

ÁREA TEMÁTICA: Ferramentas de gestão ambiental, produção mais limpa.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA PRODUÇÃO CELULOSE, CONCRETO E CAL SEM A UTILIZAÇÃO DE CIMENTO COMO AGLOMERANTE EM COMPÓSITOS

*Cleber Luis Pedroso*¹ (cleber.ped@gmail.com), *Daniela Evaniki Pedroso*² (danievaniki@hotmail.com), *Vsévolod Mymrine*¹ (seva6219@gmail.com), *Wellington Mazer*¹ (mazer.utfpr@gmail.com), *Tiago Augusto Grzybowski*² (tiagoaug@gmail.com)

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná

2 Universidade Tuiuti do Paraná

RESUMO

Este artigo tem por finalidade avaliar os resíduos oriundos de processos de produção de resíduos sólidos das indústrias da região metropolitana de Curitiba, com a finalidade de desenvolver novos materiais para construção civil através da verificação das propriedades mecânicas durante os períodos de cura de: 3, 7, 14, 21, 28, 60, 90 e 180 dias. Foram desenvolvidas 15 composições utilizando como matérias primas resíduos de concreto, resíduos da produção de celulose: dregs, grits e lama de cal e resíduos da produção da cal. Para cada composição foram moldados 40 corpos de prova com diâmetro de 20mm e altura de 20mm, com o auxílio de uma prensa manual compactado até a pressão de 10MPa, com tempo de permanência desta pressão de 30 segundos, ao todo foram moldados 600 corpos de prova. Para os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial prevaleceram às demandas das Normas Brasileiras. Dentre todas as composições destaca-se a de número 13, visto que a sua resistência supera os valores estabelecidos nas normas. Esta composição obteve resistência à compressão de 5,97MPa aos 28 dias de cura e 8,75MPa aos 180 dias de cura, também é feita uma analogia com as composições 7 e 15 que também obtiveram resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Resíduos de Concreto; Resíduos de Celulose; Resistência a Compressão.

RESISTANCE TO THE COMPRESSION OF SOLID WASTE FROM CELLULOSE, CONCRETE AND LIME PRODUCTION WITHOUT THE USE OF CEMENT AS AGLOMERANT IN COMPOSITES

ABSTRACT

The purpose of this article is to evaluate the residues from the production processes of industries in the metropolitan region of Curitiba, with the purpose of developing new materials for civil construction by verifying the mechanical properties during the curing periods of: 3, 7, 14, 21, 28, 60, 90 and 180 days. Were developed 15 compositions were developed using as raw materials concrete residues, residues from the production of cellulose: dregs, grits and lime sludge and residues from lime production. For each composition 40 specimens with 20mm diameter and 20mm height were molded with a compressed manual press up to a pressure of 10MPa, with a dwell time of this pressure of 30 seconds, in the whole were shaped 600 specimens. For the results of the tests of resistance to uniaxial compression prevailed to the demands of the Brazilian Standards. Among all the compositions stands the number 13, since its resistance exceeds the values established in the norms. This composite obtained compressive strength of 5.97MPa at 28 days cure and 8.75MPa at 180 days cure, also an analogy is made with compositions 7 and 15 which also obtained satisfactory results.

Keywords: Concrete Residues; Cellulose Residues, Compression Resistance.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama n° 307, da Gestão dos Resíduos da Construção Civil, de 5 de julho de 2002, define que os resíduos de blocos de concreto, blocos cerâmicos, tijolos, argamassas, outros componentes cerâmicos e assemelhados tenham como solução de destinação inicial, a reciclagem, de modo que seja possível o seu aproveitamento como elemento agregado para uso em pavimentos e concreto sem função estrutural. Este grupo de resíduos deve ser destinado a áreas de transbordo e triagem, áreas para reciclagem ou aterros de resíduos da construção civil licenciados pelos órgãos competentes, podendo ser reciclados e assim voltar para o ciclo de utilização na construção civil (PEDROSO D. E., 2015).

A reciclagem é frequentemente citada como a melhor maneira de gerenciar os resíduos, entretanto ainda existem vários obstáculos ao uso de 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; et al., 2014).

O resíduo de concreto (RC) é proveniente de construções, reformas, reparos e demolições de obras em concreto, o RC é resultante do processo de trituração de lajes, pilares, vigas, blocos de concretos, manilhas, pisos e outros artefatos de concreto.

A produção de agregados reciclados de concreto geralmente passa por três etapas, iniciando pela triagem com remoção de quaisquer impurezas, tais como o aço, madeira, gesso, alvenaria, vidro, plástico; em seguida por um processamento de moagem-trituração e por último por um peneiramento para determinação granulométrica do agregado. Segundo Tosic et al. (2015), durante o processamento o concreto perde 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.

Para Ogawa & Nawa (2012), as tensões de impacto causado pelo processamento do resíduo de concreto fazem com que a camada superficial fique fraca, porosa e quebradiça. O processo também deixa numerosas microfissuras, tornando o material com propriedades inadequadas para a utilização em peças estruturais, possibilitando a utilização em artefatos de concreto e mobiliário urbano para as grandes cidades (TAM et al., 2005).

O resíduo de concreto é composto de agregados naturais e argamassa aderida. As propriedades físicas dependem da qualidade e quantidade de argamassa aderida no agregado natural, ela é um material poroso e a porosidade depende da relação água/cimento (a/c) do concreto empregado o que pode levar a uma necessidade maior de água de amassamento acarretando em um a/c maior e consequentemente resistência menor (ETXEBERRIA et al., 2007).

Outras características dos agregados, tais como: seu tamanho, a máxima absorção de água, textura da superfície e forma de agregação estão diretamente associado à trabalhabilidade da composição; no caso de agregados reciclados do concreto é difícil de satisfazer a trabalhabilidade necessária comparada com o uso de agregados naturais tendo em vista a perda do abatimento devido à água de amassamento ser insuficiente ou simplesmente sugada pelo agregado reciclado, em alguns casos faz-se necessário a utilização de aditivo para reestabelecer o abatimento desejado (BEHERA et al., 2014).

Para Poon & Lam (2008), os agregados reciclados de concreto têm, em média, uma densidade de 10% menor que os agregados naturais. A maior absorção de água e diminuição da qualidade e durabilidade também são inferiores, devido à argamassa que se mantém ligada ao resíduo e ao seu processo de obtenção, gerando assim fissuras nos grãos quando comparadas com agregados naturais (DE JUAN e GUTIÉRREZ, 2009).

O resíduo da produção da cal (RPC) é resultante da má calcinação da rocha calcária, tendo em vista que a produção da cal é um processo intensivo de emissões de CO₂. É produzido 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 et al., 2013).

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).

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, constituído essencialmente da cal e elementos não calcários como: Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , entre outros, em quantidade total superior a 12% (ABNT 6453:2003).

Quanto à sua aparência, segundo Guimarães (2002), quando provém de rochas carbonatadas puras, a cal virgem é um produto inorgânico branco, podendo ainda apresentar colorações creme, amarelada e levemente cinza, o que pode indicar a presença de impurezas.

De acordo com Cincotto (1977), as principais variáveis que influem na qualidade da cal são:

Qualidade da matéria prima (características físicas e químicas), tamanho e distribuição granulométrica da pedra, velocidade de calcinação; temperatura de calcinação, duração da calcinação, tipo e qualidade do combustível, possibilidade de recarbonatação. Logo, estas variáveis afetam a possível geração do resíduo da produção de cal.

Para Pereira et al. (2008), a qualidade comercial de uma cal depende das propriedades químicas do calcário e da qualidade da queima. A cal possui propriedades de reagente químico ligante devido às inúmeras funções químicas e físico-químicas, logo tem como função principal provocar a ligação eficiente e duradoura, de blocos construtivos naturais ou artificiais (GUIMARÃES, 2002).

Os resíduos da produção de celulose: dregs, grits e lama de cal, derivam da operação de caustificação dentro do processo *Kraft* de obtenção de celulose, estes materiais estão sendo estudados em novas tecnologias com a finalidade transforma-los em insumos e subprodutos para a indústria da construção civil, bem como meios para minimizar os impactos ambientais reutilizando estes resíduos em novos processos de produção (FOELKEL, 2013).

Segundo Caux (2006), a caustificação é uma das etapas responsáveis por recuperar os reagentes utilizados na digestão da madeira Na_2S e $Na(OH)_2$, o Licor Branco, e por consequência produz os resíduos dregs e grits, que são os principais pontos de concentração de elementos, como:

Óxido de magnésio, carbonato de cálcio, sódio, magnésio orgânico, sílica, ferro, magnésio, manganês, alumínio, sulfetos e cloretos. Para Folkel (2011), o volume de resíduo sólido gerado depende do conceito e idade tecnológica da fábrica.

O dregs é um material de cor escura, pastoso e suavemente granular, removido na clarificação do licor verde Kraft. Resulta da queima incompleta do licor preto na caldeira de recuperação e da precipitação de um grande número de elementos minerais não processuais (como Al, Mg, Mn, Fe, Co, P, Si, Ca), devido às condições fortemente alcalinas que favorecem essa precipitação. São gerados na proporção de 7 a 15 kg secos/ad² polpa (Manskinen et al., 2011).

O grits é um resíduo rico em cálcio, magnésio, potássio, sódio e alumínio. Sabe-se inclusive que ele contém razoáveis quantidades do carbonato mineral precipitado conhecido como pirssonita [$Na^2CO^3 \cdot CaCO^3 \cdot 2H^2O$] Em relação ao dregs, já é um resíduo mais grosseiro, com 70% de suas partículas com dimensões entre 0,425 a 4,76mm e cerca de 10% de finos (menores que 0,075mm). Sua densidade real é praticamente a mesma do dregs, cerca de $2,66g/cm^3$. Portanto grits são partículas inertes separadas da cal durante a etapa de apagamento. O processo de apagamento inclui a mistura da cal com o licor verde ($Na_2CO_3 + Na_2S$) e a separação destas partículas. (ADAMS, 1997).

A lama de cal é extraída com aproximadamente 25% de sólidos no fluxo inferior do clarificador de licor branco. Os lodos de cal devem ser processados, separados, lavados e filtrados antes de entrar no calcinador, com o objetivo de recuperar a maior parte do licor branco que acompanha o lodo, oxidar o Na_2S residual e aumentar seu teor seco. Quando é grande a quantidade de impurezas presentes no lodo ou quando há um excesso de lodo produzido, ele não é enviado para o forno de cal, gerando assim o resíduo (PERA, 2000).

Este artigo considera a possibilidade de integrar o resíduo de concreto os resíduos da produção de celulose (dregs, grits e lama de cal) e o resíduo da produção da cal na elaboração de novos materiais sem a utilização de cimento como aglomerante, procurando indicar uma nova forma de destinação para estes materiais, tornando-os estes subprodutos em matérias primas para compósitos a serem utilizados na construção civil, podendo ser comparados de acordo com a classificação da NBR 7170:1983.

A relevância desse estudo se encontra no fato de que a economia e o meio ambiente devem andar juntos quando o assunto é a utilização de tecnologias que minimizem os impactos ao meio ambiente, logo reaproveitar os resíduos industriais empregando-os na construção civil, faz com que haja grande redução no consumo de matérias-primas naturais e energia, além de se obter um compósito com funções semelhantes a um material já existente por um valor comercial mais atrativo. Almeja-se também que este estudo venha contribuir para que seja conhecido o potencial do resíduo de concreto, resíduos da produção de celulose e o resíduo da produção da cal, em forma de compósitos podendo assim propor um material alternativo para a construção civil.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver compósitos a base de resíduos de concreto, resíduos da produção de celulose e resíduos da produção da cal, para que assim, possa ser verificado uma provável produção de novos materiais para a construção civil com características e propriedades que atendam as demandas das Normas Brasileiras, determinando assim parâmetros mecânicos dos compósitos desenvolvidos, sem no entanto, utilizar cimento como aglomerante hidráulico.

3. METODOLOGIA

A escolha dos resíduos de produção industrial fundamentou-se no princípio de que os aglomerantes reagem em ambiente alcalino, logo a escolha de um ou alguns resíduos com PH em torno de 12 ou 13, proporcionaria um ambiente propício para o resíduo de cal reagir, aumentando suas propriedades aglomerantes, tendo por definição que todo aglomerante é o material ativo, ligante, cuja principal função é formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado.

O resíduo de concreto utilizado no presente estudo possui dimensão máxima característica menor que 4,8mm, correspondente ao agregado miúdo.

Os resíduos da produção de celulose Kraft sendo eles o dregs, o grits, e a lama de cal, a quantidade coletada foi de aproximadamente 40kg de cada amostra, e por último o Resíduo de Produção de Cal (RPC) em outra fábrica também coletado aproximadamente 40kg da amostra.

O resíduo de concreto, os resíduos da produção de celulose e o resíduo da produção da cal foram coletados em empresas na região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. A utilização de resíduos da própria região foi determinada para que fosse possível acompanhar o seu processo de geração e destinação. Após a coleta das amostras representativas, realizada nas respectivas fábricas, as mesmas foram lacradas e transportadas para o laboratório da UTFPR em Curitiba

Após a pesagem dos resíduos, o material foi misturado e homogeneizado manualmente. A massa necessária para moldar os corpos de prova é 680g de material para cada composição, por meio de revolvimento manual, conferência do processo de coloração uniforme e uma constante homogeneidade na massa misturada, onde se utilizou um pistilo e um almofariz para esse fim, conforme a norma ABNT NBR 5738:2003. Foram dosadas as 15 composições variando os teores de matérias primas: resíduos de concreto de 10% a 25%, resíduos do processo de caustificação: dregs 15% a 25%, grits 15% a 25%, lama de cal de 15% a 25% e resíduo da produção de cal de 0% a 25%.

Para a moldagem fez-se uso de molde de aço com 20mm de diâmetro por 20mm de altura, onde foram inseridos 12,50g da composição para posterior compactação, garantido a uniformidade da mistura, conforme a norma ABNT NBR 5738:2003.

Após a moldagem os corpos de prova foram comprimidos em prensa manual hidráulica da marca Bovenau, modelo P10ST, com 10MPa de força por 30 segundos, foram produzidos 40 corpos de

prova, com 12,50g cada, de formato cilíndrico, com altura e diâmetro de 20 mm, em um total de 15 composições. Após serem compactados os corpos de prova foram guardados em bandejas plásticas, a uma temperatura ambiente e livre de intempéries até a data dos respectivos ensaios conforme norma ABNT NBR 5738:2003.

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial foram realizados no laboratório de materiais da UTFPR - Curitiba - PR, conforme a NBR 5739:2007. As máquinas utilizadas para o rompimento das amostras foram do fabricante EMIc.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os compósitos desenvolvidos com os resíduos aqui estudados seguiram as premissas da norma ABNT NBR 5738:2003, no qual se destacam os processos de dimensão dos agregados, homogeneização das misturas e cura dos corpos de prova.

Os ensaios de resistência à compressão uniaxial foram realizados conforme a ABNT NBR 5739:2007, com equipamento da marca EMIc, modelo DL 30000, capacidade máxima de 300 KN, com rótula, que comprimiu os corpos de prova a 2mm/min. por meio do software Tesc foram observados: a força máxima em newton (n), a tensão em megapascal (MPa), onde se obteve os valores de resistência a compressão das amostras.

Os resíduos de celulose são definidos como agregado miúdo, conforme especificação da ABNT NBR 7211:2009, no qual a lama de cal possui módulo de finura de 4,11, o dregs 4,53 e o grits 9,21. A lama de cal, assim como, o dregs possui maior percentual de material retido acumulado na granulometria eletrônica laser Cilas 1064, com abertura de 0,010mm, onde acumularam 33,00% e 27,00% das massas analisadas, respectivamente. Já o grits possui maior percentual retido acumulado na peneira Bertel com abertura de 4mm, onde acumulou 20,03% da massa.

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 e 365 dias.

Tabela 1 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão uniaxial

Nº	Composições, %					Resistência à compressão uniaxial (MPa)/dias de cura								
	R.C.	Dregs	Grits	Lama de Cal	R.P.C.	3	7	14	21	28	60	90	180	365
1	25	25	25	25	0	1,69	1,71	1,67	1,73	2,00	2,14	2,31	3,02	3,55
2	15	25	25	25	10	0,93	0,96	1,04	1,65	2,30	4,86	5,07	5,65	5,83
3	20	20	20	25	15	1,02	0,81	0,97	1,38	1,65	2,55	4,25	4,75	5,21
4	20	20	25	20	15	2,53	2,66	2,93	3,12	3,27	4,48	5,98	6,12	6,65
5	20	25	20	20	15	1,33	2,65	2,60	2,67	2,90	4,92	5,36	5,84	6,59
6	15	20	25	25	15	0,99	1,72	1,97	2,19	2,34	3,17	5,74	6,03	7,52
7	20	20	20	20	20	1,81	2,68	3,06	3,14	3,25	4,47	6,59	7,91	8,55
8	10	20	25	25	20	1,96	2,53	2,96	2,87	2,92	3,50	6,51	6,80	7,68
9	10	25	20	25	20	1,57	2,67	2,78	2,82	2,97	3,96	6,86	7,03	7,83
10	10	25	25	20	20	1,40	2,50	2,60	2,67	2,82	3,60	5,76	6,35	7,33
11	15	20	20	25	20	2,78	3,19	3,12	3,20	3,35	3,56	6,13	6,47	7,95
12	15	20	20	20	20	2,72	3,35	3,40	3,36	3,12	2,88	6,25	6,61	7,71
13	20	15	20	20	25	4,81	3,63	3,73	4,25	5,97	6,86	7,45	8,75	9,61
14	20	20	15	20	25	2,30	3,15	3,37	3,41	3,39	4,24	6,45	6,50	7,40
15	20	20	20	15	25	4,01	4,15	4,35	4,60	4,75	5,70	7,27	7,80	8,22

Conforme Tabela 1, podemos observar as três composições que obtiveram as maiores resistências sendo elas a 7, 13 e 15, percebe-se que a percentagem do RC e do grits é o mesmo, ainda é possível observar uma leve tendência para o aumento resistência quando a percentagem de RPC é maior entre estas três composições comparadas.

Porém não é possível observar uma regularidade no ganho de resistência do compósito quando se aumenta a percentagem dos resíduos da produção de celulose tendo em vista que composições com percentagens maiores que 20% o resultado não foi muito satisfatório e ficaram bem abaixo das composições 7, 13 e 15.

Atenção especial merece ser dada a composição 13, a qual obteve um ganho constante de resistência com o aumento de suas idades de cura.

Segundo a NBR 7170:1983, que classifica os tijolos maciços em três classes: Classe A > 1,5MPa; Classe B > 2,5MPa e; Classe C > 4,0MPa. Conforme observado no quadro acima 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 que entre as quatorze composições que contém resíduos de cal, em nove constatou-se que no terceiro dia de cura a resistência ultrapassou significativamente as demandas da NBR 7170:1983 classe A. E que aos 28 dias três composições ultrapassaram a demanda da classe C, sendo elas a 7, 13 e 15.

Outra possibilidade de comparação é com a NBR 6136:2006 que regulamenta os critérios mínimos de utilização de blocos de concreto para vedação. A norma apresenta 4 classes de resistência: Classe A \geq 2,0MPa, Classe B \geq 3,0MPa, Classe C \geq 4,0MPa e classe D \geq 6,0MPa. Pode-se observar na Tabela 2, que a composição 13 atende aos requisitos de classificação da Classe D, avaliadas aos 28 dias de cura.

Dentre todas as composições destaca-se a de número 13, visto que não incorpora um valor muito alto da porcentagem de RPC e sua resistência aumenta com o passar do tempo. A composição 13

foi adotada como a composição que prevalece sobre as demandas da NBR 6136:2006 e NBR 7170:1983.

5. CONCLUSÃO

Foi experimentalmente provado que os compósitos de resíduo de concreto, resíduos da produção de celulose e resíduo da produção da cal podem ser utilizados como matérias primas de materiais de construção civil com características e propriedades superiores às de demandas de Normas Brasileiras. Os valores de resistência uniaxial aos 3 dias de cura variam entre 0,91 a 4,81MPa, aos 7 dias de cura variam entre 0,96 a 4,63MPa, aos 28 dias de cura variam entre 2,00 a 5,97MPa e aos 180 dias de cura variam entre 3,02 a 8,75MPa. A explicação do ganho de resistência das amostras se dá pela síntese de materiais amorfos de sol-gel em espaço poroso das amostras entre núcleos das partículas sólidas, forte ligação destes núcleos e uma transição lenta de gel em estado sólido através de reações de sinerese (envelhecimento) do gel (MYMRINE, 1981).

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.

Neste artigo os materiais trabalhados são rejeitos industriais, não são materiais com valor agregado como, por exemplo, o cimento ou agregados naturais extraído diretamente das jazidas, por isso não é possível fazer uma comparação de destes rejeitos com materiais e agregados naturais.

Os resíduos aqui estudados com suas respectivas composições não são para fins estruturais e sim para primeiramente resolver um problema ambiental das indústrias e da sociedade, podemos utilizá-los em artefatos de concreto, em blocos de concreto e em mobiliário urbano.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, T.N. Kraft Recovery Boilers, Tappi press, AF&PA, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 - Concreto - Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7211 – Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- BEHERA M.; BHATTACHARYYA S.K.; MINOCHA A.K.; R. MAITI D.S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. Construction and Building Materials, v.68, p. 501-516, 2014.
- CAUX, L. S. Análise de Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos da Indústria de Celulose KRAFT na produção de corpos cerâmicos. Coronel Fabriciano, MG: UNILESTE – MG, 2006, 74 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, 2006.
- CINCOTTO, M. A. Estudo da composição química da cal hidratada produzida no estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Ciências, São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1977.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002. Dispõe diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Publicada no DOU no 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, páginas 95-96.

- DE JUAN M. S.; GUTIÉRREZ P. A. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, v.23, p. 872-877, 2009.
- ETXEBERRIA M.; VÁZQUEZ E.; MARÍ A.; BARRA M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, v.37, p. 735-742, 2007.
- FOELKEL, C. Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose KRAFT de eucalipto. Parte 05: Resíduos Minerais. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 2011.
- FOELKEL, C. Aspectos Práticos e Conceituais sobre a Fabricação de Celulose de Mercado do Tipo Kraft Branqueada a Partir de Madeira de Eucalipto. Capítulo 31: O Processo Kraft de Fabricação de Celulose. Eucalyptus Online Book, 2013.
- GARCIA, A. Fabricação de cimento e cal. Inspeção geral. Lisboa. 2008.
- GUIMARÃES, J.E.P. – A Cal, fundamentos e aplicações na engenharia civil. ABPC. Pini, 2002.
- MANSKINEN, K.; NURMESNIEMI, H.; PÖYKIÖ, R. Total and extractable non-process elements in green liquor dregs from the chemical recovery circuit of a semichemical pulp mill, *Chem. Eng. J.* 166 (2011) 954–961.
- MYMRINE, V. The influence of loading on the structure and properties of ashes. *Proceedings of Warsaw University, Bulletin of Geology, Warsaw, Poland*, v. 24, p. 183-196, 1981.
- MONTE M.C; FUENTE, E.; BLANCO, A.; NEGRO, C. Waste management from pulp and paper production in the European Union, *Waste Manage. (Oxford)* 29 (2009) 293–308.
- OATES J. A. H. Lime and limestone, Chemistry and technology. Production and uses, Wiley-VCH verlag GmbH, Weiheim, 1998.
- 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.
- PEDROSO D. E. Compósitos a base de resíduos de concreto, lodo da anodização de alumínio e resíduos de produção da cal, 2015.
- PERA, J., AMBROISE, J. Recycling of paper sludge in building materials. *Proceedings of the Construction and Environment: Theory into Practice*. São Paulo, SP: Brazil, 2000, Nov. 23-24, 113.
- PEREIRA R. F.; BALL R. J.; ROCHA J.; LABRINCHA J.A.; ALLEN G. C. New waste based clinkers: Belite and lime formulations. *Cement and Concrete Research*, v. 38, p. 511-521, 2008.
- POON C. S.; LAM C. S. The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. *Cement and Concrete Composites*, v.30, p. 283-289, 2008.
- SALCUDEAN, M.; STROPKY, D.; BIBEAU, E.; YUAN, J. (2004), *Advanced Process Modeling saves Money*, Process Simulations Limited (PSL), www.psl.bc.ca
- 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.
- TAM V. W. Y.; GAO X.F.; TAM C.M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, v. 35, p. 1195-1203, 2005.
- 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.