

Aproveitamento de palha de cana-de-açúcar para o incremento de geração de energia elétrica: revisão sistemática da literatura

Use of sugarcane straw to increase electricity generation: systematic literature review

Uso de paja de caña de azúcar para aumentar la generación de electricidad: revisión sistemática de la literatura

Recebido: 18/08/2022 | Revisado: 29/08/2022 | Aceito: 02/09/2022 | Publicado: 10/09/2022

Eduardo Luis Goldoni

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8067-9284>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: eduardo.goldoni@unesp.br

Leandro Souto de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1562-8621>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: leandrosouto182@hotmail.com

Mariana Matulovic da Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6626-4621>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: mariana.matulovic@unesp.br

Kassandra Sussi Mustafé Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5311-5667>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: kassandra.oliveira@unesp.br

Mario Mollo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8341-4190>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: mario.mollo@unesp.br

Ricardo Alan Verdú Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9620-7329>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: ricardo.ramos@unesp.br

Paulo Sérgio Barbosa Dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8211-3882>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: paulo.sb.santos@unesp.br

Resumo

Afim de analisar as publicações acerca do aproveitamento da palha de cana-de-açúcar para o incremento de geração de energia elétrica nas usinas, o objetivo deste trabalho é apresentar um conjunto de trabalhos publicados entre os anos de 2016 e 2020 sobre o tema para se realizar uma análise das tecnologias desenvolvidas neste período. Assim, foi realizada uma busca nas bases de dados da Science Direct, Scopus e Web of Science onde, a partir de strings de busca para selecionar trabalhos considerando tema e ano de publicação, foram encontrados 1738 artigos publicados. Diante deste resultado foi utilizado o software Start para aplicar critérios de seleção para escolha dos artigos a ser utilizados na revisão sistemática. Depois de executadas todas as etapas de seleção dos trabalhos no software, apenas 18 artigos foram selecionados para a leitura dos resumos e destes apenas 7 artigos apresentam estudos sobre aproveitamento de palha para geração de energia elétrica. Foi realizada a leitura completa desses 7 artigos e são apresentados os métodos de trabalho e os resultados obtidos pelos autores e assim possibilitando uma análise das tecnologias pesquisadas ao logo do período de estudo.

Palavras-chave: Aproveitamento de palha; Energia elétrica; Cogeração de energia; Biomassa; Cana-de-açúcar.

Abstract

In order to analyze the publications about the use of sugarcane straw to increase the generation of electricity in the mills, the objective of this work is to present a set of works published between the years 2016 and 2020 on the subject to carry out an analysis of the technologies developed in this period. For this, a search was carried out in the Science Direct, Scopus and Web of Science databases, where, from search strings to select works considering theme and year of publication, 1738 published articles were found. In view of this result, the Start software was used to apply selection criteria for choosing the articles to be used in the systematic review. After performing all the steps of selection of the works in the software, only 18 articles were selected for reading the abstracts and of these, only 7 articles present studies

on the use of straw for the generation of electric energy. A complete reading of these 7 articles was carried out and the working methods and results obtained by the authors are presented, thus enabling an analysis of the technologies researched throughout the study period.

Keywords: Straw use; Electrical energy; Energy cogeneration; Biomass; Sugarcane.

Resumen

Con el fin de analizar las publicaciones sobre el uso de la paja de caña de azúcar para incrementar la generación de energía eléctrica en las plantas, el objetivo de este trabajo es presentar un conjunto de trabajos publicados entre los años 2016 y 2020 sobre el tema con el fin de realizar un análisis de las tecnologías desarrolladas en este período. Así, se realizó una búsqueda en las bases de datos Science Direct, Scopus y Web of Science donde, a partir de cadenas de búsqueda para seleccionar trabajos considerando temática y año de publicación, se encontraron 1738 artículos publicados. En vista de este resultado, se utilizó el software Start para aplicar los criterios de selección para la elección de los artículos que se utilizarán en la revisión sistemática. Después de realizar todos los pasos de selección de los trabajos en el software, solo 18 artículos fueron seleccionados para la lectura de los resúmenes y de estos solo 7 artículos presentan estudios sobre el uso de la paja para la generación de energía eléctrica. Se realizó una lectura completa de estos 7 artículos y se presentan los métodos de trabajo y los resultados obtenidos por los autores, lo que permitió un análisis de las tecnologías investigadas a lo largo del período de estudio.

Palabras clave: Uso de paja; Energía eléctrica; Cogeneración de energía; Biomasa; Caña de azúcar.

1. Introdução

O Plano Nacional de Energia 2050 brasileiro, divulgado em 2020, aponta que em um cenário otimista de expansão da economia, o PIB cresça em média 3,1% a.a. até 2050 e que, para acompanhar esse ritmo, o consumo potencial de energia elétrica deve crescer 3,5% a.a., partindo de 73 GW médios em 2015 de modo a atingir 241 GW médios em 2050. Desse total, 5% devem ser supridos em projetos de Geração Distribuída, 7% com Autoprodução e 17% absorvidos pela expansão da eficiência energética, restando o montante de 71% a ser suprida pela geração centralizada distribuída na rede, 172 GW médios. Em 2015, em torno de 66 GW médios eram supridos pela rede centralizada, ou seja, a oferta deve crescer em torno de 2,6 vezes o valor do ano base (EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS, 2020).

A geração centralizada se caracteriza pela conexão do agente gerador ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Em termos de potência instalada, a principal fonte de energia conectada ao SIN é a hidrelétrica com 61,02%, seguida por termelétrica 24,87%, eólica 10,86%, fotovoltaica 2,14% e nuclear 1,1%. As unidades termelétricas (UTE's) podem ser do tipo renovável, que utilizam biomassa como combustível, e não renovável, que utilizam combustíveis fósseis. O bagaço de cana-de-açúcar, com 76,21% da potência outorgada para as UTE's a biomassa, é o principal combustível renovável da matriz brasileira (ANEEL, 2021).

A bioeletricidade produzida com a queima de biomassa de cana-de-açúcar desempenha um papel essencial complementando o sistema hidrelétrico, pois o período de colheita do setor sucroenergético coincide com a redução do nível dos reservatórios hidrelétricos (Macedo, Leal, & Hassuani, 2001; Ensinas, Nebra, Lozano, & Serra, 2007; Moreira, Fuss, Kraxner, & Pacca, 2016; Santos & Ramos, 2020).

Esforços tem sido feito para a expansão do parque de geração como a criação da Lei 13.299 de 21 de junho de 2016, que permitiu aumentar o limite de potência injetada em empreendimentos existentes de 30 para 50 MW sem a perda de descontos nas tarifas de transmissão e distribuição da energia gerada, incentivando estudos de expansão e /ou implantação de novos projetos de cogeração (Santos & Ramos, 2020).

Atualmente, há uma alta disponibilidade de biomassa devido à extinção da cana-de-açúcar queimada e implantação de colheita mecanizada, que permite o uso parcial da palha como combustível para caldeiras (Santos & Ramos, 2020; Coelho, Goldemberg, Lucon, & Guardabassi, 2006; Khoodarutha, 2014). Dados do CONAB em 2021 demonstram que a proporção dessa modalidade no Brasil passou de 25% na Safra 2007/2008 para 90% na Safra 2020/2021.

Carpio e Souza (Carpio & Souza, 2019) estudaram a utilização ótima do resíduo de cana-de-açúcar para a produção simultânea de álcool de segunda geração (2G) e Bioeletricidade, apresentando cenários que objetivaram maximizar o retorno e minimizar o risco para os investidores do setor.

Assim, é necessário realizar uma coleta de dados sobre o estado da arte sobre as tecnologias empregadas, tanto na área agrícola quanto industrial, para avaliação das melhores práticas que proporcionem o incremento de geração de bioeletricidade na ordem de grandeza que estimule os investimentos pelas usinas sucroalcooleiras.

Para tanto, esta Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) tem como objetivo verificar a literatura sobre sistemas de aproveitamento de palha para geração de energia através de combustão, nos últimos cinco anos. O estudo está em linha com três objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) promovidos pela ONU, a saber: objetivo 7 (assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos e todas); objetivo 9 (construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação); e objetivo 12 (assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis) (ONU, 2015).

2. Metodologia

A Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) é um método científico que possui como objetivo fornecer conhecimentos estruturados sobre um tema de pesquisa, possibilitando ao pesquisador identificar questões sobre seu tema de estudo (Biolchini, Mian, Natali, Conte, & Travassos, 2007; Aquino, Mollo Neto, Bernardo, Morais, & Santos, 2020; Aranha, Mollo Neto, Rodrigueiro, Morais, & Santos, 2021; Batista, et al., 2022). Nesse sentido, “é o processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de artigos científicos com o propósito de criar um embasamento teórico-científico (estado da arte) sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado” (Conforto, Amaral, & Silva, 2011).

O método utilizado para o desenvolvimento do artigo foi conduzido conforme recomendações de Conforto, utilizando-se do modelo RBS *Roadmap*, organizado em três etapas, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas para condução da revisão bibliográfica sistemática – RBS *Roadmap*

1 - Entrada		2 - Processamento		3- Saída	
1.1	Problema	2.1	Condução das buscas	3.1	Síntese dos resultados
1.2	Objetivo	2.2	Análise dos resultados		
1.3	Fontes primárias				
1.4	<i>Strings</i> de busca				
1.5	Critérios de inclusão				

Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

Para a condução da revisão bibliográfica sistemática (RBS), foi necessário dividir o processo em três etapas: entrada, processamento e saída. É importante ressaltar que ainda na etapa de planejamento realizou-se uma pesquisa prévia sobre o aproveitamento de palha para cogeração de energia para definição das palavras-chave, identificando os artigos relevantes e os principais autores. As etapas executadas para a realização da RBS foram auxiliadas pelo *software* StArt (*State of the Art through Systematic Review*) (Fabbri, et al., 2016).

2.1 Entrada

Inicialmente, definiu-se o problema de pesquisa, o objetivo, as bases de dados, as *strings* de busca e os critérios de

inclusão das publicações.

O Quadro 2 abaixo, apresenta os parâmetros de entrada da RBS.

Quadro 2 – Parâmetros de entrada da RBS.

Problema	
Como estão relacionados o aumento da geração de energia através do aproveitamento da palha de cana-de-açúcar em usinas sucroalcooleiras, quais e onde foram implementados projetos apresentaram resultados em termos quantitativos e de eficiência?	
Objetivo	
Verificar o estado da arte, por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistematizada (RBS), sobre o aproveitamento de palha de cana-de-açúcar como combustível para caldeiras no setor sucroalcooleiro com base nas publicações em periódicos acadêmicos sobre o tema nos últimos cinco anos	
Bases de Dados	
Science Direct Scopus Web of Science	
Strings de busca	
<i>Science direct</i> <i>Scopus and</i> <i>Web of Science</i>	(<i>“electrical energy” AND “sugarcane”</i>) (<i>“electrical energy” AND “sugarcane straw”</i>) (<i>“energy cogeneration” AND “biomass”</i>) (<i>“energy cogeneration” AND “sugarcane”</i>) (<i>“energy cogeneration” AND “sugarcane straw”</i>)
Critérios de inclusão e dos artigos nas bases de dados	
Inclusão (I) – Artigos sobre biomassa de cana-de-açúcar Inclusão (I) – Artigos relacionados ao aproveitamento de palha de cana-de-açúcar Inclusão (I) – Geração de energia através do ciclo de Rankine, com combustão de biomassa	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Diversas *strings* foram testadas e adaptadas com o objetivo de alcance da busca pelas principais referências que guiaram o estudo preliminar. Algumas *strings* resultaram em uma grande quantidade de trabalhos que não se aplicavam a esse estudo, como uso de outras biomassas como fonte primária e diferentes ciclos de geração de energia. Logo a escolha da *string* e da variável booleana é de extrema importância para o resultado ótimo da revisão bibliográfica sistematizada, sendo declaradas explicitamente no protocolo da pesquisa.

Definidos os parâmetros de entrada para a execução da RBS, passou-se para a etapa de processamento, com busca nas bases de dados e análise das publicações.

2.2 Processamento

A Tabela 1 apresenta o resultado do processo de busca pelas bases de dados, por artigos relacionados ao tema de interesse, e as etapas de uso de filtros.

Tabela 1 – Resultados das buscas e do processo de filtragem nas bases de dados.

Filtros	Bases de dados		
	Science Direct 10/11/2020	Scopus 10/11/2020	Web of Science 10/11/2020
Sem Filtros	1.542	106	90
Período de 2016 a 2020	751	53	54
Artigos e artigos de revisão	558	48	50
Acesso Livre	70	26	27

Fonte: Elaborado pelos autores.

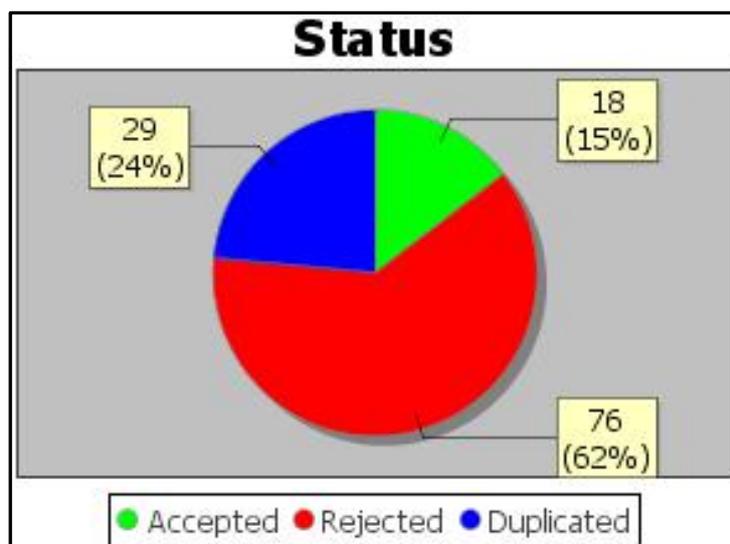
Na primeira etapa de processamento, as buscas foram realizadas nas bases de dados sem o uso de filtros de seleção, totalizando em 1.738 publicações. Em seguida, optou-se por restringir o período para os últimos 5 anos, de 2016 a 2020, restando 858 publicações. Em seguida, aplicou-se o segundo filtro, selecionando apenas artigos e artigos de revisão, reduzindo os resultados para 656 publicações. Aplicando o terceiro filtro, material de acesso livre, reduziu-se para um total de 123 publicações.

Após a aplicação dos três filtros nas próprias bases de dados, os resultados obtidos foram exportados em formato BIBTEX para o *software* StArt. Os artigos classificados como duplicados, 29, foram identificados e excluídos, restando 94 artigos.

Como critérios de inclusão, foram utilizados somente os artigos que abordavam a biomassa de cana-de-açúcar, o aproveitamento de palha e geração de energia através do ciclo de Rankine, com combustão de biomassa em sua abordagem. Baseado no título e nas palavras-chave dos trabalhos foram excluídos os artigos que abordavam a temática geração de energia por gaseificação de biomassa ou estudos de utilização da palha somente para a produção de álcool de segunda geração.

A análise dos artigos por meio dos títulos, resumos e palavras-chave, foi realizada de forma rigorosa, respeitando os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos inicialmente no protocolo de pesquisa (Start), selecionando-se 18 artigos. A Figura 1, ilustra a quantidade de artigos aceitos, rejeitados e duplicados nessa primeira etapa de processo de seleção de artigos.

Figura 1 – Representatividade dos resultados de aprovação e rejeição dos artigos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Posteriormente, seguindo Conforto e colaboradores (Conforto, Amaral, & Silva, 2011), realizou-se a leitura da introdução e conclusão dos artigos aceitos, resultando em 7 artigos para leitura completa e análise dos resultados. Os trabalhos

rejeitados trataram de logística do transporte de palha de cana-de-açúcar, aproveitamento de palha somente para a geração de álcool de segunda geração e geração de bioeletricidade através de gaseificação da biomassa.

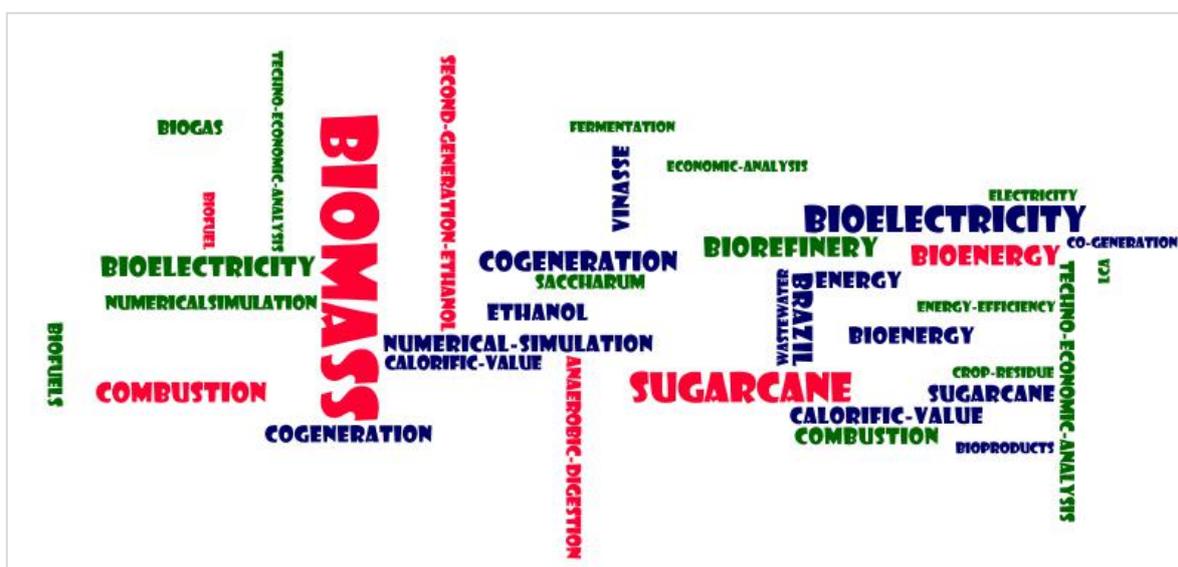
A seção a seguir apresenta a saída dos resultados obtidos na terceira etapa do método RBS *Roadmap*.

3. Resultados e Discussão

Para a etapa final da RBS foram selecionados 3 artigos da Base de Dados *Science Direct*, 3 artigo da *Scopus* e 1 artigo da *Web of Science*.

A Figura 2, apresenta uma nuvem de palavras representadas por palavras ou termos relacionados ao tema de estudo. A nuvem foi gerada utilizando as palavras-chave dos artigos analisados. Pode-se verificar em maior destaque os termos *Biomass*, *Cogeneration*, *Sugarcane* e *Bioeletricidade*.

Figura 2 – Nuvem de palavras-chave.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 3, são apresentadas informações de ano de publicação, periódico, fator de impacto e índice H, referentes as bases de dados das quais foram selecionados os artigos para leitura completa.

Quadro 3 - Artigos selecionados pelo método RBS *Roadmap*.

Base de Dados	Ano	Jornal	Fator de Impacto	Índice H
<i>Science direct</i>	2017	<i>Energy Procedia</i>	1.15	63
<i>Science direct</i>	2017	<i>Energy</i>	6.15	158
<i>Science direct</i>	2020	<i>Renewable Energy Focus</i>	0.81	18
<i>Scopus</i>	2020	Engenharia Agrícola	0.60	23
<i>Web of Science</i>	2019	<i>MOLECULES</i>	3.01	116
<i>Scopus</i>	2018	Revista em Agronegocio e Meio Ambiente	0.10	5
<i>Scopus</i>	2017	Engenharia Agrícola	0.60	23

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao Fator de Impacto (FI), os periódicos que apresentaram maior e menor relevância, foram os periódicos *Energy* e Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, com fator de impacto de 6,15 e 0,10, respectivamente.

Quanto ao índice H, o periódico com maior valor foi o *Energy* com 158 e o com menor valor, foi o periódico Revista em Agronegócio e Meio Ambiente com índice de 5.

A seguir, no Quadro 4, apresentam-se os sete artigos selecionados com informações de autoria, ano de publicação, título e contribuição do artigo

Quadro 4 – Relação dos artigos selecionados pelo método RBS *Roadmap*.

Autores	Ano	Título	Contribuição do Artigo
MARCELO, D.; BIZZO, W. A.; ALAMO, M; VÁSQUEZ, E.	2017	<i>Assessment of Sugarcane Byproducts for Energy Use in Peru</i>	O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise de viabilidade para a produção de energia a partir de subprodutos da cana-de-açúcar no Peru. Foi apresentada a análise dos resíduos da colheita (copa e folhas) que representam uma parte significativa da energia contida na cana, mas ela fica no campo, ou pior; queimado antes da colheita. Ao considerar a produtividade média da cana-de-açúcar de 127,8 kg/ha, a colheita no Peru chega a 16.001,20 toneladas e considerando que os resíduos deixados no campo representam 14% desse peso, serão 2.240,17 toneladas de resíduos de cana por ano. Os autores estimaram um aproveitamento de 70% desse resíduo, um total de 1.568,12 toneladas que possui um valor estimado do potencial de geração de eletricidade de 780 MWh/safra.
CARVALHO, D. J.; VEIGA, J. P. S; BIZZO, W. A.	2017	<i>Analysis of energy consumption in three systems for collecting sugarcane straw for use in power generation</i>	Este trabalho estimou o consumo de energia de três sistemas de coleta de palha, enfardamento, forrageira e sistema de colheita de planta inteira em que a cana picada e a palha são separadas na usina. Cerca de 12 t/ha.ano de palha podem ser coletados para uma produção típica de cana-de-açúcar de 100 t/ha.ano. O sistema com menor consumo de energia foi a colheita da planta inteira. A energia térmica disponível da palha quando 75% é recuperado é 182 GJ/ha.ano, que representam 151 GJ/ha.ano do etanol que pode ser produzido e aproximadamente 174 GJ/ha.ano de bagaço. Se a palha da cana fosse usada para geração de eletricidade, um adicional de 12,6 MWh/ha.ano poderia ser gerado.
OLIVEIRA, R. A; BARROS, R. R. O; FERREIRA-LEITÃO, V. S; FREITAS, S. P.; BON, E. P. S.	2020	<i>Energy supply design for the integrated production of 1G + 2G ethanol from sugarcane</i>	Este estudo avaliou a integração energética das operações de etanol de primeira geração (1G) e segunda geração (2G) e a energia excedente resultante. Uma análise de sensibilidade foi usada para avaliar três cenários integrados para etanol 1G + 2G e produção de energia excedente. No cenário (A) a alocação gradual, até 100% do bagaço, para o etanol 2G aumentaria o volume de etanol em 29% e a energia excedente, da queima de lignina e metano, em 10%, em comparação com a queima total do bagaço. No cenário (B), onde 50% da palha seria definida para queima, a alocação gradual de até 100% do bagaço para o etanol 2G manteria o aumento do etanol em 29%; entretanto, o excedente de energia aumentaria em 16% do esperado com a queima total do bagaço. No cenário (C), onde 50% do bagaço seria definido para o etanol 2G e a queima da palha seria aumentada gradativamente, até 60%, o volume de etanol aumentaria em 14%, e a energia excedente aumentaria em 64% do esperado para queima total do bagaço em 10% em relação à queima total do bagaço.
SANTOS, P. S. B.; RAMOS, R. A. V.	2020	<i>Increased energy cogeneration in the sugar-energy sector with the use of sugarcane straw, electrification of drives,</i>	Neste trabalho foram propostas modificações na planta industrial para aumentar a cogeração de energia e, consequentemente, maximizar a comercialização do excedente de energia elétrica. A utilização de camisas de alta drenagem reduziu a umidade do bagaço, possibilitando a queima de combustível com alto poder calorífico nas caldeiras. Além disso, o Caso 2.5 teve um aumento de 11,5% na produção de vapor em relação ao caso de referência, aumentando a cogeração de energia elétrica e, portanto, triplicando a potência injetada no sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica. As técnicas de análise econômica (Payback, NPV, IRR e ROIC) mostraram que os

		<i>and high-drainage rollers in the extraction</i>	Casos 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5 podem ser economicamente viáveis se os preços da energia a ser vendida forem de pelo menos R\$ 180,00 por MWh.
CARPIO, L. G. P.; SOUZA, F. S.	2019	<i>Competition between Second-Generation Ethanol and Bioelectricity using the Residual Biomass of Sugarcane: Effects of Uncertainty on the Production Mix</i>	O objetivo deste estudo foi utilizar a metodologia da média-variância para determinar a alocação ótima da biomassa residual da cana-de-açúcar entre as produções de etanol 2G e bioeletricidade, com objetivos simultâneos de maximizar o retorno e minimizar o risco para os investidores do setor. Neste artigo, quatro cenários são analisados. O primeiro é o cenário base que representa o estado atual dos custos de produção e investimentos. Os cenários 2, 3 e 4 consideraram quatro cortes de 10%, 20% e 40% no custo de produção do etanol 2G, respectivamente. Os resultados mostram as alocações ótimas de biomassa e as taxas de crescimento dos retornos em função do crescimento do risco. Pode-se concluir que a partir do cenário 4, a produção de etanol 2G passa a ser vantajosa financeiramente para o investidor, apresentando maior retorno com menores riscos com objetivos simultâneos de maximizar o retorno e minimizar o risco para os investidores deste setor.
SOUTO, T. J. M. P.; COELHO, A. C. D.; HOLANDA, R. M.; MORAES, A. S.; PAZ, Y. M.; DA SILVA, R. J.	2018	Viabilidade da Bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar	Buscou-se analisar o estudo do sistema de cogeração para o setor sucroalcooleiro, usando o bagaço, as pontas e as palha da cana e discutir a viabilidade para uso em larga escala. Para tal foram realizadas simulações de cálculo para determinar o balanço de energia elétrica, no qual as informações foram compiladas da literatura e de dados fornecidos pelas usinas do Estado de Pernambuco. Com isso, pelos resultados obtidos observou-se que a adição das pontas e palha no processo ocasionou aumento de aproximadamente 5% em relação à cogeração realizada exclusivamente com o bagaço. De acordo com os cálculos o faturamento obtido só com a utilização do bagaço como combustível era de R\$ 13.104.000,00 diante disso surgiu a utilização da palha para melhorar a eficiência energética e aumentar a produção de bioeletricidade, passando para aproximadamente R\$ 15.600.000,00.
DA SILVA, R. L.; DE PAULA, I. O.; PATELLI JUNIOR, J. R.; TORRES, T. R. C.; PEREIRA, T. V.	2017	<i>Residual biomasses in the micro-region of dourados (Ms): Assessment and availability for energy in agriculture thermal conversion</i>	Esta pesquisa apresenta resultados da avaliação de biocombustíveis sólidos (biomassas residuais de lavouras agrícolas) no estado de Mato Grosso do Sul, no período de 2007 a 2012, para fins energéticos na agricultura. Os resultados são apresentados para três biomassas residuais de culturas agrícolas (espigas de milho, casca de arroz e bagaço de cana) com cartogramas para todas as microrregiões do estado de Mato Grosso do Sul. A microrregião de Dourados foi apontada como a mais promissora para energia na agricultura com três cidades principais (Dourados, Rio Brilhante e Maracaju), pela disponibilidade de biocombustíveis sólidos (em especial biomassa cana-de-açúcar) para fornecer cerca de 11% do consumo total de energia elétrica em 2014.

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da análise dos artigos, observou-se que existe viabilidade para o aproveitamento de palha para a geração de energia elétrica e tal viabilidade dependerá da disponibilidade de palha para a coleta que garanta as condições ótimas de umidade do solo, método de recolhimento de palha e eficiência do sistema de extração e queima do bagaço nas caldeiras. Mesmo em usinas que integram a produção de álcool de segunda geração (2G) existe um ponto ótimo que são satisfeitas as condições para o aumento da geração de energia elétrica produzida. Evidencia-se também o aproveitamento de resíduos de produção de outras culturas como milho e arroz, tal processo deve estar condicionado ao modelo de caldeira da usina, evitando-se problemas de desgastes internos de tubulações da caldeira e sistema de exaustão de gases.

4. Considerações Finais

Os artigos selecionados por meio da RBS, permitiram compreender o estado da arte sobre o aproveitamento de palha de cana-de-açúcar para a geração de bioeletricidade.

Nos últimos anos, com a mecanização do corte, surgiram diversas oportunidades para ganhos com a venda de energia elétrica e as áreas agrícolas e industriais das empresas buscaram encontrar soluções para o máximo aproveitamento da energia da palha. Logo surgiram estudos sobre capacidade de retenção de umidade pelos diferentes tipos de solo, melhores métodos para a coleta da palha excedente no campo e formas de processamento da palha para aproveitamento como combustível nas caldeiras, ou produção de álcool 2G.

As publicações em sua maioria são brasileiras, porém foi encontrado um estudo para implantação do sistema no Peru, o sistema para melhoria da eficiência da geração de energia é um atrativo para a expansão do setor neste país, visto que atrai o investimento em novos projetos.

Evidencia-se, através de análises financeiras, que o investimento possui viabilidade para determinados valores mínimos de venda de energia elétrica, visto que são projetos com grande capital empregado no início para a construção de caldeiras, turbinas e geradores, além de um aumento no custo operacional pela logística de entrega de palha do campo nas unidades industriais.

Portanto, os autores sugerem como trabalhos futuros a exploração do aproveitamento de palha para a geração de energia, desde os sistemas agrícolas como as técnicas de preparação do solo, sistemas de irrigação, colheita e logística até os sistemas industriais como separadores palha, preparo e extração e combustão das caldeiras, garantindo assim que o investimento seja rentável e o risco minimizado.

Referências

- Ahmed, A. E., & Eldin, A. O. (2015). An assessment of mechanical vs manual harvesting of the sugarcane in Sudan – The case of Sennar Sugar Factory. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14, pp. 160-166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.005>
- ANEEL. (2 de 10 de 2021). SIGA - Sistemas de Informações de Geração da ANEEL. Brasília, DF, Brasil. Fonte: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>
- Aquino, E. L., Mollo Neto, M., Bernardo, C. H., Morais, F. J., & Santos, P. S. (2020). Ferramentas de manutenção preditiva de motores diesel: uma revisão bibliográfica sistemática. *Research, Society and Development*, 9(11), p. e57691110195. doi:<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10195>
- Aranha, T. S., Mollo Neto, M., Rodrigueiro, M. M., Morais, F. J., & Santos, P. S. (2021). Instrumentação aplicada em máquinas agrícolas: revisão sistemática da literatura. *Research, Society and Development*, 10(17), p. e22101724247. doi:<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24247>
- Batista, N. d., Aranha, T. S., Oliveira, K. S., Rodrigueiro, M. M., Mollo Neto, M., & Santos, P. S. (2022). Aplicação de instrumentação em cultivo de algodão: revisão sistemática da literatura. *Research, Society and Development*, 11(9), p. e46511930581. doi:<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.30581>
- Biolchini, J., Mian, P., Natali, A., Conte, T., & Travassos, G. (2007). Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, 21(2), pp. 133-151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006>

- Carpio, J., & Souza, F. (2019). Competition between second-generation ethanol and bioelectricity using the residual biomass of sugarcane: Effects of uncertainty on the production mix. *Molecules*, 24(2), p. 369. doi:10.3390/molecules24020369
- Carvalho, D., Veiga, J., & Bizzo, W. (2017). Analysis of energy consumption in three systems for collections sugarcane straw for use in power generation. *Energy*, 119, pp. 178-187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.067>
- Coelho, S., Goldemberg, J., Lucon, O., & Guardabassi, P. (2006). Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. *Energy for Sustainable Development*, 10(2), pp. 26-39. doi:[https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60529-3](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60529-3)
- CONAB. (2021). *Monitoramento agrícola – Cana-de-açúcar – Safra 2020/21 – N.4 Quarto Levantamento Maio 2021*. Brasília, DF. Fonte: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>
- Conforto, E., Amaral, D., & Silva, S. (2011). Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projeto. *CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO - CBGDP*, 8. Porto Alegre.
- Da Silva, R., De Paula, I., Patelli Junior, J., Torres, T., & Pereira, T. (2017). Residual biomasses in the micro-region of Dourados (MS): Assessment and availability for energy in agriculture thermal conversion. *Engenharia Agrícola*, 37(3), pp. 433-440. doi:<https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n3p433-440/2017>
- EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. (2020). *Plano Nacional de Energia 2050*. Ministério de Minas e Energia, Brasília. Fonte: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>.
- Ensinas, A. V., Nebra, S. A., Lozano, M. A., & Serra, L. M. (2007). Analysis of process steam demand reduction and electricity generation in sugar and ethanol production from sugarcane. *Energy Conversion and Management*, 48, pp. 2978-2987. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.06.038>
- Fabbri, S., Octaviano, F., Silva, C., Di Thommazo, A., Hernandez, E., & Belgamo, A. (2016). Improvements in the Start tool to better support the systematic review process. *20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE'16)*, (pp. 1-5). doi:<https://doi.org/10.1145/2915970.2916013>
- Khodarutha, A. (2014). Optimization of a cogenerated energy system: the cane biomass flexi-factory case study. *Energy Procedia*, 62, pp. 656-665. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.429>
- Macedo, I. C., Leal, M. R., & Hassuani, S. J. (2001). Sugar cane residues for power generation in the sugar/ethanol mills in Brazil. *Energy for Sustainable Development*, pp. 77-82. doi:10.1016/S0973-0826(09)60022-3
- Marcelo, D., Bizzo, W., Alamo, M., & Vásquez, E. (2017). Assessment of sugarcane byproducts for energy use in Peru. *Energy Procedia*, 115, pp. 397-408. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.037>
- Moreira, J. R., Fuss, S., Kraxner, F., & Pacca, A. S. (2016). BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. *Applied Energy*, pp. 55-63. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.044>
- Oliveira, R., Barros, R., Ferreira-Leitão, V., Freitas, S., & Bon, E. (2020). Energy supply design for the integrated production of 1G + 2G ethanol from sugarcane. *Renewable energy focus*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ref.2020.10.005>
- ONU. (2015). *Agenda 2030 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Organização das Nações Unidas. Fonte: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- Santos, P., & Ramos, R. (2020). Increased energy cogeneration in the sugar-energy sector with use of sugarcane straw, electrification of drives, and high-drainage rollers in the extraction. *Engenharia Agrícola*, 40(2), pp. 249-257. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n2p249-257/2020>
- Souto, T., Coelho, A., Holanda, R., Moraes, A., Paz, Y., & Da Silva, R. (2018). Viabilidade da bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar. *Revista em agronegócio e meio ambiente*, 11(2). doi:<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n2p409-429>