

Análise bibliométrica sobre a pirólise de resíduos da bananicultura

Bibliometric analysis on pyrolysis of banana plantation wastes

Análisis bibliométrico sobre pirólisis de desechos de plantaciones de banano

Recebido: 18/12/2019 | Revisado: 09/02/2020 | Aceito: 11/03/2020 | Publicado: 20/03/2020

Drielly Mazzarim Bernades

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3369-5721>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: driellymazzarim@gmail.com

Thiago Padovani Xavier

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7148-9921>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: thiago.p.xavier@ufes.br

Rodrigo Randow de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0170-6892>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: rodrigo.r.freitas@ufes.br

Taisa Shimosakai de Lira

ORCID: <https://orcid.org/00000002-2690-242X>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: taisa.lira@ufes.br

Resumo

Com o crescimento econômico e populacional de certas nações, a necessidade de utilização de fontes energéticas tem aumentado, e o fato do mundo ser dependente dos combustíveis fósseis é bastante preocupante, uma vez que estes possuem características finitas e potencialmente poluidoras. Essas condições incentivam a crescente busca por fontes renováveis e “limpas” para auxiliar no suprimento da demanda energética mundial. Assim, muitos estudos voltam-se para os processos de conversão dos resíduos agroindustriais, grande desafio no destino adequado quando se considera a enorme quantidade de detritos gerados. Dentre esses processos, destaca-se a conversão termoquímica, principalmente a pirólise. Com o intuito de realizar o levantamento estatístico por meio da abordagem bibliométrica acerca da pirólise dos resíduos da bananicultura, este trabalho foi construído por meio das bases de dados

Scopus e Web of Science, focando na utilização desses resíduos como biomassa para geração energética. Como resultado, foi evidenciado o notório crescimento dos estudos, ao longo dos anos, no que se refere ao uso da pirólise como processo de conversão de resíduos. Concluiu-se que a potencial utilização dos resíduos da cultura da banana como biomassa para produção de fontes alternativas de energia é destaque em pesquisas desenvolvidas nos países que são considerados os maiores produtores mundiais da fruta.

Palavras-chave: Energia; Fontes renováveis; Banana; Matriz energética.

Abstract

With the economic and population growth of certain nations, the need for energy sources has increased, and the fact that the world is dependent on fossil fuels is quite worrying, since they have finite and potentially polluting characteristics. These conditions encourage the growing search for renewable and “clean” sources to help supply the world's energy demand. Thus, many studies focus on the processes of converting agro-industrial waste, a big challenge in the proper destination when considering the huge amount of debris generated. Among these processes, thermochemical conversion through pyrolysis stands out. In order to perform the statistical survey through the bibliometric approach about the pyrolysis of banana residues, this work was built through Scopus and Web of Science databases, focusing on the use of these residues as biomass for energy generation. As a result, the notable growth of studies over the years regarding the use of pyrolysis as a waste conversion process was evidenced. It was concluded that the potential use of banana crop residues as biomass for production of alternative energy sources is highlighted in research conducted in countries that are considered the world's largest fruit producers.

Keywords: Energy; Renewable source; Banana; Energetic Matrix.

Resumen

Con el crecimiento económico y demográfico de ciertas naciones, la necesidad de fuentes de energía ha aumentado, y el hecho de que el mundo dependa de los combustibles fósiles es bastante preocupante, ya que tienen características finitas y potencialmente contaminantes. Estas condiciones fomentan la búsqueda creciente de fuentes renovables y "limpias" para ayudar a abastecer la demanda mundial de energía. Por lo tanto, muchos estudios se centran en los procesos de conversión de residuos agroindustriales, un gran desafío en el destino adecuado cuando se considera la gran cantidad de escombros generados. Entre estos procesos, se destaca la conversión termoquímica a través del pirólisis. Para realizar la encuesta

estadística a través del enfoque bibliométrico sobre el pirólisis de residuos de banano, este trabajo fue construido utilizando las bases de datos Scopus y Web of Science, centrándose en el uso de estos residuos como biomasa para la generación de energía. Como resultado, se evidenció el notable crecimiento de los estudios a lo largo de los años sobre el uso del pirólisis como proceso de conversión de desechos. Se concluyó que el uso potencial de los residuos de cultivos de banano como biomasa para la producción de fuentes alternativas de energía se destaca en una investigación realizada en países que se consideran los mayores productores de frutas del mundo.

Palabras clave: Energía; Fuentes renovables; Plátano; Matriz energética.

1. Introdução

Antes do início da utilização dos combustíveis fósseis, a sociedade dependia de biomassa mineral e vegetal para atender às demandas energéticas. A descoberta de petróleo bruto, no século 19, criou uma fonte mais acessível de combustível líquido que ajudou a industrializar o mundo e melhorou os padrões de vida (Huber, et al., 2006). Pode-se destacar que, mundialmente, as fontes primárias de energia são oriundas do petróleo e derivados, gás natural e carvão, que compreendem cerca de 81,6% da matriz energética (IEA, 2016; MME, 2018). Já no Brasil, o panorama energético é baseado, em sua maior parte, em energias não-renováveis, representando 54,7%: petróleo e derivados (34,4%), gás natural (12,5%), carvão mineral (5,8%), urânio (1,4%) e outras (0,6%) (EPE, 2019).

Assim, quando se considera a redução dos recursos naturais disponíveis, atrelado ao aumento da demanda por energia, devido ao desenvolvimento econômico e crescimento populacional, e ainda, as preocupações políticas e ambientais sobre os combustíveis fósseis, é imperativo desenvolver processos econômicos e energeticamente eficientes para a produção sustentável de energia.

São geradas em todo o mundo quantidades consideráveis de resíduos agrícolas, como resultado de processos industriais (Nanda, et al., 2016). A conversão energética de componentes desses produtos, como por exemplo: carboidratos, lipídios, gorduras, celulose, hemicelulose e lignina; para utilização como biocombustíveis é uma potencial alternativa para diversificação da matriz energética, principalmente quando observa-se a necessidade do gerenciamento adequado dos resíduos.

Dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) de 2017, demonstram que foram geradas mundialmente cerca de 37 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais. A emissão de gases de efeito estufa (GEE) diretos e indiretos,

provenientes desses resíduos chegaram a cerca de 449 milhões de toneladas no ano de 2017 (FAO, 2017a). Outros dados de relatórios da FAO, indicam que os resíduos alimentares gerados globalmente correspondem, aproximadamente, à US \$ 750 bilhões por ano (FAO, 2015).

Na cultura da banana, por exemplo, grandes quantidades de resíduos são geradas. Para cada tonelada colhida, 100 kg de fruta são rejeitados e geradas, aproximadamente, 4 toneladas de resíduos lignocelulósicos (3 toneladas de pseudocaule, 160 kg de engaço, 480 kg de folhas e 440 kg de casca) (Fernandes, et al., 2013).

Nesse sentido, os resíduos agroindustriais estão, cada vez mais, sendo utilizados como biomassa em processos de conversão termoquímica como liquefação, gaseificação, pirólise e combustão (Zang, et al., 2010). Vale ressaltar que a pirólise apresenta-se promissora em relação as rotas de conversão termoquímica de biomassa em fontes energéticas e em produtos químicos para uso industrial (Dhyani & Bhaskar, 2019), sobretudo pelo alto rendimento do produto com maior valor agregado, o líquido, de cerca de 75% em peso (Bridgwater, 2006; Guillain, et al., 2009), o que facilita o armazenamento e transporte; e ainda, o benefício de não gerar resíduos durante as reações (Abnisa, et al., 2013).

Importante destacar que a decomposição da biomassa através da pirólise gera produtos como biocarvão, bio-óleo e também gases contendo H₂, *syngas* e hidrocarbonetos gasosos leves. O biocarvão pode ser utilizado como catalisador na decomposição do alcatrão (Shen & Yoshikawa, 2013), na correção do solo para aumentar a atividade microbiana e o período de retenção de nutrientes que, por sua vez, melhora a fertilidade (Lehmann, et al., 2011). O bio-óleo pode ser usado como matéria-prima química ou combustível para transporte, dependendo de suas composições (Russell, et al., 2012; Salema & Ani, 2011), e os produtos gasosos (H₂, metano e *syngas*) podem ser aplicados como combustível nos motores a gás ou nas células de combustível (Lam, et al., 2010, 2016).

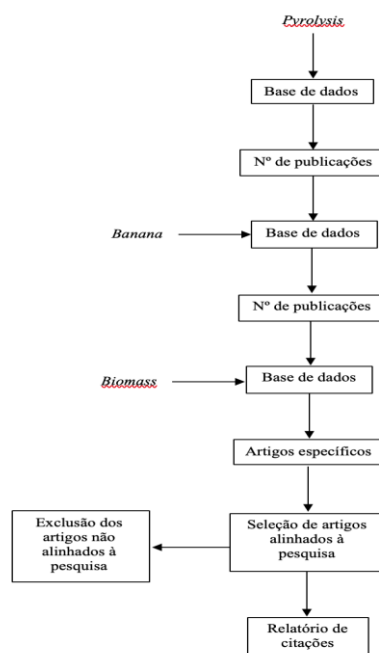
Como exposto, os estudos apontam que a pirólise é bastante promissora para atuar como uma técnica alternativa para converter resíduos agroindustriais em produtos com características úteis para geração de energia. Assim, o desenvolvimento desse artigo tem o objetivo de realizar um levantamento estatístico, através da abordagem bibliométrica por meio da busca de artigos nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, considerando a cultura da banana (*Musa spp.*), com foco na potencial utilização dos seus resíduos como biomassa para geração de energia.

2. Metodologia

Para realização desta análise bibliométrica, utilizou-se o método de pesquisa exploratória nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, com objetivo de levantar o maior número de publicações referentes ao tema em análise. A *Scopus* é a maior base de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares, e contém mais de 22.000 títulos de mais de 5.000 editores em todo o mundo, abrangendo as áreas de Ciências Exatas e da Terra, Ciências Biológicas, Engenharias, Ciências da Saúde, Ciências Agrárias, Ciências Sociais Aplicadas, Ciências Humanas, Linguística, Letras e Artes, e Outros. Além disso, contém registros que remontam a 1823, dos quais 84% possuem referências que datam de 1996 (Scopus, 2016). Já a *Web of Science* (WoS) é a designação comum que é dada a um conjunto de bases de dados compiladas pelo ISI (*Institute for Scientific Information*) (UFPR, 2009). A WoS disponibiliza acesso a mais de 9.200 títulos de periódicos datados desde 1945 (UFRGS, 2014).

Visando a uma correta análise, adotou-se uma sequência metodológica ilustrada no fluxograma da Figura 1. A primeira palavra-chave inserida na busca das bases de dados foi “*pyrolysis*”, gerando publicações referentes a este processo de conversão. Em seguida, foi adicionada “*banana*”, filtrando os resultados para as publicações que realizaram estudos com este material, e, por último, incluiu-se “*biomass*”, com o intuito de direcionar a pesquisa para a área de Energia.

Figura 1 – Fluxograma da pesquisa exploratória nas bases de dados.



Fonte: Autores.

De posse dos dados das publicações encontradas e filtradas com as palavras-chave estabelecidas, foi necessário analisá-los e selecionar àqueles alinhados à pesquisa. Desta forma, ocorreu a exclusão de alguns trabalhos que não continham informações específicas sobre a pesquisa.

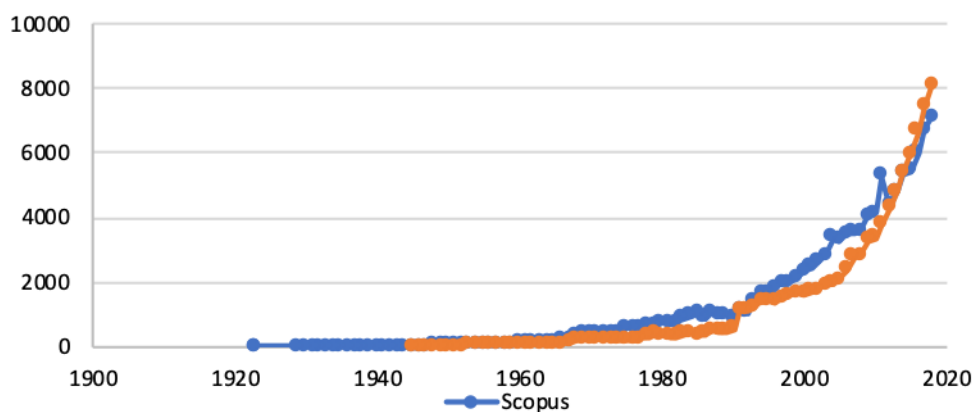
Após a etapa de seleção, os artigos foram organizados e analisados estatisticamente pelas métricas de busca das bases de dados, de acordo com ano, localidade (país) e número de citações. As publicações foram dispostas, decrescentemente, com base na variável “número de citações”, objetivando a exibição dos trabalhos mais relevantes quanto à pirólise de biomassa de resíduos da bananicultura.

3. Resultados e Discussão

As pesquisas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, seguindo o fluxograma (Fig. 1), geraram a seguinte quantidade de publicações, respectivamente: para “*pyrolysis*” 117.434 e 97.499, para “*banana*” 68 e 78, e para “*biomass*” 25 e 46.

Observando o gráfico da Figura 2, verifica-se que a base *Scopus* possui publicações mais antigas sobre o termo “*pyrolysis*”. A primeira publicação na base *Scopus* sobre *pyrolysis* é datada de 1923, enquanto que na base *Web of Science*, os registros indicam estudos a partir de 1945. As curvas do gráfico (Figura 2) demonstram o aumento da notoriedade do processo de pirólise a partir dos anos 90. Neste período, os estudos relacionados à pirólise começaram a se intensificar com o desenvolvimento de tecnologias e equipamentos mais eficientes, visando a produção de carvão vegetal com melhoria da eficiência energética do processo, além de aumentar a recuperação de líquidos e gases para uso como fontes de energia ou outras finalidades (Gómez, 2005).

Figura 2 – Número de publicações ao longo dos anos com a chave “*pyrolysis*” por base de dados.



Fonte: Autores.

Quando se apresenta os 10 países que mais pesquisam sobre o referido tema, observa-se que existe pequena diferença entre as bases, pois a partir da 4ª colocação, há alteração nas posições, no entanto, a maioria dos países estão em ambas as bases com quantidade relevante de publicações. Os 3 países que mais pesquisam são China, Estados Unidos e Japão, ocupando as mesmas posições nas duas bases de dados, conforme ilustrado na Tabela 1.

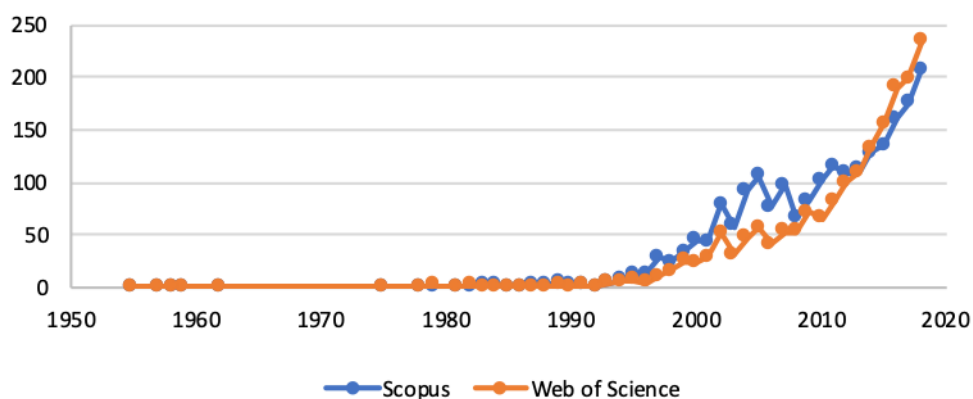
Tabela 1 – 10 países/regiões que possuem mais publicações registradas nas bases de dados com a chave “*pyrolysis*”

<i>Scopus</i>		<i>Web of Science</i>	
País	Número de publicações	País	Número de publicações
China	25.044	China	22.110
Estados Unidos	21.635	Estados Unidos	16.806
Japão	8.500	Japão	6.665
Alemanha	6.444	Índia	5.389
Índia	5.825	Alemanha	5.282
Reino Unido	5.567	França	4.535
França	4.651	Inglaterra	4.258
Coréia do Sul	4.141	Coréia do Sul	4.128
Espanha	3.548	Espanha	3.774
Rússia	3.525	Austrália	2.870

Fonte: Autores

O Brasil ocupa o 14º lugar no *Scopus*, com 2.242 publicações, e 15º lugar na *Web of Science*, com 1.931 artigos publicados, representando menos de 2% dos artigos publicados no mundo, isso demonstra que as pesquisas no país, sobre esse processo de conversão, ainda estão em evolução. Na Figura 3, essa percepção é confirmada, assim como o acompanhamento da tendência mundial de crescimento na publicação de artigos sobre o tema a partir dos anos 90, além da acentuação das publicações após os anos 2000.

Figura 3 – Número de publicações ao longo dos anos com a chave “*pyrolysis*” no Brasil.



Fonte: Autores.

Para cada base de dados, foram selecionadas as 5 publicações com maior número de citações, exibidas na Tabela 2. Os referidos artigos foram analisados com o objetivo de identificar as abordagens intrínsecas quanto ao processo de pirólise.

Tabela 2 – Artigos mais citados com a chave “*pyrolysis*”

Título	Autores	Ano	Base	Citações
Synthesis and characterization of nearly monodisperse CDE (E = S, SE, TE) semiconductor nanocrystallites	Murray, et al.	1993	Scopus/ WoS	7.383/ 7.221
Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing	Medintz et al.	2005	Scopus	4.680
Biodiesel production: a review	Ma e Hanna	1999	Scopus/ WoS	3.773/ 3.370
Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review	Mohan et al.	2006	Scopus/ WoS	3.153/ 2.937
Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis	Yang et al.	2007	Scopus/ WoS	2.900/ 2.729
Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading	Bridgwater	2012	WoS	1.801

Fonte: Autores

O artigo mais citado (Murray, et al., 1993) ocupa o primeiro posto nas duas bases de dados analisadas com 7.383 citações na base *Scopus* e 7.221 citações na *WoS*. Apresenta uma rota simples para a produção de nanocristalitos semicondutores CdE de alta qualidade (E = S, Se, Te), baseada na pirólise de reagentes organometálicos por injeção em solvente de coordenação a quente.

Medintz et al. (2005) pesquisaram o uso da pirólise na nanotecnologia para preparação de bioconjugados de pontos quânticos para utilização na biologia.

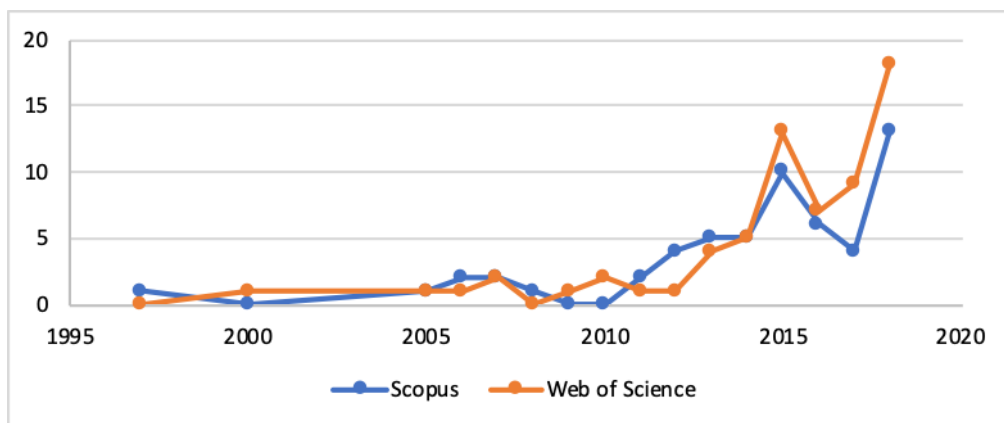
Ma e Hanna (1999) revisaram os métodos de produção de biodiesel e citaram a pirólise como um desses métodos. Corroborando com estes estudos, Mohan et al. (2006) realizaram uma revisão enfocando os desenvolvimentos recentes na pirólise da madeira para obtenção de bio-óleo, frisando os aspectos físicos e químicos dos bio-óleos resultantes.

Já Yang et al. (2007) realizaram experimentos para comparar as características dos três principais componentes da biomassa: celulose, hemicelulose e lignina; verificando o comportamento de cada componente ao processo de pirólise em leito fixo, bem como os produtos e quantidades geradas na reação.

Complementarmente aos estudos de Ma e Hanna (1999) e Mohan et al. (2006), o pesquisador Bridgwater (2012) forneceu uma revisão sobre a pirólise rápida de biomassa para a produção de bio-óleo, enfocando a crescente diversidade de métodos e catalisadores que estão sendo desenvolvidos para melhoria das propriedades deste produto.

Após a seleção e estudo das publicações relacionadas ao termo “*pyrolysis*”, foi realizada uma nova busca com a inserção da palavra-chave “*banana*”, que resultou em 68 artigos na base *Scopus* e 78 artigos na *WoS* (Figura 4).

Figura 4 – Número de publicações ao longo dos anos com as chaves “*pyrolysis*” e “*banana*”.



Fonte: Autores.

Observa-se que o número de publicações, ao longo do tempo, sobre o tema estudado apresenta crescimento do ano de 2010 até 2015 e queda nos anos de 2016 e 2017. No entanto, em 2018 voltou a crescer, acompanhando a produção de bananas e a consequente maior geração de resíduos. A banana é o principal produto comercial do mundo, considerando a fruticultura. Sua área plantada é de aproximadamente 5,4 milhões de hectares e tem uma produção de 114 milhões de toneladas, anualmente (FAO, 2017b).

Ao analisar os resultados encontrados, percebe-se que os países que mais publicam sobre a pirólise da banana são as nações que cultivam a fruta, de acordo com a Tabela 3. O Brasil se destaca na 4ª posição em publicações, e dados da FAO indicam que o país é o 4º maior produtor mundial de bananas, com mais de 6 milhões de toneladas produzidas no ano de 2017 (FAO, 2017b).

Tabela 3 – 10 países/regiões que possuem mais publicações registradas nas bases de dados com as chaves “*pyrolysis*” e “*banana*”.

<i>Scopus</i>		<i>Web of Science</i>	
País/ região	Número de publicações	País	Número de publicações
China	14	Índia	20
Índia	13	China	18
Malásia	11	Malásia	11
Brasil	5	Brasil	6
Indonésia	5	Estados Unidos	5
Alemanha	4	Indonésia	4
Reino Unido	4	Paquistão	3
Estados Unidos	4	Bélgica	2
Bélgica	2	Egito	2
França	2	Inglaterra	2

Fonte: Autores

Como anteriormente, foram selecionados os 5 artigos mais citados em cada base de dados para estudo, obtendo as publicações listadas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Artigos mais citados com a chave “*pyrolysis*” e “*banana*”.

Título	Autores	Ano	Base	Citações
Study of banana and coconut fibers. Botanical composition, thermal degradation and textural observations	Bilba et al.	2007	<i>Scopus</i> / <i>WoS</i>	139/ 113
Pyrolytic carbon from biomass precursors as anode materials for lithium batteries	Stephan et al.	2006	<i>Scopus</i> / <i>WoS</i>	68/ 64
Biomass-Derived Porous Carbon with Micropores and Small Mesopores for High-Performance Lithium-Sulfur Batteries	Yang et al.	2016	<i>Scopus</i> / <i>WoS</i>	59/ 56

Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source	Fernandes et al.	2013	Scopus	51
Fruit waste as feedstock for recovery by pyrolysis technique	Lam et al.	2016	Scopus/ WoS	47
Gasification of fruit wastes and agro-food residues in supercritical water	Nanda et al.	2016	WoS	48

Fonte: Autores

Bilba et al. (2007) examinaram fibras de bananeiras (folha, pseudocaule) e coqueiro (casca, fibras) antes de sua incorporação em matrizes cimentícias, a fim de preparar material isolante para construção, estudando a degradação térmica dessas fibras entre 200 e 700 °C sob fluxo de gás nitrogênio, mostrando a relação entre a composição botânica, química, com a localização das fibras na árvore e o tipo de árvore.

Stephan et al. (2006) realizaram pirólise de fibras de bananeira tratadas com substâncias formadoras de poros, como $ZnCl_2$ e KOH , gerando produtos carbonosos com capacidades de inserção e de desintegração de lítio de primeiro ciclo de baterias.

Yang et al. (2016) efetuaram a conversão por pirólise de casca de banana seguida de ativação com KOH , gerando alguns tipos de carvão poroso usados como cátodo de bateria de Li-S para descarga.

Já Fernandes et al. (2013) caracterizaram folhas de bananeira semi-secas e frescas através de análises elementares, proximais, fração lignocelulósica, análise termogravimétrica (ATG/DTG), calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise de alto valor calorífico para avaliar sua utilização como biomassa para geração de energia por combustão e pirólise. As características químicas e o comportamento térmico demonstrados pelas amostras semi-secas indicam seu potencial de uso como biomassa, com resultados semelhantes aos demais resíduos agroindustriais atualmente utilizados.

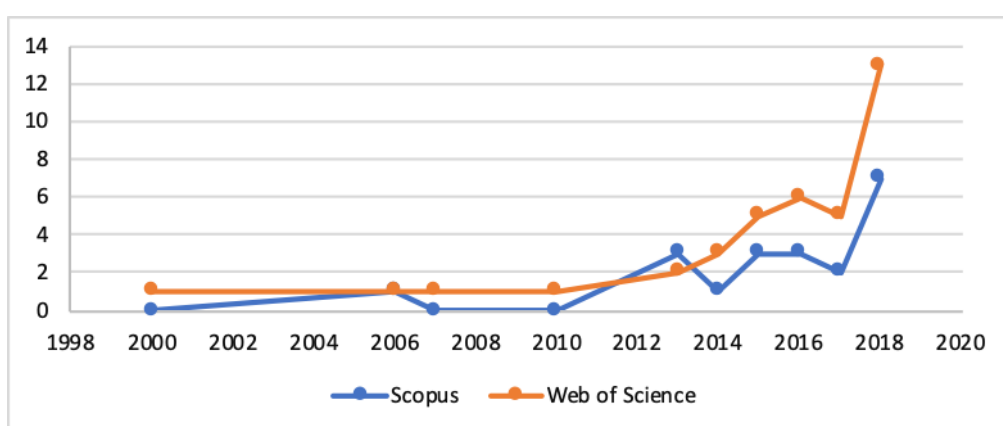
Lam et al. (2016) submeteram ao processo de pirólise os resíduos de frutas, como: endocarpo de manga, cascas de banana, laranja e melancia e analisaram o comportamento térmico, grupo funcional químico, composição elementar e imediata. Concluíram que há potencial para produzir biocarvão para uso como suporte de catalisador ou carbono ativado, além da geração de bio-óleo e biogás que podem ter aplicações úteis.

Nanda et al. (2016) destacaram a caracterização e conversão hidrotérmica de diversos resíduos de frutas e resíduos agroalimentares, como cascas de aloe vera, banana, coco, limão, laranja, abacaxi e bagaço de cana-de-açúcar; sob gaseificação a vapor. Estudaram os impactos da temperatura, relação biomassa / água, tempo de reação, faixa de pressão e os efeitos catalíticos de $NaOH$ e K_2CO_3 para maximizar os rendimentos e seletividade de hidrogênio. Os

resultados sugerem que a gaseificação a vapor de resíduos de frutas e resíduos agroalimentares pode ser utilizada como uma tecnologia de gerenciamento de resíduos orgânicos e geração de bioenergia.

Com o intuito de direcionar as publicações relacionadas à área de Energia, com ênfase no reaproveitamento de resíduos da bananicultura, incluiu-se às chaves “*pyrolysis*” e “*banana*”, a palavra “*biomass*”, gerando 25 artigos na base de dados *Scopus* e 46 artigos na *WoS*. Analisando as publicações ao longo dos anos, percebe-se que houve um crescimento nas pesquisas para utilização dos resíduos da bananeira como biomassa no processo de pirólise (Figura 5).

Figura 5 – Número de publicações ao longo dos anos com as chaves “*pyrolysis*”, “*banana*” e “*biomass*”.



Fonte: Autores.

Através da Tabela 5, é possível avaliar os países que mais contribuíram com estudos dos resíduos da bananicultura como biomassa utilizada no processo de conversão por pirólise, destacam-se novamente China, Malásia, Índia e Brasil.

Tabela 5 – 10 países/regiões que possuem mais publicações registradas nas bases de dados com as chaves “*pyrolysis*” e “*banana*”

Scopus		Web of Science	
País	Número de publicações	País	Número de publicações
China	5	China	11
Malásia	5	Malásia	9
Índia	4	Índia	8
Brasil	3	Brasil	5
Indonésia	3	Indonésia	3
Alemanha	2	Estados Unidos	3

Uganda	2	Egito	2
Bangladesh	1	Inglaterra	2
Nigéria	1	Nigéria	2
Paquistão	1	Paquistão	2

Fonte: Autores

A Tabela 6 relaciona os 5 artigos mais citados e relevantes para o estudo bibliométrico, contendo os artigos que se apresentam diferentes dos artigos já refinados na Tabela 2 e 4.

Tabela 6 – Artigos mais citados com as chaves: “*pyrolysis*”, “*banana*” e “*biomass*”.

Título	Autores	Ano	Base	Citações
An approach to using agricultural waste fibres in biocomposites application: Thermogravimetric analysis and activation	Alwani et al.	2014	<i>Scopus/WoS</i>	36/ 31
Biomass waste-to-energy valorisation technologies: A review case for banana processing in Uganda	Gumisiriza et al..	2017	<i>Scopus/WoS</i>	15/ 12
Oxidative fast pyrolysis of banana leaves in fluidized bed reactor	Sellin et al.	2016	<i>Scopus/WoS</i>	11/ 09
Classification of municipal solid waste components for thermal conversion in waste-to-energy research	Zhou et al.	2015	<i>WoS</i>	38
Characterization and production of banana crop and rice processing waste briquettes	Maia et al.	2018	<i>WoS</i>	02

Fonte: Autores

Alwani et al. (2014) são integrantes da escola de tecnologia industrial da Universidade de Sains Malaysia, na Malásia, e em seu estudo investigaram o comportamento da estabilidade térmica de fibras de coco, pseudocaule de bananeira, coroa de abacaxi e bagaço de cana-de-açúcar por meio da ATG (análise termogravimétrica) sob atmosfera de nitrogênio. Os resultados concluíram que a fibra de coco é a mais termicamente estável, seguida pela coroa de abacaxi, pseudocaule de bananeira e bagaço de cana-de-açúcar, o que pode estar relacionado ao maior teor de lignina das fibras de coco. Frisaram, ainda, a importância deste tipo de estudo para o desenvolvimento de uma abordagem fundamental para entender o comportamento da decomposição térmica de fibras de resíduos agrícolas para produção de biocompósitos e bioetanol. Segundo os autores, a partir desses resultados é possível avançar nas pesquisas com esses resíduos em processos de conversão termoquímica ou bioquímica com o objetivo energético ou não.

Gumisiriza et al. (2017) são pesquisadores da escola de biociências da Universidade de Makerere, na Uganda, e no artigo citado relataram o caso da bananicultura na Uganda e a utilização da biomassa para geração de energia, citando os processos e tecnologias que podem ser utilizados para conversão energética dos resíduos. A indústria de bananas da Uganda é caracterizada pelo processamento da banana em farinha e sua utilização principal na panificação, o que requer energia para trituração, secagem e moagem, além da geração de grandes quantidades de resíduos orgânicos que são descartados em locais inadequados emitindo gases de efeito estufa, como metano e dióxido de carbono. O acesso rural à eletricidade nas regiões produtoras de bananas na Uganda é incipiente, estimado em apenas 2 a 3%, o que impede o desenvolvimento industrial da cultura da banana. Este artigo já avança nos estudos relacionados aos resíduos da bananicultura, selecionando e comparando as vantagens e desvantagens das tecnologias de conversão energética, que podem ser usadas na valorização dos resíduos da banana, e são agrupadas em três: térmica (combustão direta e incineração), termoquímica (torrefação, tratamento a plasma, gaseificação e pirólise) e bioquímica (compostagem, fermentação e digestão anaeróbica). A partir dos estudos, é constatado que devido ao alto teor de umidade dos resíduos da banana, a aplicação direta de tecnologias térmicas ou termoquímicas de resíduos em energia é um desafio para o país, pois além dos custos associados, existe ainda a limitação técnica dos produtores rurais em adotar essas tecnologias. As tecnologias de conversão bioquímica são relatadas como mais ecológicas e apropriadas para a biomassa de resíduos com alto teor de umidade, como os resíduos de banana, e a digestão anaeróbica se destaca como a tecnologia mais viável já que este tipo de resíduo é biodegradável com liberação de carboidratos, especialmente amido e lignoceluloses, com alto potencial líquido para produção de energia na forma de biogás, o que auxiliaria a redução da escassez de energia na área rural e destinaria corretamente a alta quantidade de resíduos da indústria de bananas da Uganda. Outro ponto abordado é a alternativa de se reaproveitar os efluentes da digestão anaeróbica como biofertilizante para ser reaplicado na plantação de bananas para aumentar a produção agrícola.

Sellin et al. (2016) referem-se a um grupo de pesquisadores do Brasil, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em parceria com a Univille (Universidade da região de Joinville), que trabalharam com as folhas secas de bananeira submetendo-as à pirólise rápida oxidativa com a intenção de verificar a geração de produtos com potencial energético. Os resultados sugerem potencial uso dos produtos como combustíveis e insumos químicos. O processo gerou 49,6% de gases, 27,0% de bio-óleo e 23,3% de biocarvão. O bio-óleo leve e pesado apresentaram compostos químicos complexos e de natureza fenólica e ácida. O bio-

óleo pesado apresentou valor de aquecimento superior (HHV) de 25 MJ / kg e baixo teor de nitrogênio e enxofre elementar, apresentando boas propriedades para utilização como combustível após a aplicação de algum processo de purificação e refinamento. Verificaram que este HHV é superior ao obtido em outras pesquisas para a palha trigo (22,0 MJ/ kg) e para a palha da cana-de-açúcar (13,0 MJ/ kg), por exemplo. O biocarvão apresentou uma estrutura porosa, rica em carbono, com alto valor de aquecimento e relativamente livre de poluição, possibilitando sua aplicação como combustível sólido. Dentro dos compostos químicos encontrados no bio-óleo leve, destacam-se ácido acético, propanona, furfural, fenol, 4-metilfenol, o-metoxifenol e p-etilfenol que oferecem aplicações industriais e alto valor de mercado. Os gases foram utilizados na câmara de combustão para aquecer o ar de fluidização do reator. O estudo e desenvolvimento dessa tecnologia, no caso específico do Brasil e de outros países subdesenvolvidos e grandes produtores de bananas, pode gerar condições necessárias para produzir, além do bio-óleo, carvão primário a partir de insumos de baixo preço de mercado. O biocarvão pode ser utilizado no setor industrial ou doméstico e, ainda, como insumo para a produção de carvão ativado.

Zhou et al. (2015) fazem parte de um grupo de estudiosos da Universidade de Tsinghua, na China, e reuniram diferentes pesquisas que selecionaram componentes de resíduos sólidos urbanos (RSU) para estudar suas características térmicas e químicas em busca de resíduos potenciais para geração de energia. Diferentemente da maioria dos artigos mais citados encontrados nessa pesquisa bibliométrica, o referido artigo foca na reutilização dos resíduos oriundos da coleta urbana, e o fato da banana ser uma das frutas mais consumidas no mundo reflete também na geração de resíduos urbanos. Neste trabalho, 26 tipos de amostras de componentes de RSU foram classificados usando o método de análise de agrupamento, de acordo com as análises imediatas e poder calorífico, bem como características termogravimétricas (TG). Os grupos de classificação incluem vegetais (incluindo as cascas de banana e laranja); amido (batatas e arroz); resíduos de madeira; papel para impressão e jornais; celulose; plásticos, como PVC (policloreto de vinila), PET (politereftalato de etileno), PE (polietileno), PP (polipropileno) e PS (poliestireno); e borracha. De acordo com a classificação estabelecida na pesquisa, os resíduos são classificados em 11 grupos usando o método de análise de agrupamento, baseada nas características térmicas e químicas semelhantes: a) resíduos alimentares, vegetais e casca de banana com vários picos abaixo de 320 °C para TG; b) amido (batatas e arroz) com pico único a 300 °C para TG; c) casca de tangerina e laranja apresentam menos de 3% de conteúdo de cinzas e aproximadamente 20% de teor fixo de carbono; d) madeira com pico fraco de

hemicelulose, pico forte de celulose e pico de lignina; e) papel para impressão (incluindo papel para impressão em branco e jornal) com aproximadamente 80% de voláteis e 10% de cinzas e o principal pico de TG a 350 °C; f) borracha é um grupo específico sem semelhança com os demais resíduos e possui TG com pico em 400°C; g) papel de seda, tecido de algodão e gaze de algodão absorvente constituem um grupo composto por celulose; h) PVC é um grupo específico devido ao alto teor de cloro e com pirólise em dois estágios; i) PET é um grupo, com o pico principal de TG a 440°C; j) PE e PP são um grupo, com um pico muito forte entre 455 e 485 °C para perda de massa; e k) PS se enquadra em um grupo com características distintas. A classificação desenvolvida neste estudo, com base em análises térmicas e químicas permite direcionar outras pesquisas focadas no reaproveitamento de lixo urbano para geração de energia, auxiliando na escolha do processo a ser utilizado para cada grupo.

Maia et al. (2018) são também pesquisadores brasileiros das Universidades Univille e UFSC, que com o objetivo de agregar valor aos resíduos agrícolas gerados pela cultura de banana e arroz no Brasil, avaliaram o potencial energético de briquetes produzidos a partir das folhas e pseudocaule da bananeira e cascas de arroz. As amostras foram preparadas e caracterizadas com relação às propriedades químicas e térmicas e, em seguida, avaliadas após compactação na forma de briquetes, que proporcionaram melhora substancial em suas propriedades. A densidade energética dos resíduos das folhas de bananeira foi de 786,6 MJ/m³ e, após a compactação, o briquete exibiu uma densidade energética de 17.523 MJ/m³, um aumento de aproximadamente 2.230%. O mesmo comportamento foi observado para os outros tipos de resíduos. A compactação dos resíduos lignocelulósicos resulta em melhor uso de energia de biomassa quando empregado como combustível para geração de energia. A densificação da biomassa pode reduzir os custos de transporte, manuseio e armazenamento. Das três amostras de resíduos estudadas, as folhas de bananeira apresentaram as melhores características, propriedades e potencial de geração de energia como briquetes. Devido à sua forma e tamanho uniformes, os produtos densos podem ser facilmente manuseados através de procedimentos de manuseio padrão e equipamentos de armazenamento, e podem ser facilmente incorporados na combustão direta ou co-queima com carvão, gaseificação, pirólise e outras conversões baseadas em biomassa. O uso de resíduos como briquetes seria uma alternativa interessante à lenha e carvão normalmente utilizados como combustível de biomassa em caldeiras, fornos, padarias, churrascarias, etc. Esses resultados representam uma evolução na busca de soluções técnicas ambientalmente amigáveis para a exploração energética de resíduos agrícolas e agroindustriais, a fim de minimizar sua quantidade no

campo, facilitar o transporte até os pontos de conversão térmica, e conseqüentemente, preservar o meio ambiente.

4. Considerações Finais

Esta análise bibliométrica realizou o levantamento estatístico sobre a pirólise de resíduos da bananicultura e mostrou o desenvolvimento que ocorreu nas pesquisas para utilização desses resíduos como biomassa por meio do processo de conversão termoquímica por pirólise. Foi possível verificar que os principais países que desenvolvem pesquisas sobre a utilização dos resíduos da cultura da banana para geração de energia são os países que possuem grandes áreas de cultivo dessa fruta.

O contexto atual tem levado à intensificação das pesquisas acerca do reaproveitamento de resíduos, devido à necessidade da inserção de novas fontes renováveis de energia na matriz energética mundial e ainda à demasiada geração de lixo pela população mundial. Somado à isso, ocorre também o deficiente gerenciamento de resíduos dos países, sobretudo nos menos desenvolvidos e mais populosos, causando uma sobrecarga de detritos no planeta. O descarte desses materiais em locais inadequados promove a emissão de gases de efeito estufa, devido à decomposição da matéria orgânica. Portanto, as pesquisas citadas neste trabalho são muito pertinentes e fazem correlação com as necessidades atuais das nações.

A análise pôde revelar, ainda, a potencialidade que existe nos estudos referentes aos resíduos da cultura da banana, pois se trata da segunda fruta mais consumida no mundo, com grande produção de resíduos e que abrange grandes áreas de plantio, principalmente em países emergentes. Os estudos apresentados nos artigos mais relevantes revelam que o foco das pesquisas existentes se baseia em identificar as propriedades dos produtos gerados na pirólise dos resíduos, e que é necessário ampliar os objetivos investigando as aplicações dos produtos, de forma a identificar a adequação de parâmetros de pirólise ou incorporando outros resíduos para que se aproveite o máximo do potencial energético dos resíduos da bananicultura.

Agradecimentos

À FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro fornecido, possibilitando o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., Ramalingam, S., Azemi, M. N. B. M. & Sahu, J. N. (2013). Co-pyrolysis of palm shell and polystyrene waste mixtures to synthesis liquid fuel. *Fuel*, 108, 311-318. doi: 10.1016/j.fuel.2013.02.013
- Alwani, M. S., Abdul Khalil, H.P.S., Sulaiman, O., Islam, N., & Dungani, R. (2014). An approach to using agricultural waste fibres in biocomposites application: Thermogravimetric analysis and activation energy study. *Bioresources*, 09 (1), 218-230. Retrieved from https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_09_1_218_Alwani_Agricultural_Waste_Fibres_Biocomposites/2466
- Bilba, K., Arsene, M.-A. & Ouensanga, A. (2007). Study of banana and coconut fibers. Botanical composition, thermal degradation and textural observations. *Bioresource Technology*, 98 (1), 58-68. doi: 10.1016/j.biortech.2005.11.030
- Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68-94. doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.048
- Bridgwater, T. (2006). Biomass for energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 (12), 1755-1768. doi: 10.1002/jsfa.2605
- Dhyani, V. & Bhaskar, T. (2019). Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (Second Edition). *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, 217-244. doi:10.1016/B978-0-12-816856-1.00009-9
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2019). *Balanço Energético Nacional 2019: ano base 2018*. Retrieved Jul 8, 2019, from <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório%20S%C3%ADntese%20BEN%202019-ab%202018.pdf>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Food wastage footprint: impacts on natural resources 2013*. Retrieved Jun 3, 2019, from www.fao.org/publications

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017a). *Crop Residues*. Retrieved Oct 15, 2019, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GA>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017b). *World Banana Production*. Retrieved Jun 2, 2019, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

Fernandes, E. R. K., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (2013). Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management*, 75, 603-608. doi: 10.1016/j.enconman.2013.08.008

Gómez, E. O. (2005). A Tecnologia de Pirólise no Contexto da Produção Moderna de Biocombustíveis: Uma Visão Perspectiva. *Ambiente Brasil-Ambiente Energia*. Retrieved Sep 10, 2019, from https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos_energia/a_tecnologia_de_pirolise_no_contexto_da_producao_moderna_de_biocombustivies:_uma_visao_perspectiva.html

Guillain, M., Fairouz, K., Mar, S. R., Monique, F. & Jacques, L. (2009). Attrition-free pyrolysis to produce bio-oil and char. *Bioresource Technology*, 100 (23), 6069-6075. doi: 10.1016/j.biortech.2009.06.085

Gumisiriza, R., Hawumba, J. F., Okure, M., & Hensel, O. (2017). Biomass waste-to-energy valorisation technologies: A review case for banana processing in Uganda. *Biotechnology for Biofuels*, 10 (11), Jan. 3. doi: 10.1186/s13068-016-0689-5

Huber G. W., Iborra S., & Corma A. (2006). Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. *Chemical Reviews*, 106 (9), 4044-4098. doi: 10.1021/cr068360d

IEA - International Energy Agency. (2016). *World Energy Balances*. Retrieved Jun 2, 2019, from <https://www.iea.org/statistics/balances/>

Lam, S. S., Liew, R. K., Jusoh, A., Chong, C. T., Ani, F. N., & Chase, H. A. (2016). Progress in waste oil to sustainable energy, with emphasis on pyrolysis techniques. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 53, 741-753. doi: 10.1016/j.rser.2015.09.005

Lam, S. S., Liew, R. K., Lim, X. Y., Ani, F. N., & Jusoh, A. (2016). Fruit waste as feedstock for recovery by pyrolysis technique. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 113, 325-333. doi: 10.1016/j.ibiod.2016.02.021

Lam, S.S., Russell, A. D., & Chase, H. A. (2010). Pyrolysis using microwave heating: a sustainable process for recycling used car engine oil. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49, 10845-10851. doi: 10.1021/ie100458f

Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (9), 1812-1836. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology*, 70 (1), 1-15. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00025-5

Maia, B. G. O., Oliveira, A. P. N., Oliveira, T. M. N., Marangoni, C., Souza, O., & Sellin, N. (2018). Characterization and production of banana crop and rice processing waste briquettes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37, 1266-1273. doi: 10.1002/ep.12798

Medintz, I. L., Uyeda, H. T., Goldman, E. R., & Mattoussi, H. (2005). Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing. *Nature Materials*, 4, 435-446. doi: 10.1038/nmat1390

MME - Ministério de Minas e Energia. (2018). *World Energy*. Retrieved Jun 2, 2019, from <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155>

- Mohan, D., Pittman Jr., C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy and Fuels*, 20 (3), 848-889. doi: 10.1021/ef0502397
- Murray, C. B., Norris, D. J., & Bawendi, M. G. (1993). Synthesis and Characterization of Nearly Monodisperse CdE (E = S, Se, Te) Semiconductor Nanocrystallites. *Journal of the American Chemical Society*, 115 (19), 8706-8715. doi: 10.1021/ja00072a025
- Nanda, S., Isen, J., Dalai, A. K., & Kozinski, J. A. (2016). Gasification of fruit wastes and agro-food residues in supercritical water. *Energy Conversion and Management*, 110, 296-306. doi: 10.1016/j.enconman.2015.11.060
- Russell, A. D., Antreou, E. I., Lam, S. S., Ludlow-Palafox, C., & Chase, H.A. (2012). Microwave-assisted pyrolysis of HDPE using an activated carbon bed. *RSC Advances*, 2 (17), 6756-6760. doi: 10.1039/c2ra20859h
- Salema, A. A., & Ani, F. N. (2011). Microwave induced pyrolysis of oil palm biomass. *Bioresource Technology*, 102, 3388-3395. doi: 10.1016/j.biortech.2010.09.115
- Scopus. Quick Reference Guide. (2016). Retrieved Jun 2, 2019, from https://www.periodicos.capes.gov.br/images/documents/Scopus_Guia%20de%20referência%20rápida_10.08.2016.pdf
- Sellin, N., Krohl, D. R., Marangoni, C., & Souza, O. (2016). Oxidative fast pyrolysis of banana leaves in fluidized bed reactor. *Renewable Energy*, 96 (A), 56-64. doi: 10.1016/j.renene.2016.04.032
- Shen, Y., & Yoshikawa, K. (2013). Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis – A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 21, 371-392. doi: 10.1016/j.rser.2012.12.062
- Stephan, A. M., Kumar, T. P., Ramesh, R., Thomas, S., Jeong, S. K., & Nahm, K. S. (2006). Pyrolytic carbon from biomass precursors as anode materials for lithium batteries. *Materials Science and Engineering A*, 430, 132-137. doi: 10.1016/j.msea.2006.05.131

UFPR. Web of Science Tutorial. (2009). Retrieved Jun 2, 2019, from <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34326/Web%20of%20Science.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UFRGS. Web of Science Tutorial. (2014). Retrieved Jun 2, 2019, from https://www.ufrgs.br/bibeng/wp-content/uploads/2014/02/WEB_OF_SCIENCE.pdf

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H. & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86 (12-13), 1781-1788. doi: 10.1016/j.fuel.2006.12.013

Yang, K., Gao, Q., Tan, Y., Tian, W., Qian, W., Zhu, L., & Yang, C. (2016). Biomass-Derived Porous Carbon with Micropores and Small Mesopores for High-Performance Lithium-Sulfur Batteries. *Chemistry - A European Journal*, 22, 3239-3244. doi: 10.1002/chem.201504672

Zhou, H., Long, Y., Meng, A. H., Li, Q.H., & Zhang, Y.G. (2015). Classification of municipal solid waste components for thermal conversion in waste-to-energy research. *Fuel*, 145, 151-157. doi: 10.1016/j.fuel.2014.12.015

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Drielly Mazzarim Bernades – 70%

Thiago Padovani Xavier – 10%

Rodrigo Randow de Freitas – 10%

Taisa Shimosakai de Lira – 10%