C4(2)	303.577.011,39	306.984.841,88
C4(3)	288.710.544,45	292.548.274,47
C5(1)	334.348.244,66	337.015.426,48
C5(2)	314.236.768,19	317.333.665,59
C5(3)	299.370.301,23	302.897.098,16

E1G – Etanol de 1ª. Geração; E2G – Etanol de 2ª. Geração;
E_{TOTAL} - Etanol Total; EE – Energia Elétrica. Cenários C1 a C5, vide Tabela 2.

3.2.4 Discussão dos Resultados

O ganho financeiro demonstrado para os cenários que utilizam a cana-energia para produção do etanol 1G e o etanol 2G, como também a geração de energia elétrica nas proporções de 70% para E2G e 30% para energia elétrica, foram os mais efetivos, o que poderá além de proporcionar um maior faturamento para as unidades produtoras, produzir também uma maior arrecadação de impostos, o que pode ser revertido em melhorias estruturais e sociais nas regiões estudadas.

Entre as regiões estudadas, a Região Centro apresentou uma possibilidade de receita de R\$330.867.249,17 para uma unidade agroindustrial, enquanto as Regiões Norte e Sul apresentaram respectivamente possibilidades de receitas de R\$320.545.597,93 e R\$326.666.602,78 quando o mix de BCS na produção de E2G foi de 30% e de energia elétrica 70%. Se for utilizado 70% da BCS para produção de E2G e 30% para a produção de energia elétrica, a produção passa para uma possibilidade de receita de R\$341.216.072,88 para a Região Centro, enquanto que nas Regiões Norte e Sul passam para R\$330.894.421,64 e R\$337.015.426,48 respectivamente.

Os resultados obtidos para a Região Norte mostram que os cenários de cana-de-açúcar com modificações no processo industrial atual (C2 e C3), produzem acréscimo na receita de R\$ 37.412.429,71 no cenário C3 e R\$16.386.264,70 no cenário C2. Quando compara-se com o cenário que usa a cana-energia com uma ATR de 110 e fibra de 18%, utilizando-se 70% da BCS para o etanol 2G, 30% para a geração de energia elétrica e o caldo da cana para produzir etanol 1G, o acréscimo do faturamento em relação ao cenário atual (C1) passa a ser de R\$144.079.317,73.

Na Região Centro para os percentuais 70% para produção de energia elétrica e 30% para E2G e 30% para produção de energia elétrica e 70% para E2G de BCS dos cenários com cana-de-açúcar - C2 e C3 em relação ao cenário atual - C1 geram elevação de receitas de R\$ 12.984.627,62 e R\$ 29.792.468,50 respectivamente, enquanto que com a mudança para cana-energia - cenário C5(1) com ATR DE 117 e fibra de 17%, o faturamento é elevado em R\$ 144.185.538,08 em relação à situação atual de produção.

Quando passa para a Região Sul, considerando os mesmos percentuais das regiões anteriores, alcança-se uma elevação no faturamento de R\$ 31.016.320,53 do cenário C3 em relação ao cenário C1 e de R\$ 13.559.682,12 do cenário C2 em relação ao cenário C1. Quando

faz-se a mudança para cana-energia com ATR de 114,38 e fibra de 17%, eleva-se o faturamento para R\$ 144.678.236,33 em relação a situação utilizando cana-de-açúcar - C1.

BNDES/CGEE (2008) considera 30% da BCS para a produção de E1G + E2G e rendimento de 9.800 l/ha. Verificou-se neste estudo que na Região Norte, para uma fibra de 18% e ATR de 110 (o melhor cenário), com a utilização de 30% de BCS, produção de 9.244,92 l/ha, enquanto que na Região Centro, para uma fibra de 17% e ATR de 117, alcançou-se uma produção de 9.548,68 l/ha, e na Região Sul, para uma fibra de 17% e ATR 114,38, pode-se produzir 9.425,44 l/ha. Evidencia-se o melhor resultado de rendimento de etanol para a Região Centro (valor 2,57% inferior ao referenciado pelo BNDES/CGEE).

Santos, F.; Borém, A.; Caldas, C. (2012) considera que utilizando-se 60% de pontas e palhas para produzir E2G com cana-energia, deve-se alcançar uma produção de 3.500 l.ha⁻¹. Verificou-se que neste estudo que na Região Norte, para uma fibra de 22% e um ATR de 90 (cenário C5(3)), com a utilização de 70% de BCS, alcançou-se uma produção de 3.608,85 l.ha⁻¹, enquanto na Região Centro, para uma fibra de 24% e um ATR de 84, alcançou-se uma produção de 3.929,83 l.ha⁻¹, e na Região Sul, para uma fibra de 23 e ATR de 82,64, pode-se produzir 3.831,15 l.ha⁻¹. Mais uma vez pode-se evidenciar o melhor resultado da Região Centro.

Outro ponto a ser considerado é o uso do bagaço e palhas/pontas como matéria-prima para produção de etanol e energia, mudando a visão de resíduo e passando a ser uma matéria-prima nobre o que tem mudado a concepção da relação do produtor com o fornecedor de cana, inicialmente na Região Sudeste, onde já existem estudos e negociações para o pagamento desse produto, devendo distribuir melhor a renda nesse segmento, conforme BNDES/CGEE (2008); Santos, F.; Borém. A; Caldas, C. (2012); CGEE (2009).

4 CONCLUSÕES

As simulações consideradas neste estudo permitiram as seguintes conclusões, levando-se em conta as demandas do mercado para energia (etanol e eletricidade):

- Para a Região Norte:
 - A cana-de-açúcar com Fibra de 16% e ATR de 130,65 usando 70%de BCS para produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica, pode-se alcançar R\$224.402.429,71de faturamento, R\$37.414.237,33a mais que o faturamento alcançado com a produção atual, ou acréscimo de 20,01%.
 - A cana-energia com fibra de 18% e ATR de 110 é a que proporciona a maior receita para a empresa com a venda de etanol (1G + 2G) e energia elétrica, usando 70% de BCS para a produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica. Neste cenário pode-se alcançar R\$330.894.421,64 de faturamento, acréscimo de R\$144.079.317,73 em relação a produção atual, ou aumento de 76,96%.

- Para Região Centro:
 - A cana-de-açúcar com Fibra de 13,50% e ATR de 138 usando 70% de BCS para produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica, pode-se alcançar R\$226.823.003,30 de faturamento, R\$29.792.468,50 a mais que o faturamento alcançado com a produção atual, ou acréscimo de 15,12%.
 - A cana-energia com fibra de 17% e ATR de 117 é a que proporciona a maior receita para a empresa com a venda de etanol (1G + 2G) e energia elétrica, usando 70% de BCS para a produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica. Neste cenário pode-se alcançar R\$341.216.072,88 de faturamento, acréscimo de R\$144.185.538,08 em relação a produção atual, ou aumento de 73,18%.

- Na Região Sul:
 - A cana-de-açúcar com Fibra de 14,29% e ATR de 134,57 usando 70%de BCS para produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica, pode-se alcançar R\$223.353.510,71 de faturamento, R\$31.016.320,56 a mais que o faturamento alcançado com a produção atual, ou acréscimo de 16,13%.
 - A cana-energia com fibra de 17% e ATR 114,38 é a que proporciona a maior receita para a empresa com a venda de etanol (1G + 2G) e energia elétrica, usando 70% de BCS para a produção de E2G e 30% para produção de energia elétrica. Neste cenário pode-se alcançar R\$337.015.426,48 de faturamento, acréscimo de R\$144.678.236,33 em relação a produção atual, ou aumento de 75,22%.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A CANA de açúcar como fonte de energia. **Disponível em:** <www.novacana.com/estudos/a-cana-de-acucar-como-fonte-de-energia-eletrica-241013/>. **Acesso em: 11 fev. 2017.**

ACOMPANHAMENTO da safra brasileira. Monitoramento agrícola – cana-de-açúcar. V.3 – Safra 2016/2017 – Quarto levantamento – Abril 2017. **Disponível em:** <www.conab.gov.br>. **Acesso em: 13 mai. 2017.**

ALAGOAS em Dados. **Disponível em** <<http://dados.al.gov.br/>>. **Acesso em: 22 abr. 2017.**

A HISTÓRIA da cana-de-açúcar – Da Antiguidade aos dias atuais. **Disponível em:** <www.udop.com.br>. **Acesso em: 11 abr. 2015.**

ÁRVORE do conhecimento cana-de-açúcar. **Disponível em:** <www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAGO_138_22122006154842.htm>. **Acesso 25 abr. 2017.**

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARBOSA, G.V.S. **Melhoramento de Cana para Biomassa: Cana Energia**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2015. 27 slides: color. Slides gerados a partir do software PowerPoint.

BARBOSA, G.V.S. **CONTRIBUIÇÃO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DO ESTADO DE ALAGOAS**. 2014. 116p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitaríssimo – Universidade Federal do Paraná.

_____. **Melhoramento Genético visando obter cana-energia**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2015. 56 slides: color. Slides gerados a partir do software PowerPoint.

_____. **Contribuição do Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (*Saccharum spp.*) para a Agroindústria Canavieira de Alagoas**. 2014. 109p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BNDES/CGEE. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar: Energia para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.

BRASIL é líder na geração de empregos em biocombustíveis. **Disponível em:** <http://www.impresso.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/cadernos/economia/2016/09/10/interna_economia,153535/brasil-e-lider-na-geracao-de-empregos-em-biocombustiveis.shtml>. **Acesso em: 25 Out. 2016.**

CCEE eleva projeção do preço spot da energia elétrica. **Disponível em** <www.novacana.com/n/cogeracao/mercado/ccee-preco-spot-energia-eletrica-300117/>. **Acesso em: 11 fev.2017.**

CLIMA de Alagoas. **Disponível em** <www.infoescola.com/geografia/clima-de-alagoas/>. **Acesso em: 22 abr.2017.**

COSECANA – AL/SE. Sistema de remuneração da tonelada de cana-de-açúcar com base o açúcar total recuperável (ATR). Safra 2013/2014. Recife, 2014.

INDICADOR semanal do etanol hidratado combustível CEPEA/ESALQ – São Paulo. **Disponível em** <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/etanol.aspx>>. **Acesso em: 10 fev. 2017.**

CALLE.F.R. (ORG.); BAJAY.S.V. (ORG.); ROTHMAN.H (ORG.). **Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira.** Campinas: Editora Unicamp, 2005;

CANA-Energia. **Disponível em:** <<https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucroenergetica-20/2015/>>. **Acesso em: 6 de Jun. de 2016.**

CASTRO, H.S. **RENDIMENTO AGRÍCOLA E FORRAGEIRO DE TRÊS CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR (*SACCHARUM SPP*), EM DIFERENTES ÉPOCAS DE CORTE.** 2008. 48p. Dissertação (Fitotecnia) – Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Lavras.

CGEE. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2009. 536 p.

CICLO da cana-de-açúcar. **Disponível em:** <www.infoescola.com.br>. **Acesso em: 11 abr.2015.**

Daros, E.; Oliveira, R.A.; Barbosa, G.V.S. (Org.). **45 Anos de variedades de cana-de-açúcar.** Curitiba: Graciosa, 2015.

DISTRIBUIÇÃO das usinas de etanol no Brasil. **Disponível em:** <<https://www.novacana.com./usinas/distribuicao-usinas-etanol-brasil/>>. **Acesso em: 13 mai. 2017.**

GARCIA, J.C.C.; SPERLING, E.V. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Revista Saint Ambient**, V.15, n3, p.217-222, jul/set. 2010. **Disponível em:** <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n3/v15n3a03>>. **Acesso em: 12 abr.2015.**

GOLDEMBERG, J.; NIGRO, E.B.F.; COELHO, T.S. **Bioenergia no Estado de São Paulo: Situação atual, perspectivas, barreiras e propostas.** São Paulo: Imprensa oficial do Estado de São Paulo, 2008.

HENRY, R. J. **Basic Information on the Sugarcane Plant.**In: HENRY, R. J.; KOLE, C. (Eds.) Genetics, Genomics and Breeding of Crop Plants. New Hampshire: Science Publishers, 2010. p. 1-7.

JAMES, G. L. An Introduction to Sugarcane. In: JAMES, G. L. (Ed.). **Sugarcane**. 2. ed. Victoria: Blackwell Science, 2004, p. 1-19.

MACHADO, F.B.P. Brasil a doce terra, 2003. Disponível em: <www.udop.com.br>. Acesso em: 11 abr. 2015.

MATSUOKA, S. et al. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects, *Advances in Botany*. **Hindawi Publishing Corporation**, v.2014, ID 597275, 13 pages, 2014. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

MATSUOKA, S, et al. Bioenergia de Cana. **Research Gate**, n. (20), p. (1-33), Julho. 2016. Disponível em:<<https://www.researchgate.net/publication/302932714>>. Acesso em: 21 Nov. 2016.

MECANIZAÇÃO x trabalhadores. Disponível em: <http://mecanizacaoetrabalhadores.blogspot.com.br/2010_04_01_archive.html.2010>. Acesso em: Abr.2017.

MELHORAMENTO genético. Disponível em: <www.ridesa.ufg.br/p/3721-melhoramento>. Acesso em: 2 mai.2017.

MELLO, E.B.; CANEPA, E. L.; COSTA, M. M. **Visões Ambientais para o Financiamento de Biocombustíveis no Brasil.**[2008]. Disponível em: <Theme # 15:Environmental Guidance for Bio-Fuel Financing> Acesso em 12 abr.2015.

Netto, O. V. C. et al. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, p. (1-8). 2014. Disponível em: <<http://www.chembioagro.com/content/1/11/20>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

OSAKA, M.R. **ANÁLISE DE UM MODELO DE CONVERSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM VETORES ENERGÉTICOS, ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA 1G E 2G: SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA OTIMIZAÇÃO MÚLTIPLA DE OBJETIVOS.** 2014. 246p. Tese (Doutorado em Ciência – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PRORROGAÇÃO do prazo para eliminação da queima da palha da cana. Disponível em: < gizetaweb.globo.com >. Acesso em dez. 2016.

RELATÓRIO Síntese do BEM. Ano base 2015. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Disponível em:** <<https://www.ben.epe.gov.br/default.aspx>>. **Acesso em 13 mai. 2017.**

RIDESA: bancos de germoplasma e estações de cruzamentos. **Disponível em:** <www.ridesa.com.br/melhoramento>. **Acesso em 3 mai. 2017.**

ROACH, B. T; DANIELS, J. A Review of the origin and improvement of sugarcane. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 1-31.

SANTOS, F.; BORÉM. A; CALDAS, C. **Bioenergia, Açúcar e Etanol: Tecnologias e Perspectivas**. 2ª. Ed. Viçosa, M.G.: Universidade Federal de Viçosa, 2012.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J.H. **Bioenergia, e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. Viçosa, M.G.: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. **Disponível em:** <<http://www.sindacucar-al.com.br/dadosestatisticos>>. **Acesso em:** 12abr. 2015.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. **Disponível em:** <<http://www.sindacucar-al.com.br/dadosestatisticos>>. **Acesso em:** 30 mai. 2016.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. **Disponível em:** <<http://www.sindacucar-al.com.br/dadosestatisticos>>. **Acesso em:** 14mai. 2017.

UFAL lança duas variedades de cana-de-açúcar melhorada geneticamente. **Disponível em:** <www.ufal.edu.br/2016/4/ufal-vai-lancar-mais-duas-variedades-de-cana-de-acucar-melhorada-geneticamente>. **Acesso em:** 2 mai. 2017.

VAN DILLEWINJ, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, v.1, 1952. 196 p. **Disponível em:** <http://mecanizacaoetrabalhadores.blogspot.com.br/2010_04_01_archive.html> **Acesso em:** 18 Out. 2016.