

III-127 - APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR ATRAVÉS DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MDF

Stéphanie Abisag Sáez Meyer Piazza⁽¹⁾

Tecnóloga em Química Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Urivald Pawlowsky⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Janeiro (UFRJ). Doutor em Engenharia Química pela State University of New York at Buffalo.

Vsévolod Mymrine⁽³⁾

Mestre em Cristaloquímica, Mineralogia e Geoquímica pela Universidade Federal Lomonosov (Moscou). Doutor em Engenharia Geológica e Ambiental pela Universidade Federal Lomonosov (Moscou).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Rua Dr. Alcides Vieira Arcoverde, nº 1225, Jardim das Américas, Curitiba – Paraná - CEP: 81.520-260 - Brasil - Tel: (41) 99792-5117 - e-mail: s.meyer.piazza@gmail.com

RESUMO

A problemática da gestão dos resíduos industriais e os impactos de sua má disposição geram uma crescente necessidade de se buscar fontes alternativas de destinação e aproveitamento destes materiais. Os resíduos industriais podem levar a impactos ambientais em grande escala e por isso deve-se buscar formas de agregar valor a estes resíduos e o reinserir no processo produtivo. Uma forma de reinserção é a sua utilização como matéria-prima para a fabricação de materiais de construção civil, desta forma, estando de acordo com os conceitos da Economia Circular. O objetivo deste trabalho foi estudar o uso resíduos da produção de painéis de MDF (lodo físico-químico e cinzas) e juntamente com resíduos da produção de cal promover a fabricação de um novo produto com características de concreto. Para este efeito, as amostras foram preparadas com diferentes combinações dos resíduos acima mencionados e suas propriedades mecânicas, químicas e mineralógicas foram testadas e analisadas para obter um produto com características ótimas e resistência mecânica. Os resultados indicam que um teor de lodo físico-químico de 30-45% em peso fornece bons níveis de resistência mecânica, tornando esses produtos adequados para aplicação como materiais de construção.

PALAVRAS-CHAVE: Economia circular, Resíduos industriais, Reaproveitamento, Indústria de MDF.

INTRODUÇÃO

O modelo econômico “extrair, transformar, descartar” da atualidade depende de grandes quantidades de materiais de baixo custo e fácil acesso, além de energia. Esse modelo está atingindo seus limites físicos. E por isso a sociedade tem verificado a necessidade de mudança do Modelo econômico atual de Economia Linear para a Economia Circular, a qual busca a reinserção do resíduo à cadeia produtiva.

Uma Economia Circular é uma alternativa atraente e viável que as empresas já começaram a explorar. Em uma Economia Clássica, ou Linear, produzimos, consumimos e depois eliminamos. Enquanto, numa Economia Circular, a ideia é no final do processo reciclar os produtos ou parte deles e recolocá-los no mercado, conforme evidenciado na Figura 1 (EURONEWS, 2015).

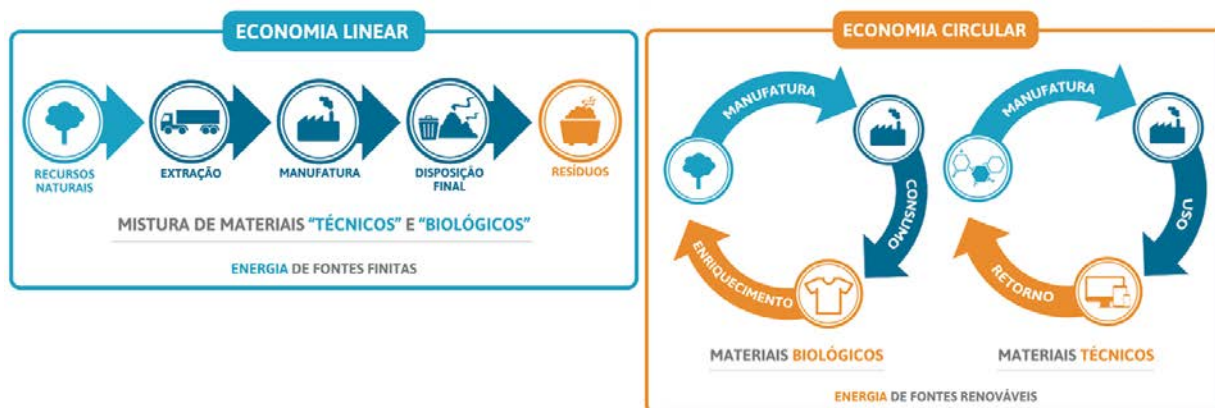


Figura 1 – Diferença entre os Modelos econômicos: Linear e Circular

O Brasil se destaca no cenário mundial por possuir extensas áreas florestais nativas com possibilidade de manejo adequado e florestas plantadas com perspectivas de crescimento entre as mais sustentáveis do mundo. O setor brasileiro de florestas tornou-se, nos últimos anos, um dos mais relevantes no cenário global. Com uma área de 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas, é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País e um dos que apresenta maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde. Entre os segmentos que usam a madeira como principal matéria-prima, podemos citar o de celulose e papel, o de painéis de madeira (MDF), o de pisos laminados, o de serrados e compensados, o de siderurgia a carvão vegetal e o de energia. Já no setor de bens de consumo, destacam-se as indústrias gráfica, de embalagem, moveleira, química, têxtil e farmacêutica e a construção civil (IBA, 2016).

Uma das problemáticas enfrentada pela indústria de MDF é a existência de uma legislação proibindo a queima em caldeiras do lodo físico-químico, especificada pelo Artigo 3 da Resolução SEMA 42, de 22 de julho de 2008 (IAP, 2008), o que também impulsiona as indústrias a buscar novas formas de disposição e até mesmo reaproveitamento desse resíduo.

Adicionar a este resíduo um valor agregado que proporcione a formação de um produto comercial é vantajoso, pois diminui possíveis gastos com a disposição do mesmo e implica num ganho econômico pela sua venda a outros setores (CHEAH et al., 2011; PAKI TURGUT e ALGIN, 2007; SIDDIQUE, 2012; UDOEYO et al., 2006).

Quanto aos resíduos de cal, o mesmo possui a problemática de má disposição uma vez que por não conter os níveis mínimos adequados de óxidos totais na base não volátil ($\text{CaO} + \text{MgO}$) é considerado com resíduo de acordo com a NBR 6.453 (ABNT, 2003), ficando sem função de uso e como um gasto adicional para destinação final.

Desta forma podemos afirmar que estes resíduos possuem grande potencial para reaproveitamento em outras atividades econômicas e industriais. É possível indicar que esses resíduos poderiam ser aproveitados pela indústria de produção de tijolos, possibilitando o seu reaproveitamento.

Sendo assim o objetivo deste trabalho foi apresentar uma proposta de aproveitamento dos resíduos de uma indústria de painéis de MDF (lodo físico-químico e cinzas) com resíduos da fabricação de cal a fim de gerar um novo material com característica de concreto e com valor agregado e comercial, que atenda as normas brasileiras.

MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem deste trabalho é voltada para o aproveitamento dos resíduos da indústria de painéis de MDF (lodo físico-químico e cinzas) e resíduos da fabricação de cal a fim de gerar novos produtos com característica de concreto.

Os resíduos a serem estudados nesta indústria serão: lodo físico-químico, areia e cinzas. E, em conjunto, serão utilizados resíduos da fabricação de cal provenientes de uma indústria situada na região metropolitana de Curitiba.

Os resíduos serão caracterizados separadamente e depois serão misturados em diferentes proporções para o desenvolvimento de um produto com características de concreto que possa ser utilizado na área de construção civil.

Com a mistura dos resíduos elencados serão produzidos corpos-de-prova, os quais passarão por uma série de análises, como: resistência à compressão uniaxial, resistência à água, mudanças mineralógicas, entre outras. As análises a serem realizadas são apresentadas na **Tabela 1**. Após confeccionados os corpos-de-prova devem possuir características que atendam a norma brasileira NBR 7170 e 12118, de 1983 e 2013, respectivamente.

Tabela 1 – Análises Laboratoriais para os resíduos e para os corpos-de-prova

Amostra	Análises
Matérias primas 1. Lodo físico-químico 2. Cinzas 3. Resíduos da fabricação de cal	Teor de umidade Composição granulométrica Composição química por raios X – Fluorescência (FRX) Composição mineralógica por raios X – Difractometria (DRX) Perda a fogo Microscopia eletrônica de varredura (MEV) Micro-análise química (EDS)
Corpos-de-prova – CP (Análises nas idades de: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365, 730 dias)	Resistência à compressão uniaxial Dilatação linear Resistência à água Absorção à água Composição mineralógica por raios X – Difractometria (DRX) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) Micro-análise química (EDS)

Os corpos de prova (CP's) foram elaborados com diferentes proporções dos resíduos (Tabela 2), homogeneizados manualmente e compactados com força de 5 MPa, em forma cilíndrica, com dimensões de 20 x 20 mm, sem secagem preliminar e sem adição de cimento Portland.

Nas idades de 3, 7, 14, 28, 60 e 90 dias de cura, como realizado por Solyon (2009), Borgo (2007) e Meyer (2012), as amostras foram submetidas posteriormente a ensaios para determinar: resistência à compressão uniaxial, resistência à água (Cra), absorção de água (Ca), dilatação e processos de formação de novas estruturas durante a cura.

Tabela 2 – Composições dos corpos de prova

N	Composições (%)		
	Lodo	Cinza	RPC
1	45	45	10
2	40	45	15
3	35	50	15
4	30	55	15
5	40	40	20
6	35	45	20
7	30	50	20

A resistência à compressão pode ser definida como a tensão que ao ser atingida provoca no elemento um estado de limite último (MAIDA, 1989), significando, assim, a pressão máxima suportada pelo corpo de prova.

A resistência à compressão é uma propriedade de grande importância na engenharia civil, pois traduz de certa forma a qualidade do material, estando diretamente relacionada à sua estrutura interna. Os valores obtidos nos ensaios de ruptura dos corpos de prova fornecem seu desempenho em termos mecânicos e consequente durabilidade (CORRÊA, 2005).

Para o ensaio de absorção de água por imersão foram empregados 5 corpos de prova para cada uma das 7 composições, para a idade de 60 e 90 dias, conforme definido na norma NBR 9.778 (ABNT, 2005).

Para a análise de dilatometria, foi medido o diâmetro do corpo de prova com 90 e 180 dias com um paquímetro digital DIG MESS. Para cada composição foram usados 5 CP's para se obter um resultado mais representativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do lodo físico-químico por FRX é apresentada principalmente pelo Al_2O_3 – 10,2%, CaO – 3,7%, P_2O_5 – 0,9% e SiO_2 – 0,8%, com uma umidade de 73,47% e uma perda ao fogo de 82,55%, provavelmente devido alta teor de matéria orgânica. A composição mineralógica por DRX do lodo físico-químico apresentou três fases: Nitratine (NaNO_3), Kamacite ($\text{Mg}_3\text{Al}_6(\text{Si},\text{Al},\text{B})_5\text{O}_{21}(\text{OH})$) e Aragonite (CaCO_3).

Para as cinzas provindas da queima da madeira a FRX indicou a presença de SiO_2 – 53,0%, Al_2O_3 – 12,8%, Fe_2O_3 – 5,7% e CaO – 2,5%, com uma umidade de 9,37% e uma perda ao fogo de 20,18%, devido alto teor de madeira mal queimada. Já em sua composição mineralógica pela DRX estavam presentes Quartzo (SiO_2) e Halite (NaCl).

A fábrica de cal localizada na região de Colombo (Paraná, Brasil) forneceu o resíduo da produção da cal (RPC) - a cal mal queimada que servirá nestes experimentos como ligante nas misturas. Uma das exigências químicas adotadas para aplicação da cal como ligante na construção civil conforme a NBR 6.453 (ABNT, 2003) é apresentar o teor mínimo de óxidos totais na base não volátil ($\text{CaO} + \text{MgO}$) de 88%. Este teor foi fixado tendo como base matérias primas nacionais. O teor de anidrido carbônico (CO_2), sendo fixado para a cal virgem especial e para a cal comum, teores máximos de 6 e 12% respectivamente.

O RPC usado neste trabalho apresentou um teor de 23,6% de CO_2 , caracterizando como resíduo de produção de cal. Nos difratogramas de Raios X existem fortes picos de Calcita (CaCO_3), de Brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), Portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e Quartzo (SiO_2). Muito visível também pela profunda distância entre curva de difratograma e linha zero do gráfico – característica para alto teor de materiais amorfos.

No método de microscopia eletrônica de varredura acoplada à micro-análise química (MEV-EDS) foi verificado que o lodo promove a tendência dos conglomerados se reunirem entre si. Já a MEV para a cinza indicou a presença de uma grande diversidade entre as partículas, que revela uma alta porosidade do material por não haver ligação química entre os componentes, caracterizando um material disforme.

Para o RPC, pela MEV pode-se observar que a superfície é bastante lisa, uniforme, sem elevações, com uma considerável rede de poros irregulares. A maioria das partículas tem as formas redondas, como nuvens, típicos para substâncias amorfas.

A análise de mudança das resistências à compressão uniaxial de CP's (Tabela 3) permite concluir que as composições, gradativamente suas resistências à compressão foram aumentando. Isto indica que com o passar do tempo ocorre uma maior interação química dos componentes, reduzindo o volume de espaços vazios que deixavam o material mais frágil.

O destaque maior foi para a composição 5 cujas resistências em foram sempre as maiores e chegaram até 8,37 MPa no 90º dia. Por isso, a composição 5 foi escolhida para pesquisar os processos físico-químicos de formação de estruturas através dos métodos de DRX e MEV-EDS.

Tabela 3 – Mudança de resistência à compressão uniaxial durante a hidratação e cura

N	Composições (%)			Resistência (MPa) após dias de cura					
	Lodo	Cinza	RPC	3	7	14	28	60	90
1	45	45	10	5,09 ± 0,54	4,25 ± 0,29	5,50 ± 0,44	5,32 ± 0,72	5,17 ± 0,38	5,25 ± 0,43
2	40	45	15	3,90 ± 0,60	4,17 ± 0,98	5,26 ± 1,06	5,40 ± 0,65	6,08 ± 1,10	5,87 ± 0,15
3	35	50	15	2,20 ± 0,40	2,97 ± 0,28	3,05 ± 0,43	3,70 ± 0,89	3,66 ± 0,58	3,09 ± 0,05
4	30	55	15	1,95 ± 0,16	2,93 ± 0,46	3,38 ± 0,32	3,48 ± 0,59	3,35 ± 0,32	3,42 ± 0,13
5	40	40	20	5,25 ± 0,89	6,13 ± 0,72	7,18 ± 0,44	6,96 ± 0,97	7,95 ± 1,67	8,37 ± 2,14
6	35	45	20	3,75 ± 0,28	4,86 ± 0,48	5,62 ± 0,40	5,10 ± 1,42	6,14 ± 0,65	6,04 ± 0,93
7	30	50	20	1,62 ± 0,35	2,30 ± 0,52	3,02 ± 0,56	3,13 ± 0,57	3,55 ± 0,45	3,87 ± 0,55

Nota: Conforme a NBR 7170 (ABNT, 1983) a resistência uniaxial dos tijolos maciços deve ser as seguintes: Classe A < 2,5 MPa; Classe B 2,5 < 4,0 MPa; Classe C > 4,0 MPa.

Comparando os dados da Tabela 3 com especificações da NBR 7170 (ABNT, 1983) pode-se notar que os valores de resistências dos materiais desenvolvidos estão em conformidade com as mesmas sendo muitas vezes superiores aos limites máximos indicados.

Os resultados da dilatométrica demonstraram variação entre 0,93 e 2,35 % de maneira diretamente proporcional ao aumento do teor de cinzas. O menor teor de RPC apresentou menor dilatação, e a composição 5 teve dilatação de 1,40%.

Os valores encontrados para a resistência à água em 60 dias, foram entre 2,24 - 4,76 MPa, com coeficiente de resistência à água (Cra) entre 0,60 - 0,82. Para o 90º dia foram obtidos valores de resistência 2,41 - 5,22 MPa, com coeficiente de resistência a água entre 0,62 - 0,85. Desta forma, a cinza responde negativamente para a resistência à água uma vez que quanto maior sua proporção na mistura menor foram os valores de resistência obtidos. Já o lodo responde positivamente sobre a resistência à água. Para quase todas as misturas o coeficiente de absorção de água (Ca) aumenta com o crescimento do teor de cinza, e variou entre 0,77 e 1,61 no 60º dia de cura; e entre 0,86 a 1,65 no 90º dia de cura.

Os resultados de decifração de difratogramas de Raios X das amostras de composição nº 5 (Tabela 2) durante de cura estão reunidas em Tabela 4.

Tabela 4 – Mudança de composição mineralógica de amostras da composição nº 5 durante a cura

Mistura seca	3 dias	14 dias	60 dias
Quartzo - SiO ₂	Quartzo - SiO ₂	Quartzo - SiO ₂	Quartzo - SiO ₂
Portlandite - Ca(OH) ₂	Portlandite - Ca(OH) ₂	Portlandite - Ca(OH) ₂	Portlandite - Ca(OH) ₂
Periclase - MgO	Periclase - MgO	Periclase - MgO	Periclase - MgO
Calcite - CaCO ₃	Calcite - CaCO ₃	Calcite - CaCO ₃	Calcite - CaCO ₃
Grafite - C	Grafite - C	Grafite - C	Grafite - C
	* Komerupine - Mg ₃ Al ₆ (Si,Al,B) ₅ O ₂₁ (OH)	Kornerupine - Mg ₃ Al ₆ (Si,Al,B) ₅ O ₂₁ (OH)	Kornerupine - Mg ₃ Al ₆ (Si,Al,B) ₅ O ₂₁ (OH) e Fe ₄ Mg ₁₀ Al ₂₅ (Si,B) ₁₈ O ₈₆
	* Tobermorite - (CaO) _x SiO ₂ .H ₂ O	Tobermorite - (CaO) _x SiO ₂ .H ₂ O	Tobermorite - (CaO) _x SiO ₂ .H ₂ O

Os dados da Tabela 4 confirmam que nos difratogramas com o tempo de hidratação e cura aparecem minerais de duas modificações cristalinas de Kornerupine - Mg₃Al₆(Si_{0,8},Al_{0,2})₅O₂₁(OH) e Fe₄Mg₁₀Al₂₅(Si,B)₁₈O₈₆ e Tobermorite - (CaO)_xSiO₂.H₂O. E há um aumento na intensidade dos picos de Calcite - CaCO₃. Além de ser

bem visível também o crescimento do teor de materiais amorfos, especialmente comparando os difratogramas de material seco e o material com 60 dias de cura.

O resultado da MEV permite observar no 3º dia ainda há partículas de estrutura de cinza. Na Figura 2 – C no 60º dia já aparecem estruturas relativamente monolíticas, com o tempo está adquirindo maior resistência e as partículas estão reagindo e se interligando. O fato de haver poucas e pequenas trincas serve de apoio para esta afirmação. Na área 1 e 2 das micrografias representadas pelas Figuras 2 – A, B e C foi realizada a micro-análise química de EDS na idade de 3 e 60 dias, e seus resultados estão apresentados na Tabela 5.

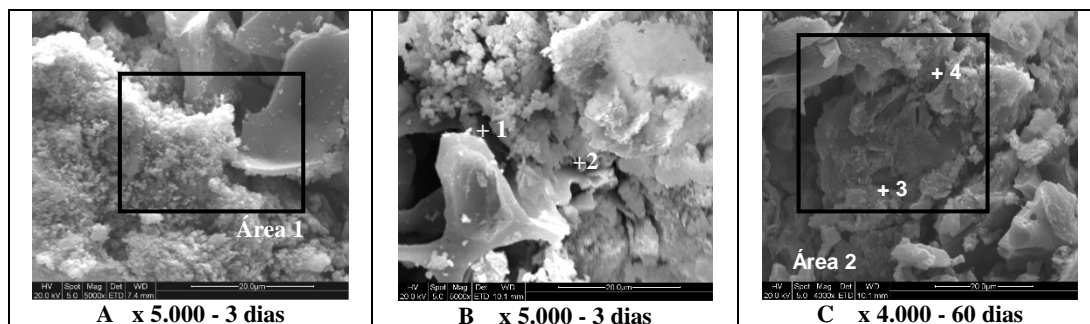


Figura 2 – Micrografias com EDS da composição nº 5 durante a cura

Tabela 5 – Análise de EDS da área geral da micrografia do corpo de prova em 3 e 60 dias

Idade	Áreas	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Total
3 dias	Área 1	46,76	25,98	9,20	1,79	1,03	0,32	13,96	0,97	100
3 dias	Ponto 1	9,85	37,97	7,60	0,71	0,35	0,22	42,65	0,66	100
3 dias	Ponto 2	25,30	15,86	5,69	2,25	1,82	0,70	44,62	3,75	100
60 dias	Área 2	46,24	14,69	14,93	2,66	3,96	0,74	15,24	1,54	100
60 dias	Ponto 3	47,29	22,29	19,90	1,56	-	0,23	8,18	0,56	100
60 dias	Ponto 4	43,43	26,01	11,83	2,08	-	0,38	15,2	1,07	100

Comparando os valores de composição química das Áreas 1 e 2 (Figura 2) através de EDS é possível confirmar grande diferença de teores de Mg, Al e Si, característica de substâncias amorfas. Já na comparação química dos diferentes pontos destas áreas, a diferença de teores de praticamente todos os elementos observados é muito maior. Esta informação confirma alto teor de materiais amorfos, de acordo com os resultados de DRX.

CONCLUSÕES

A partir desta pesquisa pode-se afirmar que através da Economia Circular os processos industriais podem ser aperfeiçoados com o uso de técnicas de reaproveitamento. Os resultados mostraram que o lodo físico-químico de ETE da indústria de painéis de MDF pode ser utilizado como matéria-prima na proporção de 30 a 45 %, em peso, para a produção de blocos para a construção civil.

Os resultados obtidos a partir das análises de resistência à compressão do bloco produzido demonstram alta resistência à ruptura à compressão (8,37 MPa). Este aumento na resistência pode ser explicado pelo surgimento de novas formações amorfas e cristalinas e também pelo aumento da quantidade e da intensidade dos picos, indicando um nível de cristalização mais perfeita, diminuindo a quantidade de defeitos nas estruturas cristalinas, que foi confirmado nas análises de raios X (DRX).

Os materiais desenvolvidos são economicamente atrativos devido ao baixo custo das matérias-primas (resíduos industriais) e aos grandes benefícios adicionais esperados devido à transformação de material passivo, geralmente dispostos em aterro industrial, para material ativo na fabricação de materiais para a construção civil. O resíduo industrial, que antes representava ameaça de contaminação ambiental, agora, também, oportuniza a diminuição da extração de matérias-primas para a produção de materiais para a construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6.453: Cal virgem para construção civil – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.
3. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9.778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
4. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.118: Blocos de concreto. Rio de Janeiro, 2013.
5. BORG, S.C.; MYMRINE, V. Galvanic processes wastes recycling for producing of ceramic materials. Resources, conservation & recycling, v.38, p.137-145, 2007.
6. CHEAH, C.; RAMLI, M. The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview. Resources, Conservation and Recycling, v.55, n.7, p.669-685, 2011.
7. CORRÊA, S. M. Compósito à base de resíduos de concreto e resíduos de produção de cal. Curitiba, 2005. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais-Universidade Federal do Paraná, 2005.
8. EURONEWS. Economia: De um modelo linear a um modelo circular. 2015. Disponível em: <<http://pt.euronews.com/2015/12/04/economia-de-um-modelo-linear-a-um-modelo-circular>>.
9. IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Resolução SEMA nº 042/08 – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RES_OLUCAO_SEMA_42_2008_QUEIMA_RESIDUOS_CALDEIRAS.pdf>.
10. IBA – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual de 2016. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>.
11. MAIDA, E. C. Uma alternativa de ensaio acelerado para precisão da resistência à compressão do cimento Portland utilizando energia de microonda. São Paulo, 1989. Tese de doutorado em Engenharia Civil-Universidade de São Paulo, 1989.
12. MEYER, S.A.S. Aproveitamento de água residuária tratada e lodo físico-químico provenientes da produção de painéis de MDF. Curitiba, 2012. Dissertação de mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental-Universidade Federal do Paraná, 2012.
13. PAKI TURGUT, P.; ALGIN, H. M. Limestone dust and wood sawdust as brick material. Building and Environment, v.42, n.9, p.3399-3403, 2007.
14. SIDDIQUE, R. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, v.67, p. 27-33, 2012.
15. SOLYON, G.J.P. Minimização e Reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos. Curitiba, 2009. Dissertação de mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental-Universidade Federal do Paraná, 2009.
16. UDOEYO, F.; INYANG, H. YOUNG, D.; OPARADU, E. Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete. J. Mater. Civ. Eng., v.18, n.4, p. 605–611, 2006.