

Composição química e lixiviação de metais de insumos para ecolínger

Chemical composition and metal leaching from inputs to ecolinker

Guilherme Domingos Garcia, Graduando, Universidade do Sul de Santa Catarina.

guigarcia0000@hotmail.com

Affonso Celso Gonçalves Jr., Dr, UNIOESTE Centro de Ciências Médicas e Farmacêuticas.

affonso133@hotmail.com

Rachel Faverzani Magnago, Dr., Universidade do Sul de Santa Catarina.

rachel.magnago@animaeducacao.com.br; rachelfaverzanimagnago@gmail.com

Resumo

O cimento se destaca como o segundo material mais consumido mundialmente, apresentando impactos ambientais negativos em decorrência de sua expressiva produção, sendo importante modificar a cadeia produtiva, por exemplo pela introdução de insumos secundários. Este trabalho teve por objetivo determinar o conteúdo químico (Ca, Si, Al, Fe, Mg, Na, K, S, P e Ti) e mobilização de metais (Cu, Fe, Cd, Pb, Cr e Zn) de resíduos para possível produção de clínquer a partir da combinação de casca de ovo, lodo da anodização de alumínio e lodo de vidro. As cascas de ovos foram secas em estufas, trituradas e calcinadas na mufla à 900 °C por 4 horas, já os resíduos de lodo de alumínio e lodo de vidro foram secos em estufas, triturados e peneirados até 75 µm. Os resíduos foram caracterizados por fluorescência de raios-X e espectrometria de absorção atômica e os metais obtidos na água de lixiviação foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica modalidade chama. A caracterização química da casca de ovo calcinada, lodo de vidro e lodo de alumínio apresentou principalmente óxidos de cálcio (70,75%), silício (64,75%) e alumínio (66,16%), respectivamente. Os metais lixiviados apresentaram baixas concentrações, não atingindo níveis fitotóxicos. A combinação dos insumos secundários apresentou propriedades de ligação na formação do clínquer e pasta cimentícia.

Palavras-chave: Casca de ovo de galinha; Lodo de alumínio; Lodo de vidro

Abstract

O cimento se como o segundo material mais comercializado, apresentando os impactos ambientais em destaque de sua expressiva produção, sendo importante modificar a cadeia produtiva, por exemplo pela introdução de insumos secundários. Este trabalho teve por objetivo determinar o conteúdo químico (Ca, Si, Al, Fe, Mg, Na, K, P, e Ti, Feb) e de movimentação de metais (Cu, Cd,

P, Cr e Zn) de resíduos para produção de alumínio e fogo de vidro. As cascas de ovos foram secas em estufas, trituradas e estufadas na mufla à 900 °C por 4 horas, já que os resíduos de lodo de alumínio e lodo de vidro foram secos em estufas, triturados e peneirados até 75 µm. Os resíduos foram caracterizados por fluorescência de raios-X e espectro de absorção atômica e os metais obtidos na água de lixiviação foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica modalidade chama. A caracterização química da casca de ovo calcinada, lodo de vidro e lodo de alumínio apresentou principalmente óxidos de cálcio (70,75%), silício (64,75%) e alumínio (66,16%), respectivamente. Os metais lixiviados altamente perigosos, não atingindo níveis fitotóxicos. A dos insumos secundários apresentou propriedades de ligação na formação do clínquer e pasta cimentícia.

Keywords: *Chicken eggshell; Aluminum slime; glass slime*

1. Introdução

O cimento se destaca como o segundo material mais consumido mundialmente, sendo o tipo Portland o mais conhecido. A produção mundial de cimento em 2019 foi estimada em 4,29 bilhões de toneladas, apresentando um crescimento de 2,8% em relação ao ano de 2018. A produção aumentou mais de trinta vezes desde 1950 e quase quatro vezes desde 1990. (CEM WEEK, 2021; RODGERS, 2018). O cimento é um produto da descarbonização de rochas calcárias. Sua principal matéria-prima, o carbonato de cálcio (CaCO_3), que, por aquecimento a altas temperaturas, dá origem ao clínquer e à liberação de CO_2 (HUANG, 2019; POSSAN, 2019). O processo de obtenção do cimento inicia-se com a extração da matéria-prima primária (CaCO_3) e adição de corretivos como minério de ferro (Fe_2O_3), alumínio (Al_2O_3), sílica (SiO_2), entre outros (GAGG, 2014).

Os maiores produtores de cimento em 2020 foram China, Índia, Vietnã e os Estados Unidos com uma produção de 2726 milhões de toneladas métricas, a China usou mais cimento entre 2011 e 2013 do que os EUA em todo o século XX. No entanto esses países apresentam impactos negativos em decorrência também dessa expressiva produção, por exemplo, consumo de energia e água, emissão de CO_2 e extração de minérios utilizados como insumos na cadeia produtiva do cimento e derivados. Assim, a utilização de resíduos de outros processos produtivos, como casca de ovo, lodo de vidro, cerâmica como fonte de matéria-prima tem sido importante para evitar seu descarte em aterros, possibilitando economia circular e reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente (KAZANTSEVA et al., 2021; CHANG et al., 2020; SIMÃO et al., 2017; RODGERS, 2018).

A utilização de resíduos industriais para a produção de novos materiais ou produtos está alinhado ao conceito atual de desenvolvimento sustentável, além disso, a ecoinovação, pode ser considerada como a introdução de produtos, processos de produção ou novos métodos que trazem benefícios econômicos, sociais e ambientais. Basear-se no setor de produção de cimento e a recuperação de resíduos de outros processos produtivos para a produção de materiais cimentícios tem sido um desafio para os pesquisadores. Esses materiais devem ter características como resistência mecânica, durabilidade, tempo de secagem, podendo estabilizar e inertizar substâncias químicas, por exemplo, metais pesados, para evitar efeitos tóxicos de elementos químicos no meio ambiente (MENG et al., 2018; ONG et al., 2017; MARTINS, 2007).

Por esse motivo, uma forma de minimizar os impactos ambientais gerados durante a produção de cimento pode ser por meio da utilização de resíduos como matéria-prima (KAZANTSEVA et al., 2021; CANBEK et al., 2020). A reciclagem desses subprodutos residuais tem recebido muita atenção para formar novos produtos, sobretudo como aditivos de forma eficiente (Ayodeji et al., 2018; BINICI et al., 2007).

A partir da composição de alguns resíduos, esses apresentam características básicas para serem utilizados em substituição de insumos para a produção de clínquer e cimento, podendo ser citados cascas de ovo, lodo de anodização de alumínio e lodo de vidro. Basicamente, esses resíduos são tratados e descartados, mas podem ser considerados potencialmente econômico quando incluído em um novo processo produtivo, inclusive reduzindo os problemas relacionados ao impacto nas reservas naturais de calcário, uma fonte natural não renovável (CHEMICALS & RESOURCES, 2021; KNOEMA, 2021; MARQUES et al., 2019).

De acordo com o Relatório de julho de 2011 do Instituto Turco de Estatística, o número de ovos produzidos em um ano foi de aproximadamente 1,05 bilhão (Agência de estatística da Turquia, 2021). Dependendo do tamanho do ovo, o peso médio da casca do ovo é de cerca de 9 g, o resíduo anual da casca do ovo produzido foi de cerca de 8.400 toneladas. De um modo geral, a casca é composta por 94-97% em peso de carbonato de cálcio, 0,2-1% de fosfato de cálcio, 0,2-1% de carbonato de magnésio, 2-4% de matéria orgânica e 0,1% de outras substâncias (BALÁŽ, 2018; BINICI, 2015). Como alternativa, as cascas de ovos podem ser utilizadas como substituto parcial ou total do calcário para a produção de clínquer. Isto pois seu principal componente é o carbonato de cálcio, muito semelhante ao cimento.

A anodização do alumínio é um processo de oxidação forçada que o protege da ação de agentes oxidantes externos e elimina irregularidades superficiais (MARQUES et al., 2019). Durante o processo de anodização, o alumínio é colocado em contato com soluções químicas (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio, etc.) para formar uma camada externa de óxido de alumínio (Al_2O_3) ao redor do material. Gerando um efluente líquido e um sólido ao final do tratamento (NUERNBERG et al., 2021; CRISTELO et al., 2021). A composição desse resíduo é de cerca de 72,48% em massa de Al_2O_3 , 1,99% de SiO_2 , 0,42% de Fe_2O_3 , 0,42% de CaO e o restante, principalmente, outros óxidos (MARQUES et al., 2019).

A indústria do vidro é responsável pela geração de parcela significativa dos resíduos industriais. A maior parte desses resíduos é proveniente do acabamento dado às folhas de vidro pelo processo de lapidação e polimento. O uso de água durante este processo é fundamental, reduzindo o atrito e a temperatura durante o processo. Essa água pode ser tratada, e seu reaproveitamento é significativo para a indústria, tanto econômica quanto ambientalmente. As partículas de vidro são decantadas pela adição de produtos químicos. A água é tratada para seu reaproveitamento, e as partículas de vidro são secas e prensadas, dando origem ao lodo de vidro (YEO et al., 2021; FILOGÔNIO et al., 2014). O lodo de vidro apresenta aproximadamente 69,67% em massa de SiO_2 , 11,25% de Na_2O , 9,43% de CaO , 2,02% de Al_2O_3 , 1,01% de Fe_2O_3 , além de outros compostos (FILOGÔNIO et al., 2014).

Portanto, com o aumento mundial da produção de cimento e para reduzir seus impactos negativos no meio ambiente, o uso de resíduos como insumos para produção de cimento ou derivados têm adquirido grande importância na sociedade. Mas estes insumos não podem se tornar um novo problema ambiental, assim o uso de resíduos como insumos devem estabilizar e inertizar substâncias químicas. Para que essa prática não represente uma ameaça potencial ao meio ambiente devido ao possível teor de metais pesados, um problema que pode ser agravado se os metais tóxicos forem mobilizados no solo para ser absorvido pelas plantas ou transportado nas águas de drenagem (FUENTES et al., 2004).

Este trabalho tem como objetivo determinar o conteúdo químico e mobilização de metais (Cu, Fe, Cd, Pb, Cr e Zn) de resíduos para possibilidade de produção de cimento/argamassa a partir da combinação de casca de ovo, lodo anodização de alumínio e lodo de vidro.

2. Materiais e métodos

O lodo de alumínio anodizado (LAA), a lodo de vidro (LVD) e casca do ovo de galinha (COV) foram doadas pelas empresas metalúrgica Nautica Hydro (Tubarão, SC), Personal Glass (Palhoça, SC) e Palmas Hotel & Spa (Governador Celso Ramos, SC), respectivamente. O ácido acético e ácido nitroperclórico Vetc® foram utilizados como recebido e seguindo normas de segurança.

Todos os testes subsequentes foram realizados em triplicado.

2.1 Preparação de insumos

O lodo de vidro e lodo de alumínio anodizado foram lavados com água deionizada e medido o pH. Então, foi seco em estufa à temperatura de 95 ± 5 °C por 4 h, e moído usando um triturador. A areia foi peneirada para obtenção do tamanho de partícula de 75 µm.

As cascas dos ovos foram lavadas com água destilada e secas a 100 ± 5 °C por 24 h em estufa com circulação de ar. As cascas foram trituradas em um moinho, queimadas com bico de Bunsen e calcinadas a 900 ± 5 °C por 4 h em mufla.

2.2 Caracterização química de resíduos e água de lixiviação

Amostras de casca de ovo calcinado, lodo de alumínio anodizado e lodo de vidro foram caracterizados por fluorescência de raios-X e espectrometria de absorção atômica. Os ensaios para determinar as substâncias químicas CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, SO₃, P₂O₅ e TiO₂ foram realizados de acordo com PRCR-097, PRCR-098 e PR-CR-103.

Os metais obtidos na água de lixiviação foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica modalidade chama. A determinação foi de Cu, Fe, Cd, Pb, Cr e Zn após digestão nitroperclórica das amostras (LATIMER, 2016), e posterior quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) em equipamento GBC 932 AA (DUARTE et al., 2016; AOAC, 2016).

2.3 Determinação de compostos pelo método de lixiviação

As amostras de casca de ovo calcinada, lodo de alumínio anodizado e lodo de vidro foram pesadas em balança de precisão, obtendo-se 100 g de cada resíduo. As amostras foram transferidas para béqueres, sendo adicionada água deionizada na proporção de 16:1. Utilizando um agitador de teste de jarra a velocidade foi mantida em 30 RPM. O pH foi medido em três etapas, a primeira após os 15 min iniciais, a segunda após 30 min e a terceira após 60 min, sempre contando a partir da etapa anterior. Se o pH fosse inferior ou superior a $5\pm 0,2$, uma solução de ácido acético 0,5 N era usada, de forma a manter o pH próximo ao ideal ($5\pm 0,2$).

Desta forma após correção do pH inicial, a mistura foi agitada por um período de 24 h. A agitação foi prolongada por mais quatro horas - o controle e a correção do pH sendo realizados a cada hora. Por fim, foi realizada a filtração, passando o lixiviado pelo filtro de 0,45 µm. A solução obtida foi enviada ao Laboratório de Química Ambiental e Instrumental (UNIOESTE Marechal Cândido Rondon) para caracterização por espectrometria de absorção atômica (NBR 10.005/87).

2.4 Preparação de espécimes

Para o clínquer (Tabela 1) foi misturado a casca do ovo calcinada com a lama de vidro e lodo de alumínio. A mistura foi vertida em moldes de PCV com 10 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro e prensada durante cerca de 2 min com 5 kg. As amostras foram retiradas do molde, secas na estufa a 50 ± 2 °C por 48 h. Após a secagem, foram colocadas sobre um tijolo refratário e levada à mufla. A proporção usada de cada entrada para temperatura e tempo foram mostradas na Tabela 1. Então, o material formado foi triturado, peneirado até um tamanho de partícula de 75 μm e pesado. Para a produção da pasta cimentícia foi utilizada uma relação clínquer/areia e água/cimento de 1:3 e 1:2, respectivamente. As proporções de clínquer, areia e água foram mostradas na Tabela 1.

Amostra	Clínquer					Pasta cimentícia		
	Temperatura (°C)	Tempo (h)	COC (g)	LVD (g)	LAA (g)	Clínquer (g)	Água (g)	Areia (g)
1	1300	2	15,50	4,50	---	17,87	8,58	53,63
2	1300	3	15,50	3,50	1,00	17,43	8,36	52,29
3	1250	4	23,25	6,75	---	6,60	3,19	19,81
4	1250	5	23,25	5,75	1,00	7,05	3,38	21,15

Tabela 1: Composição de clínquer e pasta cimentícia a partir de casca de ovo calcinada, lodo de vidro e lodo de alumínio anodizado. Fonte: elaborado pelos autores.

As misturas para pasta cimentícia (Tabela 1) foram colocadas em moldes com aproximadamente 5,5 cm de diâmetro e 5,0 cm de profundidade e por 48 h.

3 Resultados e discussão

A especiação química pode ser definida como o processo de identificação e quantificação de diferentes espécies, formas ou fases presentes em um material. A identificação das espécies químicas dos resíduos foi embasada na constituição do cimento Portland, que apresenta como principais constituintes CaO (60-67%), SiO₂ (17-25%) e Al₂O₃ (3,0-8,0%), em menores quantidades Fe₂O₃ (0,5-6,0%), MgO (0,5-4,0%), Na₂O (0,1-0,6%), K₂O (0,1-0,6%), SO₃ (1,0-3,0%), P₂O₅ (0,1-0,5%), TiO₂ (0,1-0,5%) e outras substâncias (2%) de fonte mineral (QUINTÃO, 2018). Para esse propósito foram determinadas as composições de casca de ovo calcinada, lodo de vidro, lodo de alumínio anodizado, apresentadas na Figura 1.

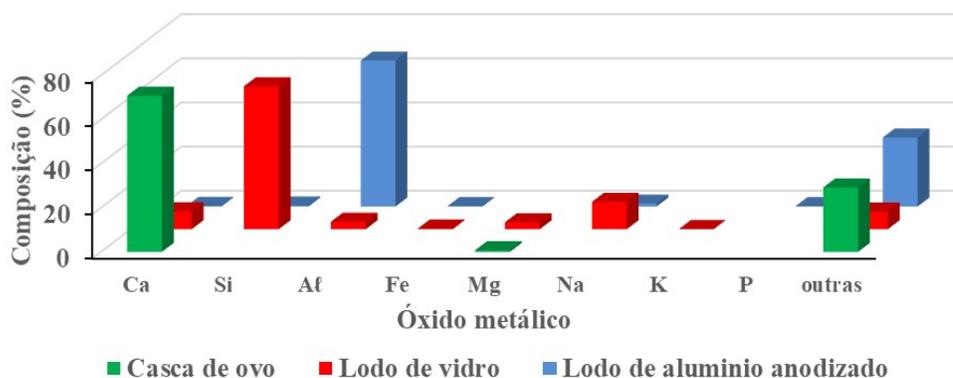


Figura 2: Composição de óxido para casca de ovo calcinada, lodo de vidro e lodo de alumínio anodizado. Fonte: elaborado pelos autores.

O processo de calcinação da casca do ovo proporciona a decomposição do CaCO_3 em CaO e CO_2 , na Figura 1 o CaO obtido foi de 70,75%, para a casca de ovo calcinada enquanto Ayodeji e colaboradores (2018) encontrou 97% e Hossain e colaboradores (2019) cerca de 99%. No material analisado também foi determinado MgO (0,75%) e 29,17% outras substâncias.

Na Figura 1, para o lodo de vidro foi determinado CaO , SiO_2 e Al_2O_3 sendo de 8,10%, 64,75% e 3,38% respectivamente, estes valores foram semelhantes aos encontrado por Vieira e colaboradores (2019) que foram de 8,44%, 67,88 % e 2,31%, respectivamente. Para o lodo de vidro também foi determinado Fe_2O_3 (0,31%), MgO (3,14%), Na_2O (12,38%), K_2O (0,07%) e 7,97% de outras substâncias.

Ainda na Figura 1, o lodo de alumínio anodizado apresentou 66,16% de óxido de alumínio, enquanto Moraes e colaboradores (2012) encontrou 55,50%. Também foram determinados CaO (0,29%), SiO_2 (0,48%), Fe_2O_3 (0,24%), Na_2O (1,32%), P_2O_5 (0,24%) e 31,27% de outras substâncias.

Assim, pode-se observar que a composição da casca do ovo calcinado, lodo de vidro e lodo de alumínio anodizado possui constituintes químicos necessários à produção do cimento, portanto a combinação desses resíduos pode ser uma possibilidade de insumos secundários para produção do cimento, mitigando impactos sobre reservas naturais de rocha, uma fonte natural não renovável.

Para avaliar o impacto ambiental desses resíduos, não é suficiente determinar seu conteúdo, mas também o comportamento em um determinado meio e sua capacidade de mobilização, pois esses fatores vão depender de sua forma química no lodo (FUENTES et al., 2004). Para o uso de resíduos como insumo secundário deve-se prestar atenção aos níveis de metais pesados principalmente a fração que pode sofrer lixiviação, uma vez que altas concentrações geralmente estão associadas à poluição ambiental e toxicidade na vegetação (HANSEN et al., 2018; VASSILEV et al., 2017; OLSSON et al., 2016). A Figura 2 mostra a quantidade de óxido de ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e dos metais pesados cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) nas amostras lixiviadas de casca de ovo, lodo de alumínio anodizado e lodo de vidro.

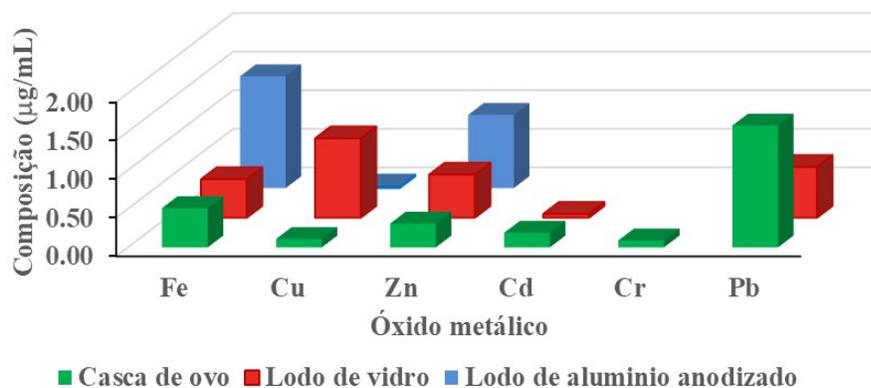


Figura 2: Composição de óxido metálicos obtidos por lixiviação de casca de ovo calcinada, lodo de vidro e lodo de alumínio anodizado. Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 2, apesar de todas as amostras apresentarem lixiviação de metais, a casca de ovo calcinada apresentou todos os metais estudados, e foram encontrados 0,51 $\mu\text{g/mL}$ Fe, 0,11 $\mu\text{g/mL}$ Cu, 0,31 $\mu\text{g/mL}$ Zn, 0,19 $\mu\text{g/mL}$ Cd, 0,09 $\mu\text{g/mL}$ Cr e 1,58 $\mu\text{g/mL}$ Pb. Enquanto o lodo de vidro apresentou 0,50 $\mu\text{g/mL}$ Fe, 1,03 $\mu\text{g/mL}$ Cu, 0,56 $\mu\text{g/mL}$ Zn, 0,05 $\mu\text{g/mL}$ Cd e 0,66 $\mu\text{g/mL}$ Pb lixiviados. Para o lodo de vidro não foi encontrado os metais pesados Cd, Cr e Pb na lixiviação, apenas 1,45 $\mu\text{g/mL}$ Fe, 0,02 $\mu\text{g/mL}$ Cu e 0,95 $\mu\text{g/mL}$ Zn.

Todas as amostras apresentaram valores para o chumbo inferiores ao 35-400 mg/kg fitotoxicidade (DUARTE et al., 2016; CAMILOTTI et al., 2007), bem como também para outros metais relatado por Fargašová e colaboradores (2002) considerando a inibição do crescimento de raízes no ensaio fitotóxico com valores de IC_{50} de 3,22-4,00 mg/mL Cd, 6,48-7,34 mg/mL Zn, 0,98-1,37 mg/mL Cu, 7,91-8,42 mg/mL Pb, 6,14-7,25 mg/mL Fe em mudas de *Sinapis Alba L.*

A utilização de resíduos como insumos secundários pode colaborar com a imobilização de metais pesados existentes nos lodos industriais, reduzindo a necessidade tratamento e destinação destes resíduos em aterros industriais.

Para a preparação do ecocimento, as proporções foram elaboradas para serem semelhantes à composição química e à proporção do cimento Portland, sendo que apresentou concentração mínima de 60% CaO e 17% SiO_2 , que foi 3,53:1. Recordando que os principais constituintes do cimento Portland era o CaO (60% -67%) e SiO_2 (17% -25%) e Al_2O_3 (3,0% -8,0%), com origem em minérios. A casca do ovo calcinada foi utilizada como fonte de CaO para ecocimento, pois apresentou cerca de 70% de CaO, sendo a fonte mais abundante quando comparada aos demais resíduos. O segundo maior componente encontrado no cimento é SiO_2 . Dentre os resíduos analisados, o que apresentou maior concentração de óxido de silício foi o lodo de vidro, com 64,75%. O terceiro componente foi o lodo de alumínio anodizado devido a presença de óxido de alumínio, em torno de 66%. Esse componente foi utilizado nas amostras 2 e 4 para preparação do ecocimento. Deve ser recordado que esse componente está entre 3 e 8% no cimento, e que o lodo de vidro possui teor de óxido de alumínio na faixa de 3,38%.

Na produção do clínquer para as amostras 1 e 2 (Tabela 1), na temperatura de 1300 °C, apresentaram um rendimento de 89,35% e 87,15%, respectivamente. Enquanto as amostras 2 e 3 (Tabela 1) preparadas na temperatura de 1250 °C apresentaram um rendimento de 22% e 23,5% respectivamente. Este rendimento pode ser justificado, já que na temperatura de 1250°C não ocorreu perfeitamente a clínquerização dos materiais, diminuindo assim seu rendimento. Para as quatro preparações de pasta cimentícia (Tabela 1) foram obtidas material com dureza.

4 Conclusões

Os resíduos de casca do ovo calcinado, lodo de vidro e lodo de alumínio anodizado apresentaram quantidades apreciáveis dos óxidos de cálcio (70,75%), silício (64,75%) e alumínio (66,16%), respectivamente podendo ser considerados como insumos secundários.

A lixiviação da casca de ovo calcinada apresentou os metais Fe, Cu, Zn e metais pesados Cd, Cr e Pb. Enquanto o lodo de vidro apresentou Fe, Cu, Zn, Cd e Pb e o lodo de

vidro Fe, Cu e Zn foram lixiviados. No entanto os valores foram baixos quanto fitotoxicidade considerada por alguns autores.

Os ensaios de preparação de clínquer mostraram-se possível a partir do uso de insumos secundário a partir de resíduos de casca de ovo de galinha, lodo de vidro e lodo de alumínio. A pasta cimentícia mostrou-se com propriedade de ligação na formação do clínquer demonstrando que o ecocimento possivelmente pode ser considerado, no entanto estes estudos foram preliminares mesmo a formação de argamassa. Para estudos futuros deve-se determinar a composição do cimento e argamassa.

Agradecimento

Laboratório de Química Ambiental e Instrumental, UNIOESTE Marechal Cândido Rondon e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI) do CNPq.

Referências

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST. Official Methods of Analysis. 21 th ed. Maryland, 2016.

AYOOLA A. AYODEJI; OJEWUMI E. MODUPE; BABALOLA RASHEED; JAMES M. AYODELE. DATA ON CAO AND EGGSHELL CATALYSTS USED FOR BIODIESEL PRODUCTION. Data in Brief 19, 2018, 1466-1473. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.06.028>

BALÁŽ, M. Ball milling of eggshell waste as a green and sustainable approach: A review. Advances in Colloid and Interface Science, 2018, 256, 256-275.

BINICI, H. Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with cement, sand and egg shells. Construction and Building Materials, 2015, 93, 1145-1150.

BINICI, H., KAPLAN, H., YILMAZ, S. Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. Sci Res Essay, 2007, 3, 372-379.

CAMILOTTI, F., MARQUES, M.O., ANDRIOLI, I., SILVA JR., A.R., TASSO, L.C., NOBILE, F.O. Heavy metals accumulation in sugarcane after application in sewage sludge and vinasse. Eng. Agric. 2007 27, 284e293. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100023>

CANBEK, O., SHAKOURI, S., ERDOĞAN, S.T. Laboratory production of calcium sulfoaluminate cements with high industrial waste content. Cement and Concrete Composites, 2020, 106, 103-475.

CHANG, ZHIYANG; LONG, GUANGCHENG; ZHOUA, JOHN L.; MA, CONG. Valorization of sewage sludge in the fabrication of construction and building materials: A review. Resources, Conservation and Recycling. 154, 2020, 104606. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104606>

CHEMICALS & RESOURCES. The Electronic Farmer: <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>. Last accessed set. 2021.

CRISTELO, N.; CASTRO, F.; MIRANDA, T.; ABDOLLAHNEJAD, Z.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. Iron and Aluminium Production Wastes as Exclusive Components of Alkali Activated Binders. Towards a Sustainable Alternative Sustainability 13, no. , 2021, 17: 9938. <https://doi.org/10.3390/su13179938>

DUARTE, A.T.; BORGES, A.R.; ZMOZINSKI, A.V.; DESSUY, M.B.; WELZ, B.; ANDRADE, J.B. VALE; M.G. Determination of lead in biomass and products of the pyrolysis process by direct solid or liquid sample analysis using HR-CS GF AAS. Talanta, 2016, 146, 166e174. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.08.041>

FARGAŠOVÁ, A. PHYTOTOXIC EFFECTS OF Cd, Zn, Pb, Cu and Fe ON SINAPIS ALBA L. Seedlings and their Accumulation in Roots and Shoots. Biologia Plantarum 44, 471–473, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1012456507827>

FUENTES, A.; LLORÉNS, M.; SÁEZ, J.; AGUILAR, M. I.; ORTUÑO, J. F.; MESEGUER, V. F. Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges. J Hazard Mater. 2004, 20;108(3):161-9. 10.1016/j.jhazmat.2004.02.014.

GAGG, C.R. Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. Engineering Failure Analysis, 40, 2014, 114-140.

HANSEN, M., KEPFER-ROJAS, S., BJERAGER, P.E.R., HOLMB, P.E., SKOVA, S., INGERSLEV, M. Forest Ecology and Management Effects of ash application on nutrient and heavy metal fluxes in the soil and soil solution in a Norway spruce plantation in Denmark. For. Ecol. Manag. 424, 494e504. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.005>.

HOSSAIN, S.K.S.; ROY, P.K. Development of sustainable calcium silicate board: Utilization of different solid wastes. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 58, 6, 2019, Pages 274-284. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2019.06.003>.

LATIMER, G.W. Official Methods of Analysis of AOAC International, 20st. Association of Official Agricultural Chemists, Maryland, 2016.

KAZANTSEVA, L. K.; MIKHNO, A. O., MIROSHNICHENKO, L. V. Crystallization-induced stabilization of foam glass aggregates for heat-insulating concrete. 2021. 18, 5, 1773-1782. <https://doi.org/10.1111/ijac.13771>

KNOEMA, The Electronic Farmer: <https://pt.knoema.com/atlas/ranks/Emiss%0c3%b5es-de-CO2-kt>. Last accessed July 2021.

MARQUES, D. V.; BARCELOS, R. L.; CREMONA PARMA, G. O.; GIROTTO, E.; CRUZ JÚNIOR, A.; PEREIRA, N. C.; MAGNAGO, R. F. Recycled polyethylene terephthalate and aluminum anodizing sludge-based boards with flame resistance. Waste Management 92, 2019. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.013>.

MORAES, G.G.; NETO, J.B.R.; HOTZA, D.; OLIVEIRA, A.P.N.; OLIVEIRA, B.G.; OLIVEIRA, T.M.N. Produção e caracterização de espumas cerâmicas obtidas a partir de lodo de anodização de alumínio. Química Nova, 2012, 35, 1.

HUANG, H.; GUO, R.; WANG, T.; HU, X.; GARCIA, S.; FANG, M.; LUO, Z.; MAROTO-VALERB, M. M. Carbonation curing for wollastonite-Portland cementitious

materials: CO₂ sequestration potential and feasibility assessment. *Journal of Cleaner Production*, 211, 2019, 830-841. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.215>

MARTINS, F.M. Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 147, 1-2, 610-617.

MENG, Y.; LING, T.-C.; MO, K. H.. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. *Resources, Conservation and Recycling*. 138, 2018, 298-312. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.029>

NUERNBERG, N. B. S.; NIERO, D. F.; BERNARDIN, A. M. Valorization of rice husk ash and aluminum anodizing sludge as precursors for the synthesis of geopolymers. *Journal of Cleaner Production*, 298, 20, 2021, 126770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126770>

ONG, K. L.; KAUR, G., PENSUPA, N., UISAN, K., LIN, C.S.K. Trends in Food waste valorization for the production of chemicals, materials and fuels: Case Study South and Southeast Asia. *Bioresour. Technol.* 2017, 248, 100-112.

OLSSON, B.A., ÅKERBLÖM, S., BISHOP, K., EKLOF, K., RING, E. Does the harvest of € logging residues and wood ash application affect the mobilization and bioavailability of trace metals? *For. Ecol. Manage.* 2016 383, 61e72. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.017>.

POSSAN, E. CO₂ uptake in cementitious materials. *Concreto e construções*. 2019, 95, 60-66.

QUINTÃO, M. C. INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DO METACALUM NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO EM CONTATO COM ATMOSFERAS AGRESSIVAS DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO. Orientador: Professora Dra. Cristiane Machado Parisi Jonov. 2018. 166 p. Dissertação (Mestre em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2018. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/RAOA-BATLX6/1/disserta__o_demc_ufmg__cristiano_quint_o_vers_o_9.pdf. Acesso em: 7 jan. 2022.

SIMÃO, L.; JUSTI, J; LÓH, N. J.; HOTZA, D.; RAUPP-PEREIRA, F.; LABRINCHA, J. A.; MONTEDO, O. R. K. Waste-containing clinkers: Valorization of alternative mineral sources from pulp and paper mills. *Process Safety and Environmental Protection*. 109, 2017, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.03.038>.

YEO, J. S.; KOTING, S.; ONN, C. C.; MO, K. H. An overview on the properties of eco-friendly concrete paving blocks incorporating selected waste materials as aggregate. *Environ Sci Pollut Res* 28, 29009-29036, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13836-3>

VASSILEV, S.V., VASSILEVA, C.G., SONG, Y.-C., LI, W.-Y., FENGA, J. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion, 2017, *Fuel* 208, 377e409. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.036>

VIEIRA, C. M. F.; DELAQUA, G. C. G.; AMARAL, L. F. Incorporation of glass polishing sludge waste into clay bricks. 2019. http://uest.ntua.gr/heraklion2019/proceedings/pdf/HERAKLION2019_Vieira_etal.pdf.

RODGERS, L. Climate change: The massive CO2 emitter you may not know about. In: Climate change: The massive CO2 emitter you may not know about. EUA: BBC News, 17 dez. 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844>. Acesso em: 7 jan. 2022.