

CAPÍTULO 8

POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA REUTILIZAÇÃO DAS CINZAS DA CASCA DE CAFÉ NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Rafael Eller de Souza

Sebastiana Luiza Bragança Lana (*in memoriam*)

8.1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Internacional do Café (2018), a estimativa da produção de café no mundo foi de 158,93 milhões de sacas na safra 2017/2018. O Brasil beneficiou 51,5 milhões de sacas, com uma estimativa para produzir 56,48 milhões de sacas no ano seguinte, 25,6% acima da safra de 2017/2018, já sendo responsável por quase um terço do café produzido no mundo. A produção do café gera como resíduo as cinzas das cascas, o que demanda pesquisas para amortizar o impacto ambiental.

Em uma cultura com volumes de produção em franco crescimento, a adoção do termo indústria do café é viável: nesse processo industrial, há de ser pensado o processo de produção em si, bem como maneiras de minimizar resíduos e diminuir o impacto ambiental. Segundo Kouloukoui *et al.* (2020), um dos maiores desafios atuais da humanidade e do planeta é o combate da mudança climática global.

As atividades agroindustriais estão entre os responsáveis pela produção de grandes quantidades de resíduos sólidos. Dadas as peculiaridades do setor, a disposição clandestina de resíduos em áreas de aterros ou lagoas é bastante comum, o que causa um sério impacto ambiental, e a opção mais frequente de gerenciamento de resíduos é o uso desses rejeitos em outras atividades agrícolas. Entretanto, esforços para encontrar alternativas de maior valor agregado à reutilização permanecem como meta (ACCHAR, 2013).

A agenda de desenvolvimento sustentável de 2030 da ONU e o Acordo de Paris incluem metas em seus objetivos de desenvolvimento sustentável que se concentram em infraestrutura, desenvolvimento industrial e inovação; destacam a necessidade de “atualizar as indústrias de infraestrutura e modernizá-las para se tornarem sustentáveis, com maior eficiência no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente saudáveis” (FRITZSCHE *et al.*, 2018, p. 1).

Na produção de café, do plantio ao produto final, são geradas grandes quantidades de rejeitos, principalmente durante a primeira etapa do beneficiamento, quando os grãos são transformados em café seco e as cascas são separadas. Cascas não tratadas representam cerca de 50% dos grãos da fruta (ACCHAR, 2013). Quando o grão é separado da casca, que posteriormente é colocada na secadora do próprio grão, é gerado alto poder calorífico, que beneficia o produto em menos tempo quando comparado ao processo tradicional.

Considerada um combustível de carbono natural, a casca de café contém uma quantidade mínima de componentes problemáticos, como enxofre e nitrogênio, sendo uma alternativa ecológica. Esse recurso pode ser usado diretamente, com ou sem tratamento prévio, ou em conjunto com carvão mineral para minimizar os impactos desse combustível fóssil (SANTOS, *et al.*, 2019). Na Figura 8.1, é apresentada a fornalha da secadora sendo alimentada com a biomassa.

Figura 8.1 Fornalha da secadora de café com a biomassa sendo incinerada.



Fonte: acervo pessoal (2019).

O resíduo final gerado são as cinzas, aproximadamente 14%, ricas em metais alcalinos e alcalino-terrosos, até agora sem nenhum valor comercial, que são simplesmente descartadas nas proximidades das instalações de produção (ACCHAR, 2013). Na Figura 8.2, é mostrado um desses campos de despejo.

Figura 8.2 Campos de despejo da cinza incinerada.



Fonte: acervo pessoal (2019).

Estudos sobre o beneficiamento de resíduos do café levaram inúmeros autores a investigar sua reutilização, a fim de promover estratégias ambientais amigáveis e financeiramente lucrativas (HERNÁNDEZ *et al.*, 2007; HABERT; ROUSSEL, 2009; NARITA; INOUE, 2014; ACCHAR *et al.*, 2016; LIN, *et al.*, 2016; ALHOGBI, 2017; ALMALKAWI *et al.*, 2019; LUNA-LAMA *et al.*, 2019; NGUYEN *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019; XIAO-YONG, 2019). A mitigação dos impactos ambientais é objeto de inserção em empresas com a cultura focada em sustentabilidade, que fazem o rastreio desde o cultivo do grão até a reciclagem das cápsulas utilizadas nas máquinas, como é o caso da Nespresso®. Entretanto, mesmo nessas empresas ainda não existe a política de reutilização das cinzas, ou mesmo da biomassa residual do grão (GÓMEZ PAZ, 2009).

O objetivo deste estudo é analisar o potencial de mitigação do impacto ambiental da cinza da casca do café, buscando alternativas para esse resíduo, ainda sem destinação da indústria cafeeira, e mensurando impactos e respectivas viabilidades na indústria cimenteira.

8.2 DESENVOLVIMENTO

Para melhor entendimento do tema, foram revisadas mais de quarenta publicações para gerar uma base teórica para produzir uma tese de forma socialmente admissível e ambientalmente amigável, comportando o resíduo de uma indústria que, segundo a Organização Internacional do Café (2018), gera mais de 158 milhões de sacas.

Em seguida, foram entrevistados diversos cafeicultores da região de Manhuaçu para a compreensão do processo produtivo. Este foi acompanhado, e as cinzas da casca do café foram cedidas para análises e experimentos pertinentes na elaboração de um novo produto. A produção de café é um mercado tradicional da região de Manhuaçu, Minas Gerais, sendo responsável por parte da produção de riquezas e de renda da região – Minas Gerais é um dos estados com a maior exportação de café do Brasil. No entanto, há a necessidade de reaproveitamento do refugo dessa indústria, visando a correta destinação para minimizar o impacto ambiental gerado.

8.2.1 ANÁLISE DAS NECESSIDADES

A subsistência de 100 milhões de pessoas depende do café; no entanto, este é vulnerável a mudanças climáticas, visto que o tempo de vida da plantação do café é de cerca de trinta anos, embora possa durar mais de cinquenta anos em condições favoráveis. Variedades comerciais em uso têm uma base genética restrita e, portanto, limitadas a mudanças climáticas. No entanto, tais mudanças têm forçado a adaptação dessas espécies a novos níveis de tolerância ao estresse durante décadas (BUNN *et al.*, 2014).

O desmatamento contínuo e o declínio da biodiversidade causados por distúrbios humanos estão afetando fortemente o funcionamento das florestas tropicais, o que pode prejudicar sua capacidade de sustentar os serviços ecossistêmicos no futuro. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais, nos quais as culturas ou as pastagens são cultivadas em associação com árvores, foram propostos como uma forma de reconciliar a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos cruciais, como o abastecimento de alimentos e o armazenamento de carbono (C). Nesses sistemas, a sombra das árvores é comumente ajustada com precisão por meio do plantio, desbaste e poda de árvores, a fim de obter condições favoráveis de luz e umidade para a produção do café (GUILLEMOT *et al.*, 2018).

A erosão dos solos na agricultura é um grande problema mundial que tem degradado tanto os solos quanto os recursos hídricos. A erosão causada pelo cultivo do café já é tratada como um problema ambiental em escala continental na África, na América Central e na América do Sul (RAMOS-SCHARRON; FIGUEROA-SÁNCHEZ, 2017).

Segundo Fritzsche *et al.* (2018), a identidade e a diversidade das espécies de árvores afetam o ciclo do carbono e da água da floresta, bem como a riqueza e a composição da comunidade de outros componentes do ecossistema, como pássaros, insetos e organismos do solo. Na agroindústria cafeeira, os estudos são intensificados na qualidade do solo da plantação ou no descarte final do produto após ser utilizado, sendo pouco explorado o resíduo do beneficiamento do grão, que é o escopo deste estudo.

A cinza da casca do café gerada como resíduo no beneficiamento do grão é disposta em aterros. A deposição em aterro é um dos métodos atualmente mais difundidos e usados no ciclo de vida final (descarte) de rejeitos (VAVERKOVÁ *et al.*, 2019). Os aterros ilegais de resíduos foram identificados como um problema grave, sendo apontado por muitos países em uma escala significativa, que pode ter um grande impacto na qualidade e na saúde do solo (JORDÁ-BORRELL *et al.*, 2014; D'AMATO *et al.*, 2018; WRIGHT *et al.*, 2018).

Com base na bibliografia, o método para a mitigação dos impactos causados pela cinzas contemplará o conceito de *Urban-Mining*, que consiste na recuperação de materiais e de energia provenientes de produtos, edifícios e resíduos gerados a partir de catabolismo (HU; POUSTIE, 2018; ZHANG; ZHONG *et al.*, 2019), avaliando as cinzas para sua reutilização de forma economicamente viável e ambientalmente amigável.

Os materiais descartados em áreas urbanas ou fruto de seus beneficiamentos podem ser percebidos como uma fonte vital de recursos, com concentrações de elementos que são comparáveis ou mesmo superando os materiais naturais (COSSU; WILLIAMS, 2015). “A mineração urbana fornece uma gestão sistemática dos recursos antropogênicos como resíduos (produtos e edifícios) e proteção ambiental com conservação de recursos e benefícios econômicos a longo prazo” (COSSU; WILLIAMS, 2015, p. 1).

Às vezes, o termo “urbano” também tem uma conotação mais ampla de resíduos gerados a partir de um estilo de vida urbano, como o lixo eletrônico. Portanto, a mineração urbana é semelhante à reciclagem de resíduos, mas está mais ligada aos bens de consumo, que geralmente são responsáveis pela maior parte dos resíduos do mundo e podem ser reciclados de forma eficiente. Uma vez que a entrada de recursos humanos para a extração de materiais secundários antropogênicos é indispensável e, portanto, as preocupações com custos e benefícios são essenciais, a mineração urbana focou originalmente em resíduos eletrônicos, que “contêm concentrações em valores relativamente alto de metais caros e elementos de terras raras”; no entanto, hoje o conceito se ampliou a resíduos de beneficiamentos de produtos de consumo (HU; POUSTIE, 2018, p. 689).

A maioria dos principais métodos de redução da degradação ambiental pode ser resumida em uma única definição: economia circular (EC). Atualmente, EC é um dos termos mais discutidos entre os cientistas, e seu principal elemento determinante é o “uso restaurador” de recursos, já que as matérias-primas não devem mais se tornar resíduos inúteis (GEISSDOERFER *et al.*, 2017). A EC tem sido representada por uma “economia de ciclo fechado” que não gera resíduos excessivos, além de tornar qualquer resíduo um recurso (WYSOKIŃSKA, 2016).

Seguindo esses dados e objetivos para melhorar a aplicação da EC, a presente revisão bibliográfica tem como objetivo analisar o estado da arte na aplicação potencial de resíduos da indústria agrícola, tanto na construção civil como na engenharia ambiental.

8.2.2 ANÁLISE DOS DADOS

Alguns autores já exploraram a reutilização dos rejeitos da indústria do café. Na indústria química, subprodutos do fruto foram usados como alternativas em compósitos poliméricos, ora como reforço do polietileno de baixa densidade com a casca (URREGO YEPES *et al.*, 2017), ora como compósitos de biopolietileno com tratamento pelos subprodutos da casca do café (DOMINICI; GARCIA *et al.*, 2019). Foram também investigados os rejeitos como potencializadores ou mesmo o uso de grãos na remoção de metais pesados (CARVAJAL-FLÓREZ; CARDONA-GALLO, 2019),

chumbo em soluções aquosas (ALHOGBI, 2017) e ácido acético (HERNÁNDEZ *et al.*, 2007). A borra de café foi investigada na produção de anodos para baterias de lítio (LUNA-LAMA; RODRÍGUEZ-PADRÓN *et al.*, 2019). No entanto, em nenhuma dessas pesquisas foram investigadas as cinzas, sendo estas um dos principais subprodutos no beneficiamento do café.

Ademais, a casca do café é reconhecidamente uma biomassa com qualidades de queima superior à lenha e à maravalha. A 0% de umidade, em comparação à maravalha, a casca apresentou maior densidade a granel (144,41 a 301 kg/m³), menor teor de carbono fixo (10,31% a 20%), poder calorífico superior (3.933 kcal/kg), maior rendimento quando comparada ao carvão vegetal (40,64%). A maior densidade a granel proporcionou uma maior produção de energia na forma de calor por unidade volumétrica (507.528 kcal/m³ ou 2.179 MJ/m³) (SAENGER *et al.*, 2001; TEIXEIRA DO VALE, 2007; ACCHAR *et al.*, 2016; PICCHIO, 2020; RICCIARDI *et al.*, 2020).

Segundo Saenger *et al.* (2001), uma das razões para o baixo nível de uso da casca de café como combustível para a combustão direta é a falta de informações suficientes sobre as características de combustão e emissão desses resíduos. Essas informações seriam úteis para o projeto e a operação eficientes de sistemas de combustão para cascas de café. Como outros resíduos agrícolas, algumas propriedades físicas e químicas da casca do café, como a densidade aparente, o ponto de fusão das cinzas e o conteúdo da matéria volátil, decidem com que eficácia o processo de combustão pode ser realizado.

No Quênia, África Oriental, 70% das cascas de café produzidas são utilizadas dessa maneira (SAENGER *et al.*, 2001), com um potencial de crescimento, visto que no Brasil as secadoras de café já são adaptadas a essa biomassa. A geração de cinzas e a redução da quantidade de novos produtos químicos levam a uma redução das emissões de gases de efeito estufa (VAVERKOVÁ *et al.*, 2019).

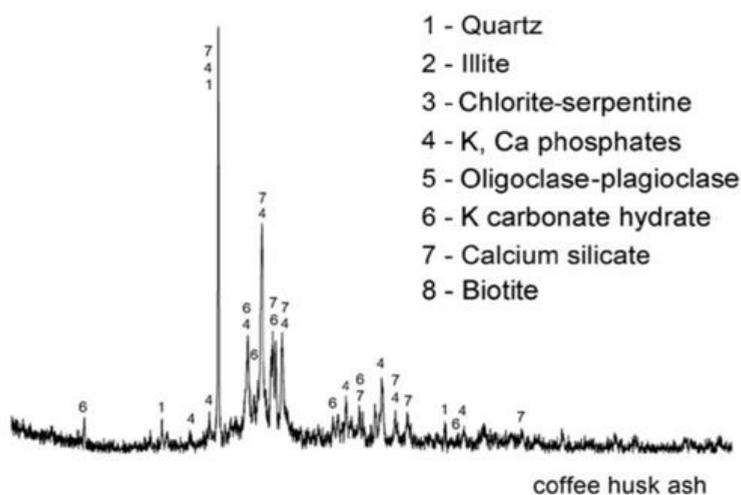
A densidade aparente das cascas de café é baixa, aumentando os custos de transporte e armazenamento. Além disso, os briquetes de café são frágeis e não são adequados para o transporte a longa distância. As cascas de café são, portanto, mais adequadas para a queima na região de produção. Por causa dessa característica, as cascas de café também são um bom candidato para coqueima. Devido ao baixo teor de enxofre, não seriam esperados problemas de emissão de SO₂ durante a combustão da casca (SAENGER *et al.*, 2001). A produção da biomassa geralmente ocorre na própria fazenda e perto dos fornos, não havendo a necessidade de transporte de nenhum outro combustível a ser utilizado nas secadoras de café.

É difícil conseguir uma avaliação precisa, principalmente devido à grande diferença de desempenho entre materiais comuns e alternativos: uma análise específica deve considerar a energia incorporada direta e a economia indireta de energia por meio de uma abordagem de avaliação do ciclo de vida, com materiais químicos comuns mostrando os melhores desempenhos. Uma estimativa do tamanho do mercado para produtos típicos adotados e uma comparação com base em seus desempenhos (SHRESTHA *et al.*, 2014).

As cinzas da casca de café são um produto pouco explorado. A queima da casca gera cinzas (aproximadamente 14%) sem nenhum valor comercial, que são simplesmente descartadas nas proximidades das instalações de produção (SAENGER *et al.*, 2001).

Foi estudado o uso das cinzas da casca do café em substituição ao feldspato tradicional na formulação de cerâmicas à base de argila e, depois, com a adição de pó de granito na produção de um ternário para a evolução da sinterização (ACCHAR *et al.*, 2016). A caracterização de suas amostras realizada por fluorescência de raio-X (FRX) foi realizada em modo semiquantitativo (Shimadzu EDX-700) em vácuo: as cinzas da casca do café têm como principais elementos o K e Ca, com menores teores de Si, Fe, Mg e P. As cinzas apresentam perdas de ignição (LOI) de 20,21%. A Figura 8.3 demonstra o gráfico.

Figura 8.3 Gráfico de caracterização das cinzas da casca de café por FRX.



Fonte: Acchar, Avelino *et al.* (2016).

A indústria cimenteira já incorpora cinzas na produção do clínquer (matéria-base do cimento). Ricciardi *et al.* (2020) discorrem sobre a valorização dos resíduos da agroindústria no setor da construção civil na busca do estado da arte para o reaproveitamento dos resíduos, em especial o do café. Almalkawi *et al.* (2019) buscam o desenvolvimento de uma nova classe sustentável de aglutinante hidráulico que se baseia na natureza robusta da química dos aglutinantes de álcali aluminossilicatos para fazer uso do valor agregado e do grande volume de resíduos industriais de cinzas de casca de arroz, de cinzas sólidas de resíduos municipais e de cinzas volantes de carvão como matéria-prima primária. Nguyen *et al.* (2019) concluem que a queima de resíduos agroindustriais, como a casca de arroz, o bagaço da cana-de-açúcar e outros sob a temperatura controlada, produzem cinzas que contêm principalmente elementos pozolânicos, como sílica e alumínio. Sendo assim, são alternativas de ligantes de menor emissão, como materiais ativados por álcalis e geopolímeros, funcionando como material cimentício em aditivos no concreto e para a estabilização de solos.

O setor de construção civil consome cerca de 40% dos recursos globais (RICCIARDI *et al.*, 2020). Segundo Almalkawi *et al.* (2019), o uso de grande volume de resíduos industriais na produção de materiais de construção civil pode desviar grandes quantidades de resíduos dos aterros para uso com valor agregado, de forma sustentável, gerando economia nos sistemas de infraestrutura. Essa prática também pode mitigar a liberação de lixiviados tóxicos para o meio ambiente, estabilizando os constituintes perigosos de alguns subprodutos industriais e justificando a importância do desenvolvimento desta pesquisa.

As cinzas apresentam muitos benefícios no desempenho do concreto, como aumentar sua trabalhabilidade e sua resistência a longo prazo, reduzir a emissão de CO₂ e aumentar a resistência da reação de agregados alcalinos. A cinza da combustão de carvão já é usada como material substituto para produzir concreto com baixo teor de CO₂ (XIAO-YONG, 2019).

8.3 RESULTADOS

As cinzas da casca do café têm como principais elementos o K e o Ca, com menores teores de Si, Fe, Mg e P, materiais estes naturalmente pozolânicos (ACCHAR *et al.*, 2016). Existe uma extensa bibliografia sobre o uso de vários tipos de cinzas e diferentes combinações de diversos materiais na composição do cimento a fim de reduzir a quantidade de dióxido de carbono na construção civil.

Estudos como o de Habert e Roussel (2009) demonstram a tentativa de diferentes composições e estratégias para a obtenção da maior efetividade na redução do dióxido de carbono. Segundo Xiao-Yong (2019), o caminho para a diminuição do dióxido de carbono no concreto passa por blendas de concretos com cinzas. Long *et al.* (2015) demonstram quão efetivamente um concreto pode diminuir seu impacto ambiental sem perder as características autoadensáveis, e como é importante a qualidade da mistura entre clínquer e materiais reutilizáveis para não perder as características desejáveis do compósito. Almalkawi *et al.* (2019) relatam a viabilidade técnica de incorporação de resíduos industriais empregados como material cimentício suplementar no projeto de mistura de concreto. Uma mistura ternária de ligante de Portland, cinzas residuais industriais e pó de calcário foi formulada para melhorar as propriedades do concreto autocompactado e o uso de uma mistura dessas cinzas, além de calcário e fibras de madeira, levou a melhorar as propriedades de blocos de concreto leve.

Ao projetar concreto misturado à cinza em um ambiente atmosférico, a durabilidade da carbonatação deve ser considerada (XIAO-YONG, 2019). Moléculas de O tendem a se ligar com o C, resultando em perdas significativas de performance e diminuição do ciclo de vida.

Como discorrido, o concreto se torna um compósito versátil que, ao decorrer da sua história, já obteve diversas formulações, nas quais a busca pela eficiência e menor emissão de CO₂ tem se tornado alvo de estudos globais.

8.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados neste estudo, a indústria cimenteira pode estar apta para pesquisar a utilização da casca do café como rejeito da produção deste, tornando-o economicamente viável.

As cinzas da casca do café contêm K e Ca, com menores teores de Si, Fe, Mg e P, componentes com poder ligante já de grande conhecimento na indústria cimenteira.

Em 2018, o Brasil produziu 51,5 milhões de sacas de café, que geram 50% de cascas do grão do café no processo de beneficiamento, correspondendo a 25,75 milhões de sacas e produzindo 3 milhões de sacas de cinzas anuais (aproximadamente 14% sobre 25,75 milhões de sacas). A indústria cimenteira, portanto, apresenta potencial para mitigar esses impactos ambientais, visto que o setor de construção civil consome cerca de 40% dos recursos globais.

O conceito já amplamente conhecido da mineração urbana visa compatibilizar a reutilização de materiais que seriam descartados, diminuindo o impacto ambiental. A geração de um novo produto para aplicações específicas não é descartada devido ao apelo ecológico, e as características desse novo produto seriam atestadas no desenvolvimento do compósito.

8.5 REFERÊNCIAS

- ACCHAR, W.; AVELINO, K. A.; SEGADÃES, A. M. Granite waste and coffee husk ash synergistic effect on clay-based ceramics. *Advances in Applied Ceramics: Structural, Functional & Bioceramics*, v. 115, n. 4, pp. 236-242, 2016.
- ACCHAR, W.; DULTRA, E. J. V.; SEGADÃES, A. M. Untreated coffee husk ashes used as flux in ceramic tiles. *Applied Clay Science*, v. 75-76, n. 1, pp. 141-147, 2013.
- ALHOGBI, B. G. Potential of coffee husk biomass waste for the adsorption of Pb(II) ion from aqueous solutions. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 6, pp. 21-25, 2017.
- ALMALKAWI, A. T., A. BALCHANDRA *et al.* Potential of Using Industrial Wastes for Production of Geopolymer Binder as Green Construction Materials. *Construction and Building Materials*, v. 220, pp. 516-524, 2019.
- BUNN, C.; LADERACH P. *et al.* A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, v. 129, 2014.
- CARVAJAL-FLÓREZ, E.; CARDONA-GALLO, S.-A. Technologies applicable to the removal of heavy metals from landfill leachate. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, pp. 15725-15753, 2019.
- COSSU, R.; WILLIAMS, I. Urban mining: concepts, terminology, challenges. *Waste management*, New York, v. 45, pp. 1-3, 2015.

- D'AMATO, A.; MAZZANTI, M. *et al.* Illegal waste disposal: enforcement actions and decentralized environmental policy. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 64, pp. 56-65, 2018.
- DOMINICI, F.; GARCIA, D. *et al.* Bio-Polyethylene-Based Composites Reinforced with Alkali and Palmitoyl Chloride-Treated Coffee Silverskin. *Molecules*, v. 24, p. 3113, 2019.
- FRITZSCHE, K.; NIEHOFF S. *et al.* Industry 4.0 and Climate Change: Exploring the Science-Policy Gap. *Sustainability*, v. 10, n. 12, p. 4511, 2018.
- GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P. *et al.* The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v. 143, pp. 757-768, 2017.
- GÓMEZ PAZ, D. Z. A. M.; NAVIA, E. J. Evaluation of the program nespresso aaa and their impact in the sostenibilidad of the cafcultura. *Revista de Ciências Agrícolas*, v. 26, n. 1, pp. 116-135, 2009.
- GUILLEMOT, J.; LE MAIRE G. *et al.* Native coffee agroforestry in the Western Ghats of India maintains higher carbon storage and tree diversity compared to exotic agroforestry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 265, pp. 461-469, 2018.
- HABERT, G.; ROUSSEL, N. Study of two concrete mix-design strategies to reach carbon mitigation objectives. *Cement and Concrete Composites*, v. 31, n. 6, pp. 397-402, 2009.
- HERNÁNDEZ, R.; CARRASCO, P. *et al.* Evaluación de la capacidad de adsorción de desechos agroindustriales para la remoción de ácido acético. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, v. 22, pp. 31-46, 2007.
- HU, Y.; POUSTIE, M. Urban mining demonstration bases in China: a new approach to the reclamation of resources. *Waste Management*, v. 79, pp. 689-699, 2018.
- JORDÁ-BORRELL, R.; RUIZ-RODRÍGUEZ, F. *et al.* Factor analysis and geographic information system for determining probability areas of presence of illegal landfills. *Ecological Indicators*, v. 37, pp. 151-160, 2014.
- KOULOUKOUI, D.; MARINHO, M. M. D. O.; GOMES, S. M. D. S.; DE JONG, P.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. The impact of the board of directors on business climate change management: case of Brazilian companies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 25, n. 1, pp. 127-147, 2020.
- LIN, D.-F.; LUO, H.-L. *et al.* Strengthening tiles manufactured with sewage sludge ash replacement by adding micro carbon powder. *Materials and Structures*, v. 49, n. 9, pp. 3559-3567, 2016.
- LONG, G.; GAO, Y. *et al.* Designing more sustainable and greener self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, v. 84, pp. 301-306, 2015.
- LUNA-LAMA, F.; RODRÍGUEZ-PADRÓN, D. *et al.* Non-porous carbonaceous materials derived from coffee waste grounds as highly sustainable anodes for lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, v. 207, pp. 411-417, 2019.

- NARITA, Y.; INOUE, K. Review on utilization and composition of coffee silverskin. *Food Research International*, v. 61, pp. 16-22, 2014.
- NGUYEN, H.; JAMALI MOGHADAM, M. *et al.* Agricultural wastes preparation, management, and applications in civil engineering: a review. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 21, n. 5, pp. 1039-1051, 2019.
- PICCHIO, R. L., F.; VENANZI, R.; STEFANONI, W.; SUARDI, A.; TOCCI, D.; PARI, L. Pellet Production from Woody and Non-Woody Feedstocks: a Review on Biomass Quality Evaluation. *Energies*, v. 13, n. 2937, 2020.
- RAMOS-SCHARRON, C.; FIGUEROA-SÁNCHEZ, Y. Plot-, farm-, and watershed-scale effects of coffee cultivation in runoff and sediment production in western Puerto Rico. *Journal of Environmental Management*, v. 202, pp. 126-136, 2017.
- RICCIARDI, P.; CILLARI, G.; CARNEVALE MIINO, M.; COLLIVIGNARELLI, M. C. Valorization of agro-industry residues in the building and environmental sector: a review. *Waste Management & Research*, v. 38, n. 5, pp. 487-513, 2020.
- SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; WERTHER, J.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of coffee husks. *Renewable Energy*, v. 23, n. 1, pp. 103-121, 2001.
- SANTOS, C.; OLIVEIRA, L.; ROCHA, E.; FRANCA, A. Thermal conversion of defective coffee beans for energy purposes: characterization and kinetic modeling. *Renewable Energy*, v. 147, n.1, pp. 1275-1291, 2019.
- SHRESTHA, S. S. E. M. S. O. G.; BISWAS, K.; DESJARLAIS, A. O. A protocol for life-time energy and environmental impact assessment of building insulation materials. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 46, n. 1, pp. 25-31, 2014.
- TEIXEIRA DO VALE, A.; GENTIL, L. V.; GONÇALEZ, J. C.; FLORIAN DA COSTA, A. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), Duke. *CERNE*, v. 13, n. 4, pp. 416-420, 2007.
- URREGO YEPES, W.; POSADA, J. C.; JARAMILLO, L. Y.; SIERRA, J. D. Study of mechanical and physical properties of LLDPE-G-MA injection grade reinforced with coffee husk post-industrial waste. *Journal of Composite Materials*, v. 51, n. 3, pp. 419-429, 2017.
- VAVERKOVÁ, M. D.; MAXIANOVÁ, A. *et al.* Environmental consequences and the role of illegal waste dumps and their impact on land degradation. *Land Use Policy*, v. 89, n. 104234, 2019.
- WRIGHT, B.; SMITH, L. *et al.* Predictors of illegal dumping at charitable collection points. *Waste Management*, v. 75, pp. 30-36, 2018.
- WYSOKIŃSKA, Z. The “New” Environmental Policy of the European Union: a Path to Development of a Circular Economy and Mitigation of the Negative Effects of Climate Change. *Comparative Economic Research. Central and Eastern Europe*, v. 19, n. 2, pp. 57-73, 2016.

XIAO-YONG, W. Impact of Climate Change on Proportional Design of Fly Ash-Blended Low-CO₂ Concrete. *ACI Materials Journal*, v. 116, n. 3, 2019.

ZHANG, L.; ZHONG, Y. *et al.* A bibliometric and visual study on urban mining. *Journal of Cleaner Production*, v. 239, n. 118067, 2019.

