

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA – REVISÃO

CHADIA CHAHUD MAESTRELLO

Engenheira de Energias Renováveis e Ambiente

Mestra em Biotecnologia (UNESP)

Doutoranda em Biotecnologia (UNESP)

Resumo

Os resíduos gerados pela construção civil causam grandes impactos ambientais. O descarte irregular, principalmente das grandes potências mundiais, onde o volume de resíduos atinge valores exorbitantes, contribuem consideravelmente para a poluição ambiental com a emissão de gases poluentes, contaminações de solos e água. Diretrizes e normas que regulam a disposição finais desses resíduos são de extrema importante para mitigar ou minimizar os danos, no entanto, pelo aumento incessante da indústria da construção civil, os descartes irregulares e o não reaproveitamento dos resíduos continuam sendo alvos de grandes preocupações. Muitos resíduos, como a madeira, possuem aplicação de valor econômico quando bem empregado, como no caso de produção de péletes e briquetes. Péletes e briquetes são subprodutos de alto poder calorífico que podem ser utilizados como substitutos da lenha, contribuindo assim para geração de calor e energia renovável. Desta maneira, esse trabalho teve por objetivo realizar uma abordagem sistêmica acerca do reaproveitamento dos resíduos de madeira a fim de identificar aplicações de reuso ou recuperação destes resíduos, identificando o beneficiamento na produção de subprodutos de alto valor agregado.

Palavras-chaves: madeira, resíduos da construção, reaproveitamento, péletes, briquetes.

Abstract

Waste generated by civil construction causes major environmental impacts. The irregular disposal, mainly from the great world powers, where the volume of waste reaches exorbitant values, contributes considerably to environmental pollution with the emission of polluting gases, soil and water contamination. Guidelines and standards that regulate the final disposal of this waste are extremely important to mitigate or minimize damage, however, due to the incessant increase in the construction industry, irregular disposal and non-reuse of waste continue to be targets of great concern. Many residues, such as wood, have an economic value when properly used, as in the case of pellet and briquette production. Pellets and briquettes are by-products of high calorific value that can be used as a substitute for firewood, thus contributing to the generation of heat and

renewable energy. In this way, this work aimed to carry out a systemic approach on the reuse of wood waste in order to identify applications for reuse or recovery of these wastes, identifying the processing in the production of by-products of high added value.

Key-works: wood, construction waste, reuse, pellets, briquettes.

Introdução

Sendo uma das atividades mais antigas do planeta, a construção civil está diretamente relacionada ao crescimento populacional, tornando-a um dos principais motivadores da economia, contribuindo de forma considerável para o produto interno bruto, apresentando significativo impacto nas economias locais e regionais, já que grandes projetos de infraestrutura levam à geração de empregos e negócios em determinadas regiões (ALGARVIO, 2009; KARPINSK et al., 2009; KLEPA et al, 2018).

Entretanto, com a crescente demanda populacional e, conseqüentemente, a demanda por construções, tem-se intensificado a preocupação com a quantidade de resíduos gerados a partir da prática da construção civil e seus graves danos ambientais. Estudos recentes indicam que a China produz cerca de 2 a 3 bilhões de toneladas por ano de resíduos de construção e demolição, resíduos estes que, em certas localidades, são depositados em aterros, excedendo suas capacidades e contribuindo de forma desenfreada para a poluição e emissões elevadas de gases de efeito estufa (MARQUES et al., 2020; WANG et al., 2018; KLEPA et al., 2018; JIN et al., 2017).

Contudo, não é apenas a China que tem números elevados na geração de resíduos. Dados recentes estimam que nos EUA é gerado cerca de 170 milhões de toneladas por ano de resíduos; União Europeia gera cerca de 850 milhões de toneladas; o Brasil gerou, em 2015, cerca de 45 milhões de toneladas. É provável que esses números sejam muito maiores, uma vez que as estimativas representam, em sua maioria, apenas resíduos dispostos em locais públicos (SILVA, BRITO e DHIR, 2017; SÁEZ e OSMANI, 2019; ABRELPE, 2016; MARQUES et al., 2020).

Não é só a geração e descarte irregular dos resíduos da construção civil que preocupam. Em escala mundial, este setor consome 40% da produção total de energia, 12-16% de toda água disponível, 32% de recursos não-renováveis e renováveis, 25% de toda a madeira, 40% de todas as matérias-primas, 30-40% de todos os resíduos sólidos e emite 35% de gás carbônico, o que se faz necessário aprofundamento em estudos sistemáticos para aproveitamento/reciclagem dos resíduos com fins de mitigar ou minimizar o quanto puder os impactos negativos (DARKO et al., 2017; SON et al., 2011; ROQUE e PIERRI, 2019).

Os resíduos da construção civil são divididos em quatro classes tipológicas, conforme a resolução CONAMA 307/02 (Conselho Nacional do Meio Ambiente):

- a) Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis;
- b) Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações;
- c) Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- d) Classe D: resíduos perigosos provenientes do processo de construção.

No que diz respeito aos resíduos da classe A, são eles: resíduos da construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc) produzidas nos canteiros de obras.

Os resíduos da classe B são compreendidos pelos plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso. Já os resíduos da classe C são aqueles para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

Por último, os resíduos da classe D são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

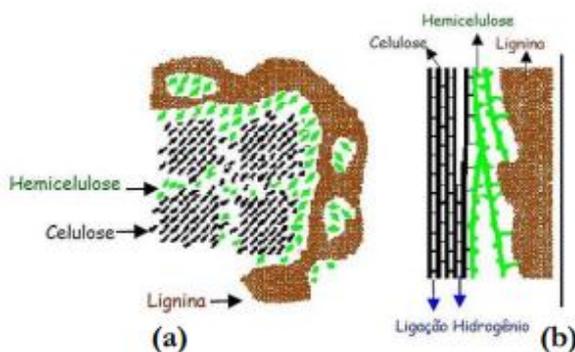
Em relação ao total de resíduos gerados na construção civil, a classe A corresponde a 91%, a classe B corresponde a 9%, e as classes C e D não são estatisticamente quantificadas. Ainda que corresponda apenas 9% do montante, a classe B possui um resíduo muito importante e de alto valor agregado para geração de energia, a madeira (CAVALCANTI e ALVES, 2018).

Madeira

Material heterogêneo e natural, a madeira possui diferentes tipos de células adaptadas a desempenharem funções específicas na árvore. Essas células são dispostas no sentido radial, tangencial e longitudinal, ligadas entre si pela lignina, constituindo dessa forma o tecido lenhoso (BODIG e JAYNE, 1993; FIGUEROA e MORAES, 2009).

A composição química da madeira varia de acordo com a sua procedência (localização geográfica), clima, tipo de solo entre outros fatores. Entretanto, de forma geral, por ser de origem vegetal, os principais constituintes da madeira são celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (Figura 1a), nas proporções de 40-45%, 20%, 15-35% e 10%, respectivamente (SANTOS, 2018; WINANDY e ROWELL, 2005).

Figura 1. Esquema da parede celular vegetal da madeira



Fonte: Santos (2018)

A celulose é um polissacarídeo composto por até 15.000 unidades de β -D-glicose unidas através de ligações glicosídicas do tipo β -D(1,4). Nos vegetais, os polímeros de glicose são unidos paralelamente por ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares (Figura 1b), e forças de Van der Waals na estrutura cristalina, denominada fibrila elementar altamente ordenada, consistindo em cerca de 40 cadeias de glicano, formando as fibrilas da celulose (ARANTES e SADDLER, 2010; JEFFRIES, 1990; BAYER; LAMED, 1992; BIDLACK; MALONE; BENSON, 1992; SILVA, 2010).

A hemicelulose, segundo tipo de polissacarídeo mais importante da parede vegetal, também chamada de poliose, é um heteropolímero altamente ramificado composto por resíduos de hexoses (D-glicose, D-galactose, D-manose, D-ramnose), pentoses (D-xilose e L-arabinose) e ácidos urônicos. A interação da hemicelulose com as fibras da celulose se dá através das ligações de hidrogênio a à lignina se dá por interações covalentes, proporcionando elasticidade (KOOTSTRA et al., 2009; FENGEL; WEGENER, 1989; AFONSO, 2012; PALMA, 1993; OGATA, 2013; SILVA, 2010).

A lignina é um polímero complexo constituído por compostos alifáticos e aromáticos. A lignina é amorfa, hidrofóbica e insolúvel em muitos solventes; é o componente que promove rigidez às plantas. As funções da lignina na planta é aumentar a rigidez e dureza da parede celular onde está localizada; unir as células as outras; reduzir a permeabilidade da parede celular à água e proteger a madeira contra microrganismos (BRITTEZ, 2006).

Teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e cinzas (que se diferenciam de espécies para espécies) são fatores que estão diretamente associados com rendimento energético na utilização da madeira como fonte de poder calorífico (QUIRINO et al., 2005; BARREIROS et al., 2021).

A utilização da madeira como combustível sólido teve início na humanidade com o domínio do fogo, tendo seu uso principalmente para aquecimento, proteção e cocção de alimentos.

Atualmente, a madeira é responsável por suprir a demanda energética de aproximadamente 2,4 milhões de pessoas ao redor do mundo (BRITO, 2007; SPECHT, 2012; FUKACE et al., 2022).

Apesar de ser um material sustentável e ainda muito utilizada para fins energéticos, resíduos de madeira ainda são negligenciados, o que contribui para graves poluições ambientais, como é o caso dos descartes irregulares de resíduos da madeira da construção civil.

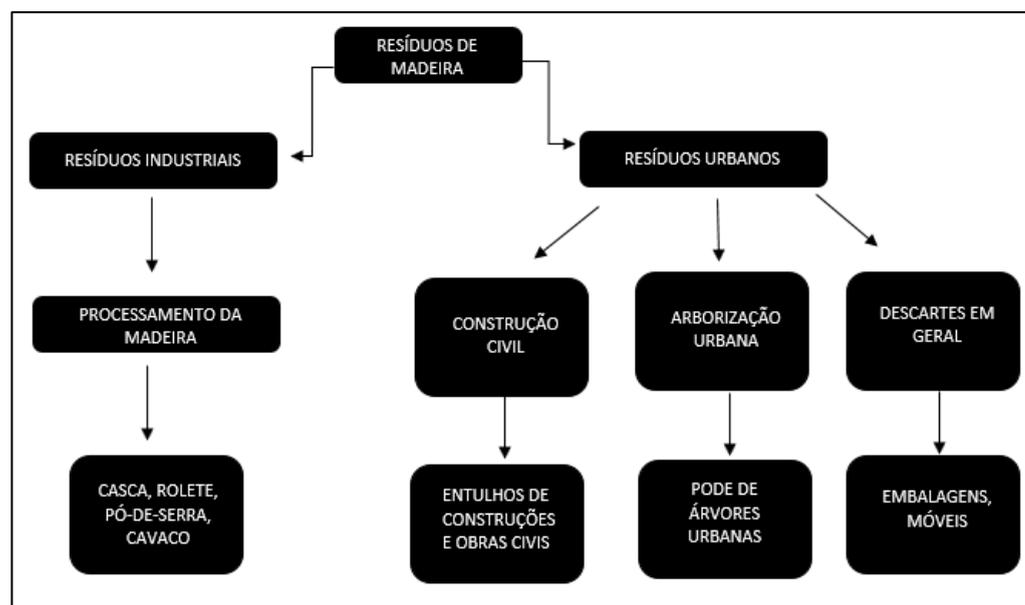
Resíduos de madeira

Por ser um material leve, fácil de processar e estar amplamente disponível, a madeira é um componente da construção importante (CAVALCANTI e ALVES, 2018).

Pela alta geração de resíduos da construção civil, existe uma resolução do CONAMA (nº307 de 5 de julho de 2002), que visa estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, sendo que a reciclagem dos resíduos gerados nas obras de construção e sua posterior comercialização trazem benefícios listados por diversas pesquisas internacionais e nacionais (CAVALCANTI e ALVES, 2018; ARIF et al., 2013)

No diagrama da Figura 2 pode-se observar a geração dos resíduos de madeira dentro da cadeia de suprimentos do setor madeireiro, incluindo a construção civil.

Figura 2. Diagrama de geração de resíduos de madeira.



Fonte: Adaptado de Cavalcanti e Alves (2018).

Os resíduos de madeira mais comumente encontrados nas obras da construção civil são provenientes de compensado, barrotes, tábuas, ripão, trava de portas e pedaços de rodapés. Os materiais baseados na reciclagem de resíduos de madeira de construção civil podem ser identificados como eco-eficientes se reincorporados aos processos industriais ou retornar aos

processos naturais no momento do descarte final (CAVALCANTI e ALVES, 2018).

Os resíduos obtidos da construção civil devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados às áreas de armazenamento temporários, que deve garantir que os resíduos continuem segregados e mantendo as características necessárias para reciclagem, segundo a Norma 448 do CONAMA (2012) (CAVALCANTI e ALVES, 2018).

Em estudos encontrados na literatura, pesquisadores relatam que os resíduos de madeira são os combustíveis selecionados para serem usados em fornos de biomassa, já que a incineração produz cinza proporcionalmente menos volátil e produz outros materiais residuais em comparação com outras biomassas e que 75% dos resíduos gerados pelas indústrias da construção civil são passíveis de valorização, reuso ou reciclagem (BAN, 2011; YEHEYIS, 2012; CAVALCANTI e ALVES, 2018).

Os resíduos de madeira podem ser aproveitados para a produção de péletes e briquetes (Figura 3), sendo que os péletes de madeira os granulados possuem dimensões cilíndricas de 6 a 8 milímetros (mm) de diâmetro por 10 a 40 mm de comprimento e os briquetes, possuem medidas superior a 50 mm. Para a produção desses subprodutos, equipamentos de compactação são necessárias, como briquetadeira e peletizadora, de modo a obter produtos com maior densidade (em kg/m^3) e densidade energética (em kcal/m^3) (DIAS et al., 2012; CAVALCANTI e ALVES, 2018).

Figura 3. Péletes (a) e Briquetes (b) de biomassa processada.



Fonte: Cavalcanti e Alves (2018).

Os péletes e briquetes são substitutos diretos da lenha em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais como olarias, cerâmicas, padarias, pizzarias, laticínios, fabricas de alimentos, indústrias químicas e outros (DIAS et al., 2012).

No Brasil cerca de 1,2 milhões de toneladas de briquetes são produzidos por ano, destes, 930 mil toneladas são de madeira. A taxa de crescimento da demanda de briquete é de 4,4% ao ano. O cenário dos péletes ascendeu, em 2010, 90% dos 18 milhões de toneladas de combustíveis sólidos produzidos a partir da biomassa, demonstrando a importância potencial no mercado de energia renovável (DIAS et al., 2012).

Conclusão

Diante do cenário global acerca da crescente demanda da indústria da construção civil, acompanhado da preocupação com os problemas ambientais gerados por seus resíduos, foi possível concluir que é de extrema importância o aproveitamento de resíduos, como a madeira, para as questões ambientais e também para o desenvolvimento econômico das nações, uma vez que a resíduos de madeira podem ser convertidos em subprodutos de alto valor agregado, com elevado poder calorífico, que integram o setor energético, podendo substituir ou complementar outras fontes de energias, como os derivados de petróleo, lenha nativa ou plantada, gás liquefeito de petróleo ou a eletricidade.

Referências

- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>>, 2011
- AFONSO, L. C. **Produção de celulases por cultivo em estado sólido e aplicação na hidrólise de bagaço de cana-de-açúcar**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012
- ALGARVIO, D. A. N. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição: Contribuição para controlo do processo**. Doctoral dissertation, Universidade NOVA de Lisboa, 2009.
- ARANTES, V.; SADDLER, J.N. Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis. **Biotechnology for Biofuels**, v. 3, n. 4, 2010.
- BARREIROS, R. M.; RIBEIRO, G. P.; DIAS, K. B.; GOUVÊA, C. F.; REIS, A. M. F.; SILVA, G. C. Potencialidade energética da madeira de três espécies de eucalipto. In: **Recursos Naturais: Energia de biomassa florestal**, 2021.
- BAYER, E. A.; LAMED, R. The cellulose paradox: pollutant par excellence and/or a reclaimable natural resource? **Biodegradation**, v. 3, n. 2-3, p. 171-188, 1992.
- BIDLACK, J.; MALONE, M.; BENSON, R. Molecular structure and component integration of secondary cell wall in plants. **Proceedings of the Oklahoma Academia of Science**, v. 72, p. 51-56, 1992.
- BRITEZ, C. A; NOGUEIRA, V. Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura das madeiras. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2006.
- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n.59, p.185-193, 2007.
- CAVALCANTI, W. M.; ALVES, E. J. Aplicação de resíduos da construção civil como aglomerado de compósitos de madeira péletes/briquete: um estudo bibliográfico e documental. In **1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, Gramado, 2018.
- CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 136, de 17 de julho de 2002.

DARKO, A.; CHAN, A. P.; OWUSU-MANU, D. G.; AMEYAW, E. E. Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts. **Journal of cleaner production**, 145, 386-394, 2017.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BAROBSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. **Embrapa Agroenergia**, 2012.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: **Walter de Gruyter**, 1989

FUKACE, D. K.; SILVA, D. A.; ALESI, L. S.; PADILHA, E. R. D.; BELINI, G. B.; YAMAJI, F. M. Análises do uso de combustível sólido para uso doméstico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022.

JEFFRIES, T. W. Biodegradation of lignin-carbohydrate complexes. **Biodegradation**, v. 1, p. 163-176, 1990.

JIN, R.; ZHOU, T.; WANATOWSKI, D.; PIROOZFAR, P. An empirical study of perceptions towards construction and demolition waste recycling and reuse in China. **Resources, Conservation & Recycling**, v.126, p. 86-98, 2017.

KARPINSK, L. A. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. **Edipucrs**, 2009.

KLEPA, R.B.; MEDEIROS, M.F.; FRANCO, M.A.C.; TAMBERG, E.T.; FARIAS, T.M.B.; FILHO, J.A.P.; BERSSANETI, F.T.; SANTANA, J.C.C. Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. **Journal of Cleaner Production**, v.209, p. 250-258, 2019.

KOOTSTRA, A. M. J.; BEEFTINK, H. H.; SCOTT, E. L.; SANDERS, J. P. M. Optimization of the dilute maleic acid pretreatment of wheat straw. **Biotechnology for Biofuels**, v. 2, n. 31, 2009.

MARQUES, H. F.; RIBEIRO, C. C.; OLIVEIRA, D. M.; BAMBERG, P.; ALMEIRA, M. L. B. Reaproveitamento de resíduos da construção civil: a prática de uma usina de reciclagem no estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 21912-21930, 2020.

OGATA, B. H. **Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial uso em biorrefinarias**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

OLIVEIRA, E. G.; MENDES, O. “Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA”, disponível em: <http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/continua/gerenciamento%20de%20res%20c3%84duos%20da%20constru%20c3%87%20c3%83o%20civil%20e%20demoli%20c3%87%20c3%83o%20-%20estudo%20de%20caso%20da%20resol_.pdf>, 1992.

PALMA, M.B. **Influência da agitação e da aeração na atividade de xilanases de *Penicillium janthinellum***. 1993. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L.S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, n. 100, p. 100-106, 2005.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, Society and development**, v 8, n. 2, 2019.

SÁEZ, P. V.; OSMANI, M. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. **Journal of Cleaner Production**, v.241, p. 1-11, 2019.

SANTOS, L. M. A. Madeiras. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. 1, 2018.

SILVA, N. L.C. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, R. V.; BRITO, J.de; DHIR, R.K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: a review. **Journal of Cleaner Production**, v.143, p. 598-614, 2017.

SON, H.; KIM, C.; CHONG, W. K.; CHOU, J. S. Implementing sustainable development in the construction industry: constructors' perspectives in the US and Korea. **Sustainable Development**, v. 9, n. 5, p. 337-347, 2011.

SPECHT, M. J. S. **Uso de lenha como combustível doméstico: padrões, impactos e perspectivas futuras para conservação da floresta atlântica ao norte do rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado. 75 f. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

WANG, J.; WU, H.; DUAN, H.; ZILLANTE, G.; ZUO, J.; YUAN, H. Combining life cycle assessment and building information modelling to account for carbon emission of building demolition waste: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3154-3166, 2018.