

Compósitos a base de resíduos de concreto, lodo da anodização de alumínio e resíduos da produção da cal

Daniela Evaniki Pedroso - Universidade Tuiuti do Paraná danievaniki@hotmail.com

Cleber Luis Pedroso - UTFPR cleber.ped@gmail.com

Vsevolod Mymrine - UTFPR seva6219@gmail.com

Kirill Alekseev - UTFPR ale-kirill@yandex.ru

Eliane Pereira de Lima - Universidade Tuiuti do Paraná eliane.lima@utp.br

Resumo:

Este trabalho teve como objetivo desenvolver novos compósitos para construção civil e pesquisar mudanças nas propriedades mecânicas e nas estruturas morfológicas durante os períodos de cura de: 3, 7, 14, 28, 60 e 90, 180 dias e 1 ano. Foram desenvolvidas 23 composições utilizando como matérias primas resíduos de concreto, lodo da anodização de alumínio e resíduos da produção da cal. Para cada composição foram moldados 60 corpos de prova de 20mm x 20mm e compactadas as misturas com pressão de 10 MPa, com tempo de permanência desta pressão de 30 s. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, absorção de água e dilatação prevaleceram às demandas das Normas Brasileiras.

Dentre todas as composições destaca-se a de número 17, visto que não incorpora um valor muito alto de resíduo da produção de cal e sua resistência aumenta com o passar do tempo. Esta composição obteve resistência à compressão de 6,76MPa aos 28 dias de cura e 12,48MPa aos 180 dias de cura.

Palavras chave: Resíduos de concreto, alumínio, cal.

Composites on the basis of concrete waste, sludge from anodizing aluminum process and waste of lime production

Abstract

The aim of presented research was to develop new composites for construction and analyze changes of mechanical properties and morphological structures during the healing periods: 3, 7, 14, 28, 60 and 90 and 180 days and 1 years. There were developed 23 compositions using concrete waste, sludge from anodizing aluminum process and waste of lime production as raw materials. For each composition 60 samples of 20mm x 20mm cylinder size were extracted with pressure of 10 MPa, which was kept for 30 seconds for each specimen. The results of the uniaxial compression resistance, water absorption and expansion tests exceeded Brazilian Standards.

Among all compositions the number 17 is highlighted, since it does not contain high amount of lime production waste and its resistance increases over time. This composition reached compressive strength resistance of 6,76MPa after 28 days of healing and 12,48MPa over 180 days.

Key-words: Concrete waste, aluminum, lime.

1. Introdução

Nos últimos anos vem crescendo a preocupação com a preservação do meio ambiente, a escassez dos recursos naturais e a restrição de locais para destinação de resíduos industriais. Estes fatores, aliados à busca pelo desenvolvimento sustentável exigem que o setor da

construção civil busque novas metodologias e tecnologias voltadas à reciclagem e/ou reutilização dos resíduos industriais.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe a formulação de um compósito para construção civil, além de pesquisar as mudanças nas estruturas morfológicas e a variabilidade dos resultados de resistência à compressão, através da utilização de resíduos de concreto (RC), lodo da anodização de alumínio (LAA) e resíduos da produção da cal (RPC).

O LAA, que foi estudado no presente trabalho, é proveniente do tanque de fosqueamento, em que as peças são tratadas com uma solução alcalina, aditivada com inibidores de ataque.

O processo de anodização do alumínio gera uma grande quantidade de resíduo na forma de lodo que é classificado como sendo de classe II – A, não perigoso, não inerte (SARTOR, 2006).

O processo de anodização de alumínio consome grandes quantidades de água e gera grandes quantidades de lamas, segundo Ribeiro e Labrincha (2008), cerca de 100.000 toneladas por ano são produzidos nos países da União Europeia.

De acordo com Pereira *et al.* (2002), a produção mundial anual de anodização de alumínio é de 450.000 toneladas distribuídas entre Japão (39%), EUA (22%), União Europeia (22%) e outros (17%).

Diferentes aplicações para o LAA foram realizadas, tais como o seu emprego como cola para a produção de papel (BROOK, 1991), agente floculador ou coagulante no tratamento de águas residuais industriais (PAJUNEN, 1999), materiais cerâmicos (PEREIRA *et al.* 2006), tintas inorgânicas (COLONETTI, 2014) e tijolos refratários (RIBEIRO *et al.* 2002; TULYAGANOV *et al.* 2002; FERREIRA; OLHERO, 2002).

O resíduo de concreto (RC) é proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras em concreto, e os resultantes do processamento de lajes, pilares, vigas, blocos de concretos, manilhas, pisos e outros artefatos de concreto. Embora a reciclagem seja frequentemente citada como a melhor maneira de gerenciar os resíduos de concreto, ainda existe vários obstáculos ao uso como agregados reciclados nas construções, tais como: a falta de confiança dos clientes e prestadores de serviços; a distância entre obras e usinas de reciclagem e a falta de normas e especificações (SILVA; BRITO; DHIR, 2014).

Para Ogawa e Nawa (2012), o RC geralmente passa por três etapas, triagem com remoção de quaisquer impurezas, tais como o aço, madeira, gesso, alvenaria e vidro; em seguida por um processamento e por último por um peneiramento. Segundo Tosic *et al.* (2015), durante o processamento o concreto perde uma certa quantidade de pasta de cimento e outra permanece ligada ao agregado. Esta pasta de cimento residual é a principal causa da menor qualidade do agregado reciclado comparado com o agregado natural, nela a absorção de água é mais alta, diminuindo a resistência e durabilidade do agregado.

Algumas pesquisas recentes demonstram que a utilização de RC em substituição ao agregado natural pode conferir bom desempenho mecânico ao concreto, além de reduzir os impactos ambientais, emissão de CO₂ e utilização de energia. (LIANG *et al.* 2014; BRAND *et al.* 2015; COURARD *et al.* 2010), também foram desenvolvidas pesquisas utilizando o RC em base e sub-base de estradas (BENNERT *et al.* 2000; TAM *et al.* 2010).

O resíduo da produção da cal (RPC) é resultante da má calcinação da rocha calcária e será utilizado neste compósito como aglomerante juntamente com o ambiente alcalino proporcionado pelo LAA.

A produção da cal é uma grande fonte de emissões de CO₂. A cal produzida a partir do calcário, que depois de extraído, selecionado e moído, é submetido a elevadas temperaturas em fornos

industriais num processo conhecido como calcinação, que dá origem ao CaO (óxido de cálcio ou cal) e libera CO₂ (gás carbônico) (SLOTTE; ROMÃO; ZEVENHOVEN, 2013).

De acordo com Guimarães (2002), o processo de transformação dos blocos de rochas calcárias em componentes se inicia nas partes mais quentes (em contato com os gases), evoluindo como “ondas térmicas” em direção as zonas frias (núcleo dos blocos). Ainda, segundo o mesmo autor, a cal é a primeira camada a se formar no processo de calcinação e, como possui condutividade térmica bem maior do que a rocha, ela faz com que a velocidade de avanço da camada calcinada diminua à medida que se aproxima do núcleo do bloco submetido ao calor. Assim, de acordo com a disposição e granulométrica, além da distribuição e carga do calor ao longo das zonas de aquecimento e calcinação, é frequente encontrar no material calcinado uma zona central (núcleo) não dissociada, isto é, na forma de carbonato (“pedra crua”).

A calcinação perfeita depende da experiência do operador, da temperatura de queima e tecnologia de fornos (OATES, 1998). Trabalhos na literatura referenciam, também, os fenômenos de transportes de calor no interior de fornos rotativos (SALCUDEAN et. al., 2004; CHIU; STROPKY, 2004).

Para Garcia (2008), os resíduos da produção da cal se originam da rocha calcária mal queimada, quando o processo de combustão ocorre de forma incompleta. Esses resíduos são, geralmente, comercializados como subprodutos, constituídos, essencialmente, de elementos não calcários como: Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, entre outros, em quantidade total superior a 12% (ABNT 6453:2003), e por isso se designam resíduos da cal.

Os resíduos da produção da cal utilizados neste trabalho são provenientes da má calcinação; sua escolha foi fundamentada em três itens: suas propriedades aglomerantes, sua disponibilidade em grande quantidade e pela minimização de impactos junto ao meio ambiente.

Segundo o Mineral Industry Surveys (2014), os maiores produtores mundiais de cal são: China com 220 milhões de toneladas (63%), Estados Unidos com 19 milhões de toneladas (5,5%), Índia com 16 milhões de toneladas (4,5%), Rússia com 10,4 milhões de toneladas (3%), Brasil com 8,5 milhões de toneladas (2,5%), Japão com 8,2 milhões de toneladas (2,3%) e Alemanha com 6,5 milhões de toneladas (1,8%).

O RPC, como calcário e carbonatos à base de cal são utilizados pelas indústrias de cimento na clínquerização para a conservação de energia térmica e otimização da produção (BHATTY; GAJDA, 2004). Outras aplicações do RPC também estão sendo estudadas, como produção de compósito (STROEVEN et al. 2001), pavimentos de concreto (AL-SAYED et al. 2004), de pavimentos asfáltico (MOHAMMED et al. 1992).

2. Materiais e métodos

Nesta etapa são descritos os procedimentos adotados no presente trabalho, com o intuito de desenvolver novos compósitos a partir dos resíduos industriais já citados.

A escolha dos resíduos se baseou no princípio de que os aglomerantes reagem em ambiente alcalino. Logo, a escolha de um resíduo com pH em torno de 12 ou 13 proporcionaria um ambiente propício para o resíduo de cal reagir, aumentando suas propriedades aglomerantes.

O lodo de anodização de alumínio foi coletado em uma empresa de anodização localizada em Pinhais, Paraná, Brasil. O lodo é proveniente do tanque de fosqueamento, onde o resíduo é alcalino.

O resíduo de concreto foi coletado na empresa reciclagem de resíduos da construção civil localizada em Curitiba, Paraná, Brasil, que tem capacidade de processamento instalada de 6.000 m³/mês, dividido em resíduos de composição cerâmica (tijolos, telhas, azulejos) e resíduos de

composição cimentícia (resíduos de concreto). A dimensão máxima característica do resíduo coletado é $< 4,8\text{mm}$, correspondente ao agregado miúdo.

O resíduo da produção de cal é proveniente de Rio Branco, Paraná, Brasil.

Foram dosadas 23 composições variando os teores de matérias primas: resíduos de concreto de 35% a 100%, lodo de anodização de alumínio de 0% a 15% e resíduo da produção de cal de 0% a 50%. Para cada composição foram compactados 5 corpos de prova para cada idade de rompimento, 3, 7, 14, 21, 28, 90, 180 dias e 1 ano, com carga de 10MPa, totalizando 60 corpos de prova para cada composição. Na Tabela 1 será apresentada a percentagem de matérias primas para cada composição:

Composição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Resíduos de concreto (%)	100	95	85	80	75	80	75	70	75	70	65	70	65	60	65	60	55	55	50	45	45	40	35
Anodização de alumínio (%)	0	5	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Resíduos Produção da cal (%)	0	0	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	25	25	30	30	30	40	40	40	50	50	50

Tabela 1 - Composições variando o percentual das matérias primas

Os três resíduos foram misturados da forma como recebidos, variando os percentuais de cada um, conforme apresentado na Tabela 1. Não foi realizado nenhum processo de secagem, calcinação ou moagem preliminar com a finalidade de aproximar-se ao máximo das condições industriais e aumentar a eficiência econômica e energética da produção de materiais a nível industrial.

Foram utilizados para o experimento moldes cilíndricos medindo 20 mm de altura por 20 mm de diâmetro, visando à utilização de menos materiais por experimento.

Os corpos de prova foram dosados e pesados em balança eletrônica, com precisão ± 1 grama, de acordo com cada composição previamente definida. As misturas foram homogeneizadas com almofariz e pistilo de porcelana de alta resistência e hidratadas com água potável.

A compactação foi realizada com prensa manual com capacidade de até 15 toneladas, a pressão aplicada foi de 10 MPa, com tempo de permanência desta pressão de 30 segundos. A cura dos corpos de prova foi realizada em ambiente seco.

3. Resultados e discussões

O controle da resistência à compressão de um material tem por finalidade verificar a conformidade da resistência dos diferentes lotes empregados. Foram ensaiados cinco corpos de prova de cada composição nas seguintes idades de cura: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180 dias e 1 ano.

Na Tabela 2, são apresentadas as médias de resistências à compressão obtidas para todos os lotes.

Nº	Composições, %		Resistência à compressão uniaxial (MPa)								
	Resíduos de concreto	Anodização de alumínio	RPC	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	60 dias	90 dias	180 dias	1 ano
1	100	0	0	1,34	1,21	0,82	0,9	0,95	0,55	1,06	1,23
2	95	05		1,42	1,41	1,19	0,95	1,29	0,74	1,21	1,52
3	85	05		2,23	3,45	3,8	3,81	4,94	3,51	4,24	4,53
4	80	10	10	2,56	3,61	4,17	4,72	4,61	5,32	6,01	5,53
5	75	15		2,71	3,89	4,75	4,84	4,77	4,23	3,61	4,68
6	80	05		2,89	3,72	3,85	4,79	3,37	3,29	6,55	6,74
7	75	10	15	2,92	3,23	3,9	4,61	3,62	4,76	6,18	6,36
8	70	15		3,28	3,49	3,9	4,88	5,09	5,79	4,56	5,08
9	75	05		4,38	5,13	6,17	6,85	5,28	5,39	7,23	7,45
10	70	10	20	4,49	4,99	6,14	6,63	5,51	7,07	6,74	7,02
11	65	15		4,19	4,44	5,27	6,26	3,8	6,75	7,48	7,32
12	70	05		4,93	5,14	5,41	5,76	6,12	6,54	10,19	12,03
13	65	10	25	5,26	5,51	5,8	5,96	6,45	6,43	10,18	11,84
14	60	15		5,54	5,8	5,93	6,67	6,61	7,98	8,62	10,38
15	65	05		5,8	6,25	7,3	7,32	9,02	8,41	11,03	12,88
16	60	10	30	5,91	6,5	6,67	6,8	8,18	8,16	10,83	12,53
17	55	15		5,98	6,5	6,59	6,76	6,77	9,24	10,35	12,48
18	55	05		5,94	6,53	6,63	6,83	5,42	6,41	10,76	12,73
19	50	10	40	6,09	6,49	6,87	6,98	6,82	8,84	11,38	12,04
20	45	15		6,53	6,79	7,9	7,54	9,59	10,52	11,98	12,14
21	45	05		6,73	6,84	8,65	9,65	9,46	9,08	16,01	18,09
22	40	10	50	6,88	7,1	7,54	7,69	6,56	8,89	13,18	17,76
23	35	15		6,9	7,73	8,48	8,75	8,1	10,12	16,18	17,36

Tabela 2 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão uniaxial

Conforme observado na Tabela 2, não há uma regularidade no ganho de resistência do compósito quando se aumenta a percentagem de lodo de anodização de alumínio, porém o aumento da resistência é diretamente proporcional ao aumento do percentual de resíduo da produção de cal na maioria das composições tanto quanto o aumento de suas idades.

Segundo a ABNT 7170 (ABNT, 1983), classifica-se os tijolos maciços em três classes de resistência: Classe A < 1,5 MPa, Classe B < 2,5 MPa e Classe C < 4,0 MPa. Conforme observado na Tabela 2, os valores de resistência das composições listadas variam quanto ao tempo de cura e quanto ao teor de aglomerante. Sendo possível afirmar que o crescimento da resistência é diretamente proporcional ao aumento do percentual de resíduo de cal nas composições.

Também é possível observar na Tabela 2 que todas as composições que contém resíduos de cal (composição 3 à 23), no terceiro dia de cura a resistência ultrapassou significativamente as demandas da ABNT 7170 (ABNT, 1983) classe A. E aos 28 dias os mesmos ultrapassaram a demanda da classe C.

Outra possibilidade de comparação é com a ABNT 6136 (ABNT, 2006), que regulamenta os critérios mínimos de utilização de blocos de concreto para vedação. A norma apresenta 4 classes de resistência: Classe A $\geq$ 2,0 MPa, Classe B $\geq$ 3,0 MPa, Classe C $\geq$ 4,0 MPa e classe D $\geq$ 6,0

MPa. Pode-se observar também na Tabela 2, que as composições 9 à 11 e 14 à 23 atendem aos requisitos de classificação da Classe D, avaliadas aos 28 dias de cura.

Dentre todas as composições destaca-se a de número 17, visto que não incorpora um valor muito alto da porcentagem de RPC e sua resistência aumenta com o passar do tempo. A composição 17 foi adotada como a composição que prevalece sobre as demandas da NBR 6136 (ABNT, 2006) e NBR ABNT 7170 (ABNT, 1983), para análises na formação da composição mineralógica.

3. Conclusões

Foi experimentalmente provado que o desenvolvimento de um compósito a partir de resíduo de concreto, lodo da anodização de alumínio e resíduo da produção da cal é viável e pode ser utilizado como matéria prima em materiais de construção civil, visto que suas características e propriedades sobressaem às de demandas de Normas Brasileiras.

Foram desenvolvidos 23 composições variando os teores de RC entre 35 e 85% em peso, LAA entre 5 e 15% e de RPC entre 10 e 50%. Obteve-se valores de resistência uniaxial aos 28 dias de cura variando entre 3,81 e 8,75 MPa e em 1 ano de cura variando entre 4,53 e 18,09MPa, preponderando assim a ABNT 7170 (ABNT, 1983) que classifica os tijolos cerâmicos de classe C em até 4,0 MPa e a ABNT 6136 (ABNT, 2006) que estabelece resistências maiores que 6MPa para blocos de concreto de classe D.

Também foi observado que os valores de resistência das composições variam quanto ao tempo de cura e quanto ao teor de aglomerante. Sendo possível afirmar que o crescimento da resistência é diretamente proporcional ao aumento do percentual de resíduo de cal nas composições.

A utilização desses três resíduos industriais em substituição às matérias primas naturais é economicamente viável, devido ao baixo custo dos resíduos em comparação com as matérias-primas tradicionais.

O maior beneficiado com a aplicação dos resultados obtidos neste trabalho é o meio ambiente, considerando a real possibilidade de utilização de resíduos industriais como matéria prima, aplicando uma destinação final adequada, prevenindo uma possível contaminação ao meio ambiente e, principalmente, minimizando a extração de recursos naturais devido à utilização destes resíduos.

Referências

AL-SAYED, M. H.; MADANY, I. M.; AL-KHAJA; W. A.; DARWISH, A. A. *Properties of asphaltic paving mixes containing hydrated lime waste*. Waste Management & Research, v. 10, p. 183-194, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6453 - Cal virgem para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7170 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

BENNERT, T.; PAPP, W.J.; MAHER, A.; GUCUNSKI, N. *Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base*. J Transport Res Board 2000.

BHATTY, J. I.; GAJDA, J. *Alternative materials*. World Cem 2004; 35(12):41–8.

BRAND, A. S.; ROESLER J. R.; SALAS A. *Initial moisture and mixing effects on higher quality recycled coarse aggregate concrete*. Construction and Building Materials, v.79, p. 83-89, 2015.

BROOK, R.J. *Concise Encyclopedia of Advanced Ceramic Materials*, Pergamum Press, New York, 1991.

- CHIU, C.; STROPKY, D.** *Advanced Process Simulation and Training*, Process Simulations Ltd., Vancouver, www.psl.bc.ca, 2004
- COLONETTI, E.** Desenvolvimento de tinta inorgânica de cura fosfática a partir de resíduo de anodização de alumínio. Criciúma, SC, 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2014.
- COURARD, L.; MICHEL, F.; DELHEZ, P.** *Use of concrete road recycled aggregates for Roller Compacted Concrete*. Construction and Building Materials, v.24, p. 390-395, 2010.
- FERREIRA, J. M. F.; OLHERO, S. M.** *Al-rich sludge treatments towards recycling*. Journal of the European Ceramic Society, v. 22, p. 2243-2249, 2002.
- GARCIA, A.** *Setor de fabricação de cimento e cal*. Inspeção geral do ambiente e do ordenamento do território. Lisboa. 2008.
- GUIMARÃES, J.E.P.** *A Cal, fundamentos e aplicações na engenharia civil*. ABPC. Pini, 2002.
- OGAWA, H.; NAWA T.** *Improving the quality of recycled fine aggregate by selective removal of brittle defects*. Journal Of Advanced Concrete Technology, v.10, p. 395–410, 2012.
- LIANG, Y.; YE, Z.; VERNEREY, F.; XI, Y.** *Development of processing methods to improve strength of concrete with 100% recycled coarse aggregate*. J Mater Civil Eng 2014. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000909](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000909).
- Mineral Industry Surveys.** Disponibilizado em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/>> Acessado em setembro de 2014.
- MOHAMMED, H. A.; ISMAIL, M. M.; WAHEEB, A. K.; ABDULHANNAN, D.** *Properties of asphaltic paving mixes containing hydrated lime waste*. Waste Management & Research, v.10, p. 183-194, 1992.
- OATES, J. A. H.** *Lime and limestone, Chemistry and technology. Production and uses*, Wiley-VCH verlag GmbH, Weinheim, 1998.
- PAJUNEN, P.** *Chemical Recovery for Aluminum Finishers, Workshop on Cleaner Production in the Metal Finishing Industry*, Taipei, Taiwan, April, 1999.
- PEREIRA, D.A.; COUTO D.M.; LABRINCHA J.A.** *Incorporation of aluminium – rich residues in refractory bricks*, Ceram. Forum v.77 p. 21–25, 2002.
- PEREIRA, R. F.; HOTZA, D.; SEGADÃES A. M.; LABRINCHA J.A.** *Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products*. Ceramics International, v.32, p. 173–179, 2006.
- RIBEIRO, M. J.; LABRINCHA J.A.** *Properties of sintered mullite and cordierite pressed bodies manufactured using Al-rich anodizing sludge*. Ceramics International, v.34, p.593-597, 2008.
- RIBEIRO, M.J; TULYAGANOV D.U.; FERREIRA J.M.; LABRINCHA J.A.** *Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies*. Ceramics International, v.28, p.319-326, 2002.
- SALCUDEAN, M.; STROPKY, D.; BIBEAU, E.; YUAN, J.** *Advanced Process Modeling saves Money*, Process Simulations Limited (PSL), www.psl.bc.ca, 2004
- SARTOR, M. N.** *Utilização do resíduo de anodização do alumínio como matéria-prima para o desenvolvimento de produtos cerâmicos*. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- SILVA, R.V.; BRITO, J.; DHIR, R.K.** *Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production*. Construction and Building Materials, v.65, p. 201-217, 2014.
- SLOTTE, M.; ROMÃO, I.; ZEVENHOVEN, R.** *Integration of a pilot-scale serpentinite carbonation process with an industrial lime kiln*. Energy, Finlândia, v. 62, p. 142-149, 2013.
- STROEVEN, P.; VU, D. D.; BUI, D. D.; DONG, A. V.** *Research on cementitious materials to promote sustainable developments in Vietnam*. INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE AND DEVELOPMENT, 1, Tehran, 2001. Proceedings. Building and Housing Research Center, 2001.
- TAM, V. W. Y.; TAM, L.; LE, K. N.** *Cross-cultural comparison of concrete recycling decision-making and implementation in construction industry*. Waste Management, v.30, p. 291-297, 2010.

TOSIC, N.; MARINKOVIC, S.; DASIC, T.; STANIC, M. *Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use.* Journal of Cleaner Production, v. 87, p. 766-776, 2015.

TULYAGANOV, D.U.; OLHERO, S.M.H.; RIBEIRO, M.J.; J.M.F.; FERREIRA, J.M.F.; LABRINCHA, J.A. *Mullite-alumina refractory ceramic obtained from mixtures of natural common materials and recycled Al-rich anodizing sludge,* J. Mater. v. 10, p.311–318, 2002.



VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 06 a 08 de dezembro de 2017