

PRODUÇÃO DE ELEMENTOS VAZADOS UTILIZANDO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO TIPO CLASSE A

Nathália Maria Araújo MARQUES¹

1. Bacharel em Engenharia Civil, UNIR, Bolsista DTI junto a Fundação Parque Tecnológico de Itaípu, Foz do Iguaçu/PR/Brasil – nathalia.m.a.marques@gmail.com

Recebido em: 05 dez. 2018 - **Aceito em:** 10 fev. 2019

RESUMO: O setor da construção civil se tornou um dos maiores responsáveis pelo desperdício de materiais após deixar de ser autoprodutivo e passar a ter uma indústria fornecedora. Este trabalho objetiva a produção de elementos vazados a partir de resíduos da construção civil, especificamente resíduos do tipo Classe A. Na busca por mitigar o impacto causado pela geração desses resíduos, reinserindo-os no mesmo mercado, por meio de alternativas sustentáveis. A partir de um estudo do cenário atual, com ênfase na cidade de Porto Velho/RO, foram coletados dois tipos de resíduos Classe A, caracterizados e comparados ao agregado miúdo natural (areia). O traço recomendado em bibliografia para confecção de elementos vazados foi ajustado e adotado como referência (1:2,75:0,5). As porcentagens de substituição de agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado (resíduo Classe A) estabelecidas foram de 10%, 20%, 30% e 40%. Após os ensaios nos estados fresco e endurecido e avaliação dos resultados, foram confeccionados dois elementos vazados, com os traços que obtiveram melhor resultado (TA20% e TB20%), conferindo a viabilidade de serem confeccionados com argamassa reciclada.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos. Elementos vazados. Sustentável.

INTRODUÇÃO

A construção civil utiliza processos de produção de cunho artesanal desde o início do seu desenvolvimento. No século XIX a construção se caracterizava basicamente pela autoprodução, edificações residenciais urbanas e rurais e em virtude disso não havia um mercado responsável pela produção de materiais de construção e dessa forma utilizavam os materiais disponíveis nas localidades para fins construtivos (SOUZA *et al.*, 2015).

As primeiras empresas de construção só foram surgir entre cerca de 1850 e 1930, trazendo modificações importantes e consideráveis para a evolução e desenvolvimento deste setor. Houve maior incidência do êxodo rural (migração do campo para as grandes cidades) e o desenvolvimento dos meios de transporte, como por exemplo, as ferrovias e portos (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

Com o aumento da população, houve a necessidade de investimentos na construção de casas populares, para atender a demanda habitacional. A indústria da construção civil é um setor que utiliza uma grande quantidade de recursos naturais e simultaneamente gera um grande índice de desperdício de materiais, próximo aos 30% (ZORDAN, 1997).

Levando em conta que o impacto ambiental ocorre por atividades humanas e que levam às alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, os resíduos são um potencial agente de degradação ambiental (NAGALLI, 2014).

Unindo a grande geração de resíduos com a preocupação ambiental em diminuir essa grande quantidade de resíduos, faz-se necessário buscar alternativas para atenuar esses problemas. Existem possibilidades para consolidar essas alternativas, diminuindo a geração de resíduos propriamente ou reinserindo na própria obra, reutilizados ou reciclados.

Considerando que os elementos vazados estão retornando ao mercado com mais funcionalidades e são utilizados na divisão de cômodos, residenciais e comerciais, permitindo a passagem de luz e ventilação natural entre os cômodos, desse modo são por natureza produtos que possuem uma parcela de preocupação com o meio ambiente. Surge então a questão sobre a possibilidade de se utilizar os resíduos da construção civil na forma de agregados reciclados para fabricação desses elementos vazados, avaliando o processo de produção e o produto obtido.

Desse modo o trabalho tem por objetivo avaliar a produção dos elementos vazados utilizando resíduos da construção civil do tipo Classe A – de construção, demolição, reformas e reparos de edificações, a partir da caracterização dos agregados reciclados utilizados, confecção do traço, avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido, realização de ensaios mecânicos nos corpos de prova e, por fim, da confecção dos elementos vazados.

Em atendimento aos princípios dos 5 Rs da sustentabilidade (repensar, reduzir, recusar, reutilizar e reciclar) que prioriza a redução do consumo e o reaproveitamento de materiais, a produção dos elementos vazados com os resíduos da construção civil do tipo Classe A está inserida nesse contexto, permitindo a redução da geração dos resíduos da construção civil reaproveitando estes na produção dos elementos vazados.

A Indústria da Construção Civil (ICC) compõe uma das 20 atividades econômicas que subdividem os três grandes setores (agropecuária, indústria e serviços) que agregam valores para o cálculo do Produto Interno Bruto (PIB) (SOUZA *et al.*, 2015).

O PIB “é uma medida do valor dos bens e serviços que o país produz num período, na agropecuária e serviços” e tem por objetivo “medir a atividade econômica e o nível de riqueza de uma região”. (COTARELLI *et al.*, 2013, p. 1).

Conforme Nagalli (2014, p. 5) “cerca de 15% do PIB brasileiro é do setor da construção, o que o torna um dos mais importantes ramos de produção do país”.

Segundo o IBGE (2009), a região norte contribui para o PIB da Construção Civil em 7,1%. Em Rondônia, a atividade de Construção Civil teve um crescimento de 23% em virtude dos investimentos em infraestrutura com as obras das duas hidrelétricas (Jirau e Santo Antônio) (IBGE, 2009).

A Indústria da Construção Civil é caracterizada pelo grande consumo de parte dos recursos naturais disponíveis, por exigir excessiva mão de obra e por desencadear um complexo processo produtivo (SOUZA *et al.*, 2015).

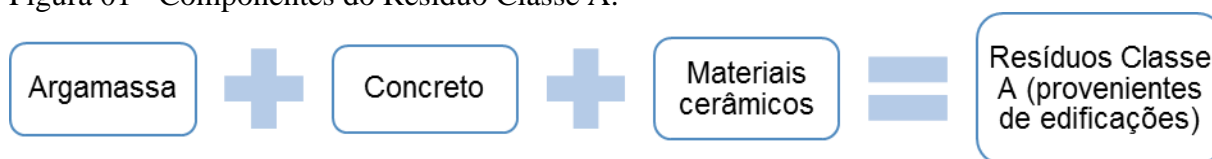
Além do grande consumo dos recursos naturais, outra questão relevante do setor são as falhas, desde o gerenciamento da obra, assim como a baixa produtividade e as perdas de tempo e de materiais, contribuindo significativamente no índice de desperdício, próximo aos 30% (ZORDAN, 1997).

Nesse contexto, a geração de resíduos proveniente de perdas de materiais, entre outros fatores, está intimamente relacionada ao setor da construção civil, e é um fator que não pode ser desconsiderado na atualidade, visto que estes resíduos geram impactos negativos ao meio-ambiente.

De acordo com a resolução nº 307 (e suas alterações) do CONAMA (2002, p. 1) resíduos da construção civil são aqueles comumente chamados de entulhos, como por exemplo: tijolos, concreto, colas, tintas, madeira, argamassa, gesso, tubulação e etc.

Ainda de acordo com a resolução nº 307 (e suas alterações) do CONAMA (2002, p. 3), os resíduos da construção são divididos em resíduos de classes A, B, C e D, conforme sua composição. O resíduo classe A, especificamente, são aqueles que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados, oriundo de reformas, reparos, demolição e construção de edificações (argamassa, concreto e materiais cerâmicos) (Figura 01).

Figura 01 - Componentes do Resíduo Classe A.

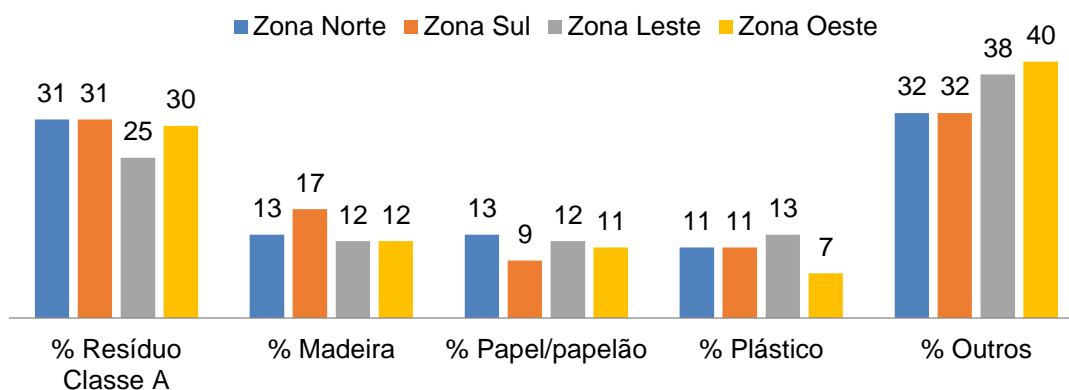


Fonte: Própria autora, 2017.

O que diferencia as características de cada resíduo geralmente está relacionado com o processo construtivo que dará origem ao material. A maioria dos resíduos é constituída por argamassa e concreto, já que o sistema construtivo de estruturas de concreto e revestimentos argamassados é o que predomina no Brasil (NAGALLI, 2014).

A partir de um levantamento acerca de obras em andamento na cidade de Porto Velho/RO realizado por Pimenta e Schroder (2011) foi possível comparar a porcentagem de ocorrência de cada tipo de resíduo de acordo com a zona em que se encontra (Figura 02).

Figura 02 - Porcentagem de ocorrência de cada tipo de RCC em Porto Velho/RO.



Fonte: Adaptado de Pimenta e Schroder (2011, p. 3-5).

A análise dos dados apresentados permite verificar que no município de Porto Velho a geração de resíduos do tipo Classe A é predominante e em torno dos 30% de todo o resíduo gerado nas obras verificadas.

Levando em consideração que os resíduos se originam de outros materiais, é importante defini-los para melhor entendimento. Desse modo, os componentes cerâmicos são todos aqueles elementos fabricados basicamente por argila, moldados por extrusão e posteriormente queimados a uma temperatura por volta dos 800 °C e como exemplos comumente utilizados estão inclusos os tijolos e as telhas.

Já a argamassa, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005, p. 2), caracteriza-se como uma “mistura homogênea de agregado (s) miúdo (s), aglomerante (s) inorgânico (s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

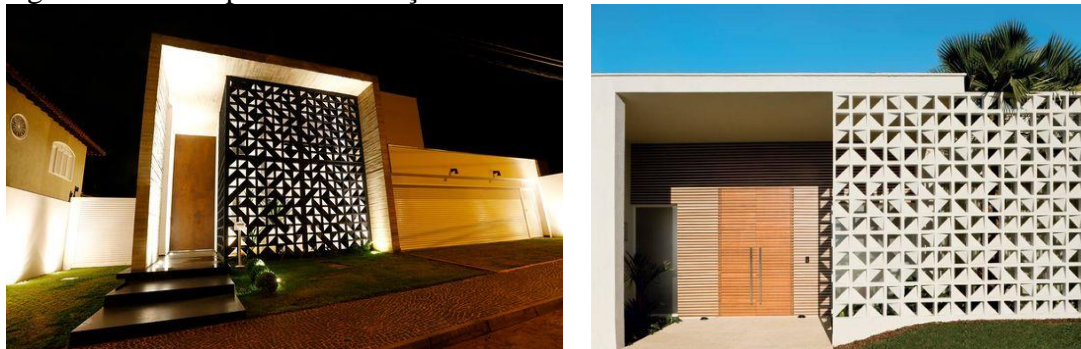
E o concreto, de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015, p. 3), consiste em um “material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água)”.

O Resíduo Classe A abrange esses materiais, que são comumente abundantes e podem ser reutilizados na forma de agregado reciclado para confecção de elementos vazados, que por sua vez, são elementos pré-fabricados perfurados que permitem a passagem de ventilação e iluminação natural.

Estes elementos vazados estão retornando ao mercado atual com a finalidade de serem mais funcionais e com preocupações relacionadas às questões ambientais. É utilizado tanto em fachadas (Figura 03) quanto em interiores, na divisão de cômodos, residenciais e

comerciais, de modo sofisticado e permitindo a interação de luz e ventilação entre os cômodos (BORGES, 2015).

Figura 03 - Exemplos de utilização de elementos vazados em fachadas.



Fonte: GPS Brasília Design, *website* (2015); Casa Abril, *website* (2016).

Os elementos vazados fabricados com resíduos da construção civil, do tipo Classe A, na forma de agregado miúdo, possibilita, portanto, o desenvolvimento sustentável na construção civil em virtude da reutilização desses resíduos para produção de elementos pré-fabricados que podem ser utilizados na própria obra. Estes elementos possibilitam a passagem de luz e ventilação entre ambientes, bem como a sofisticação e embelezamento do local.

MATERIAL E MÉTODO

A metodologia foi desenvolvida parte de forma bibliográfica, para embasamento teórico dos procedimentos, e parte de forma experimental por meio de ensaios em laboratório.

Quanto à parte experimental, primeiramente foi realizada a coleta e aquisição dos materiais a serem utilizados, com a finalidade de restringir as amostras e ter maior controle a respeito de suas características, com base nas suas origens, podendo possibilitar a justificativa para o desempenho das argamassas de cada traço de substituição para a concepção de um elemento vazado.

A água utilizada na preparação da argamassa foi de abastecimento público, atendendo aos requisitos da NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

O cimento utilizado foi o CP IV-32, da marca Votorantim, comprado no mercado local da cidade de Porto Velho/RO. Não foram realizados ensaios de caracterização específica do cimento utilizado, entretanto as características fornecidas na embalagem do cimento atendem aos requisitos da NBR 5736 (ABNT, 1999) – Cimento *Portland* Pozolânico. Esse tipo de cimento é recomendado para elementos pré-moldados e artefatos de cimento.

Todos os agregados usados em argamassa e concreto de cimento *Portland* devem cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009).

A areia é um tipo de agregado natural, granular, resultante de agentes da natureza. É classificada como agregado miúdo, de acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), os grãos que “passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, atendidos os requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009)”. A areia utilizada foi coletada nas proximidades do laboratório de Engenharia Civil da Universidade, onde estava sendo realizada a construção do bloco de Engenharia Elétrica.

Os resíduos que foram utilizados nos ensaios foram coletados na *PRS Recicladora*, empresa localizada na cidade de Porto Velho/RO, especializada na reciclagem de Resíduos da Construção Civil.

Figura 04 - Fotografia panorâmica do pátio da empresa PRS Recicladora.



Fonte: Acervo pessoal, registro fotográfico realizado em: 05 abr. 2017.

Deste material coletado foi realizada uma triagem, para garantir que estivesse apenas resíduos de argamassa, concreto e materiais cerâmicos. Estes foram acondicionados separadamente conforme sua composição: “compostos por argamassa e concreto” (Figura 05a) identificado como RCA-A e “compostos por argamassa, concreto e materiais cerâmicos” (Figura 05b) identificado como RCA-B e protegidos da ação de intempéries.

Como existem dois tipos de Resíduo Classe A, foi importante a caracterização desses dois materiais, para verificar qual obteria melhor desempenho quando fosse feita a substituição na preparação da argamassa para confecção dos elementos vazados.

Figura 05 - Resíduos Classe A utilizados (a) RCA-A; b) RCA-B).



Fonte: Própria autora, 2017.

Tanto para o agregado natural, quanto para o agregado reciclado, foram realizados os ensaios de caracterização elencados a seguir:

- a) Caracterização granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo característico, NBR NM 248 (ABNT, 2003);
- b) Absorção de água, conforme orientações da NBR NM 30 (ABNT, 2001);
- c) Massa específica e massa específica aparente, NBR NM 52 (ABNT, 2009);
- d) Massa unitária e volume de vazios, NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- e) Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem, NBR NM 46 (ABNT, 2003);
- f) Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis, NBR 7218 (ABNT, 2010);
- g) Determinação do grau de impurezas orgânicas, NBR NM 49 (ABNT, 2001);

O traço selecionado para formulação da argamassa foi o mais usual citado nas literaturas como, por exemplo, o que é recomendado no Fascículo 05 da série Mão na Massa (GIL; SARTORI; FERREIRA, 2008), como sendo de 1:3:0,5 (cimento, areia, água). Após correção em laboratório, o traço de referência adotado foi definido na proporção em volume de 1:2,75:0,5 (cimento, areia, água), em virtude dos ensaios de caracterização previamente realizados, visando melhor desempenho na trabalhabilidade da argamassa.

Foram adotadas as porcentagens de substituição do agregado natural (areia) pelo agregado reciclado (resíduo Classe A) nas porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40%.

Nos quadros 01, 02 e 03 pode-se observar a nomenclatura adotada, a representação em porcentagem da presença do material no traço e a quantidade de cada material necessário para confecção dos corpos de prova, para todos os traços.

Quadro 01 - Traço de Referência (1 : 2,75 : 0,5)

Nomenclatura	Representação em % da presença do material no traço				Quantidade de cada material (g)				Total de corpos de prova por traço
	Cimento	Areia	Resíduo Classe A	Água	Cimento	Areia	Resíduo Classe A	Água	
Tref	100	100	0	100	1138,5	3127,5	0	569,3	9

Fonte: Própria autora, 2017

Quadro 02 - Traço com substituição por resíduo Classe A, composto por argamassa e concreto (RCA-A) (1: 2,75 : 0,5).

Nomenclatura	Representação em % da presença do material no traço				Quantidade de cada material (g)				Total de corpos de prova por traço
	Cimento	Areia	Resíduo Classe A	Água	Cimento	Areia	Resíduo Classe A	Água	
TA10%	100	90	10	100	1138,5	2814,8	312,8	569,3	9
TA20%	100	80	20	100	1138,5	2502,0	625,5	569,3	9
TA30%	100	70	30	100	1138,5	2189,3	938,3	569,3	9
TA40%	100	60	40	100	1138,5	1876,5	1251,0	569,3	9

Fonte: Própria autora, 2017

Quadro 03 - Traço com substituição por resíduo Classe A, composto por argamassa, concreto e materiais cerâmicos (RCA-B) (1 : 2,75 : 0,5).

Nomenclatura	Representação em % da presença do material no traço				Quantidade de cada material (g)				Total de corpos de prova por traço
	Cimento	Areia	Resíduo Classe A	Água	Cimento	Areia	Resíduo Classe A	Água	
TB10%	100	90	10	100	1138,5	2814,8	312,8	569,3	9
TB20%	100	80	20	100	1138,5	2502,0	625,5	569,3	9
TB30%	100	70	30	100	1138,5	2189,3	938,3	569,3	9
TB40%	100	60	40	100	1138,5	1876,5	1251,0	569,3	9

Fonte: Própria autora, 2017

Foram confeccionados ao todo 9 corpos de prova para cada traço anteriormente descrito, em atendimento às recomendações das normas e seus respectivos ensaios, descritos no Quadro 04.

Quadro 04 - Quantidade de corpos de prova por ensaio.

ABNT NBR	Ensaio	Nº corpos de prova
7215 (1997)	Resistência à compressão axial – 7 dias	03
7215 (1997)	Resistência à compressão axial – 28 dias	03
9778 (2009)	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	03

Fonte: Própria autora, 2017

Posteriormente a argamassa foi elaborada, a partir da pesagem dos materiais e em seguida feita a mistura em uma bateadeira com capacidade para 3 litros, em virtude da quantidade do material ser insuficiente para ser misturado em betoneira e da ausência do misturador mecânico no laboratório da Universidade. Os materiais foram inseridos na bateadeira, respeitando a ordem: 100% do agregado miúdo (areia e nos traços de substituição também o resíduo Classe A), 100% do aglomerante (cimento), 50% da água e o restante dos 50% de forma gradual, até a homogeneização dos componentes.

Durante a confecção das argamassas houve a necessidade de ajustar a relação água/cimento dos traços com 30% e 40% de substituição parcial de resíduo Classe A (para

ambos resíduos), em razão da má trabalhabilidade em que se encontrava a argamassa, portanto o novo traço correspondente foi o de 1 : 2,75 : 0,6.

Após a confecção das argamassas foram aferidas suas propriedades no estado fresco quanto à trabalhabilidade, consistência e plasticidade.

A confecção dos corpos de prova foi feita de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997), utilizando moldes cilíndricos de PVC (material não absorvente e não reagente com a argamassa), de dimensões 50 x 100 mm. Os moldes foram revestidos com óleo mineral e inseriu-se as argamassas em 3 camadas golpeadas manualmente 25 vezes cada uma.

A cura inicial dos corpos de prova foi realizada nas primeiras 24 horas, sobre uma superfície horizontal, livre de vibrações e após esse período os corpos de prova foram desmoldados, identificados conforme nomenclatura estabelecida previamente para então serem colocados em tanque de cura, conforme a NBR 9479 (ABNT, 2006).

Também foram avaliadas as propriedades no estado endurecido, quanto à resistência à compressão axial, NBR 7215 (ABNT, 1997), sendo adotadas as idades dos corpos de prova para realização do ensaio de 7 e 28 dias. E também quanto à absorção de água, índice de vazios e massa específica, NBR 9778 (ABNT, 2009).

Por fim, a confecção do elemento vazado propriamente dito foi realizada após todos os ensaios de caracterização e avaliação dos resultados, para serem utilizados os traços que obtiveram melhor desempenho na resistência à compressão axial aos 28 dias.

A forma utilizada foi fornecida por uma empresa de fabricação de artefatos pré-moldados do comércio local da cidade de Porto Velho/RO e tinha dimensões de 23 x 23 x 10 cm, conforme Figura 06.

Figura 06 - Forma utilizada para confecção dos elementos vazados.



Fonte: Própria autora, 2017.

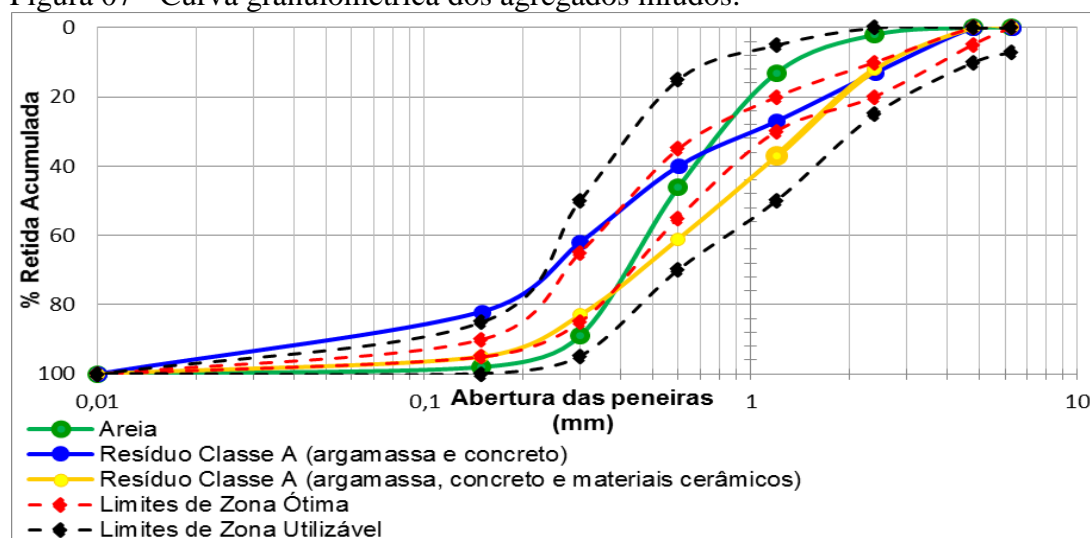
Os elementos vazados depois de confeccionados foram desmoldados após 24 horas e então submetidos à cura úmida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização dos materiais é importante para buscar compreender o comportamento destes ao serem empregados na confecção das argamassas. A verificação dos resultados inicia-se pela análise granulométrica.

A composição granulométrica dos três agregados pode ser representada através do gráfico da composição granulométrica, conforme as recomendações da NBR 248 (ABNT, 2003) (Figura 07).

Figura 07 - Curva granulométrica dos agregados miúdos.



Fonte: Própria autora, 2017.

De acordo com a tabela de limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), todos estão dentro dos limites de zona utilizável, sendo o RCA-A o que ficou mais próximo à zona ótima de utilização do agregado miúdo.

Importante salientar que, apesar de possuírem características semelhantes entre si quanto à granulometria, o agregado reciclado (Classe A) composto por argamassa e concreto (RCA-A) apresentou porcentagem de finos (20% retido na peneira de 0,15 mm) superior à porcentagem de finos dos outros dois materiais, resultado este confirmado ao se comparar os módulos de finura obtidos para cada agregado miúdo, já que quanto menor o módulo de finura, mais fino é o material.

Entre os resultados das demais características dos agregados, presentes no Quadro 05, merecem atenção a massa específica e a absorção de água, pois influenciam diretamente na trabalhabilidade e resistência, conforme citam alguns autores como, por exemplo, Ângulo (2005), Mehta & Monteiro (1994).

De acordo com Barra (1996) a quantidade de água absorvida depende de diversos fatores como, por exemplo, a umidade inicial do agregado, tempo em que o material permanece em contato com a água, etc.

A absorção de água (Quadro – item c) foi menor na areia (0,28) do que nos resíduos Classe A (RCA-A e RCA-B), coeficiente este que confere com os resultados do módulo de finura de cada um, estando, portanto, diretamente relacionados. Esse índice é importante na caracterização, pois interfere na relação água/cimento das misturas das argamassas e consequentemente na trabalhabilidade.

Quadro 05 - Características físicas dos agregados.

Item	Ensaio	ABNT NBR (normas)	Resultado recomenda do por norma	Areia	Resíduo Classe A (RCA-A)	Resíduo Classe A (RCA-B)
a	Módulo de finura	NM 248:2003	Zona ótima: 2,20 a 2,90	2,48	2,24	2,88
b	Diâmetro máximo característico (mm)	NM 248:2003	Para agregado miúdo: 2,4	2,4	2,4	2,4
c	Absorção de água (%)	NM 30:2001	-	0,28	4,56	2,64
d	Massa específica (g/cm ³)	NM 52:2009	-	2,808	2,657	2,476
e	Massa específica aparente (g/cm ³)	NM 52:2009	-	2,784	2,367	2,253
f	Massa unitária (kg/m ³)	NM 45:2006	-	1554,028	1071,035	1175,466
g	Índice de volume de vazios (%)	NM 45:2006	-	99,945	99,960	99,952
h	Material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem (%)	NM 46:2003	3 a 5%	18,508	33,403	29,697
i	Teor de argila em torrões e materiais friáveis (%)	7218:2010	< 3%	1,03	6,43	14,21
j	Impurezas orgânicas (ppm)	NM 49:2001	< 300	< 300	< 300	< 100

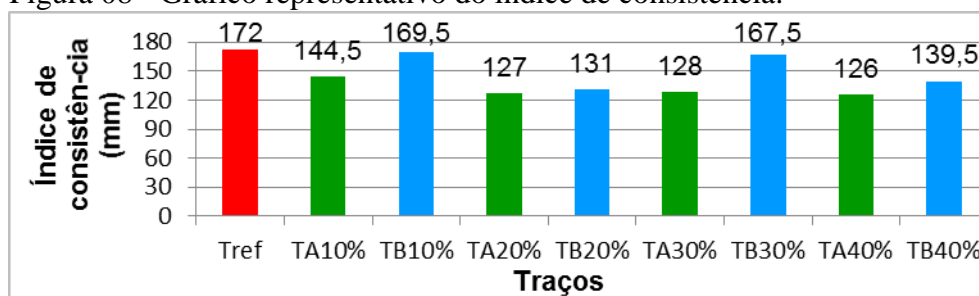
Fonte: Própria autora, 2017.

Em relação à massa específica (Quadro 05 – item d) a areia apresentou maior valor quando comparado aos resíduos Classe A (RCA-A e RCA-B). Essa informação juntamente com a de absorção de água demonstra que os agregados reciclados possuem elevada porosidade. Para a massa específica aparente (Quadro 05 – item e) e massa unitária (Quadro 05 – item f) a areia também foi o agregado que obteve maior resultado.

Já quanto às propriedades no estado fresco estas são importantes para avaliar a viabilidade de utilização dos Resíduos Classe A em substituição parcial ao agregado natural (areia), principalmente em relação à trabalhabilidade.

O procedimento para o ensaio da consistência foi realizado logo após a formulação da argamassa, conforme recomendado na NBR 13276 (ABNT, 2016) (também presente no Anexo B – informativo – da ABNT NBR 7215:1997). De acordo com essa mesma norma, o índice de consistência deve resultar entre 230 e 260 mm, entretanto essa norma refere-se à argamassa para assentamento e revestimento. Contudo, sendo ausente uma norma específica de índice de consistência de argamassa para confecção de elementos vazados e levando em consideração que de acordo com o traço encontrado em bibliografia e adotado (de consistência seca), o resultado do ensaio já era esperado, conforme Figura 08.

Figura 08 - Gráfico representativo do índice de consistência.



Fonte: Própria autora, 2017.

O que pode ser observado é que o índice de consistência reflete os resultados de absorção de água dos agregados utilizados, visto que a areia possui menor porcentagem de absorção de água e consequentemente melhor resultado no índice de consistência, assim como o RCA-A (Figura 08 – barras verdes) possuiu maior porcentagem de absorção de água e consequentemente resultado inferior no resultado do índice de consistência.

Conforme aumentou-se a porcentagem de substituição de resíduo Classe A em cada traço, o índice de consistência diminuiu. Resultado este que pode ser observado na trabalhabilidade da argamassa, uma vez que foi necessário fazer ajustes na relação água/cimento de 0,5 para 0,6 nos traços de 30% e 40% de substituição. Este ajuste na relação água/cimento para melhorar a trabalhabilidade da argamassa também refletiu no índice de consistência, visto que houve um leve aumento quando feita a comparação entre os traços de 20% e 30% de substituição tornando a diminuir nos 40% de substituição.

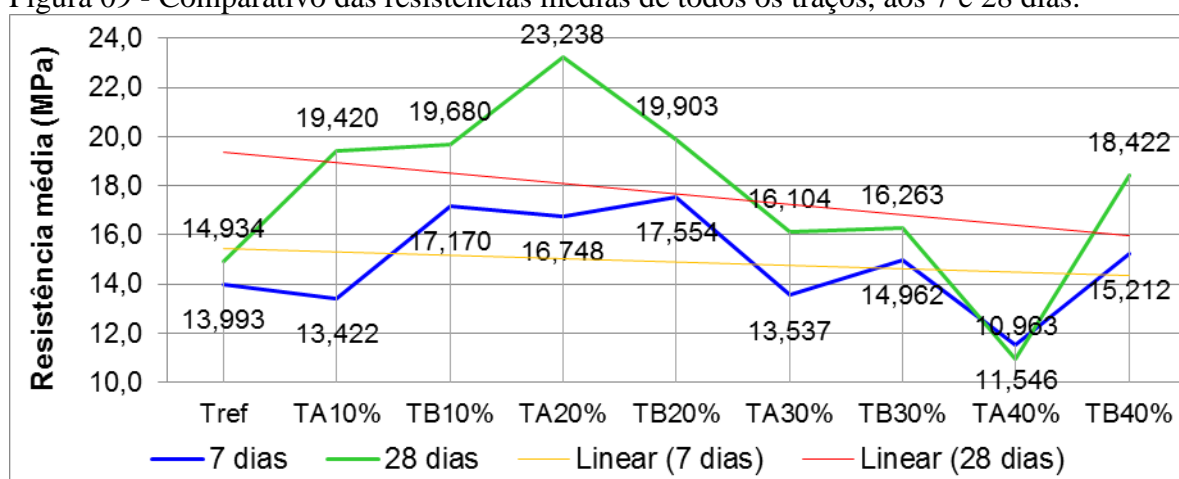
De acordo com Sganderla (2015), verificou-se em sua pesquisa que os concretos que possuíam maiores teores de agregado reciclado necessitam de maior quantidade de água, em

virtude do maior teor de finos que o agregado natural. Analogamente ao comportamento obtido nas argamassas, quanto maior o teor de agregado reciclado, menor a trabalhabilidade em função da menor quantidade de água.

Já para as propriedades no estado endurecido, estas são importantes para aferir principalmente quanto a sua resistência mecânica. O procedimento do ensaio de resistência à compressão axial foi desenvolvido com os corpos de prova nas idades de 7 e 28 dias, conforme recomendações da NBR 7215 (ABNT,1997).

Na Figura 09 é possível observar de modo comparativo as médias das resistências obtidas para cada traço aos 7 e aos 28 dias.

Figura 09 - Comparativo das resistências médias de todos os traços, aos 7 e 28 dias.



Fonte: Própria autora, 2017.

De modo geral, houve um desempenho mecânico satisfatório das argamassas com teores de substituição, quando comparadas à argamassa sem substituição de agregado reciclado.

O traço que obteve melhor resistência aos 28 dias foi o TA20%, conforme Figura 09. Esse desempenho pode ser justificado pela composição granulométrica, ao passo que o agregado reciclado RCA-A (composto por argamassa e concreto) obteve os limites granulométricos mais próximos à zona ótima de utilização do agregado miúdo, conforme recomendações da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Outro fator que pode ter contribuído para o ganho de resistência do traço TA20% é a fração de finos em sua composição. O RCA-A foi o agregado que apresentou maior porcentagem de finos retidos no fundo (passantes na peneira 0,15 mm), com 18%. Por mais que tenha sido feito o peneiramento dos materiais para utilização na argamassa apenas do

intervalo recomendado para agregado miúdo (entre as peneiras de 4,75 e 0,15 mm), também apresentou uma porcentagem considerável de finos na última peneira em que ficou retido (0,15 mm) para posterior utilização, de 20%, o que eventualmente podem ter contribuído no preenchimento dos vazios da mistura, de modo que a mesma venha a se tornar mais densa e consequentemente mais resistente.

Não se pode deixar de considerar que o RCA-A era composto apenas por argamassa e concreto, enquanto que o RCA-B era composto por argamassa, concreto e materiais cerâmicos. Embora não tenha sido possível verificar a porcentagem das composições de cada resíduo, comparando-se esses resíduos utilizados, é notório que o RCA-A apresentava porcentagens superiores de cimento, visto que não possuía materiais cerâmicos em sua composição. Portanto, esta porcentagem maior de cimento pode tornar-se a hidratar e ajudar no melhoramento do desempenho mecânico.

É importante salientar também que foi necessário um ajuste na relação água cimento dos traços com 30% e 40% de substituição, variando-a de 0,5 para 0,6, em função da trabalhabilidade que estava comprometida, o que certamente veio a contribuir para a redução no desempenho mecânico quando comparados aos traços anteriores. No entanto, o traço TB40% ainda conseguiu obter boas resistências, mesmo contrariando a linha de tendência linear.

Em termos de ganho de resistência, entre os 7 e 28 dias de cada traço, o que obteve melhor desempenho ao decorrer o intervalo desses 21 dias foi o traço TA10%, com um ganho de 44,69%, passando de 13,422 MPa aos 7 dias para 19,420 MPa aos 28 dias. Em contrapartida, o que obteve menor ganho de resistência, desconsiderando o traço TA40% que obteve redução na resistência entre 7 e 28 dias conforme exposto anteriormente, foi o traço de referência, que obteve um crescimento de apenas 6,73%, passando de 13,993 MPa aos 7 dias para 14,934 MPa aos 28 dias.

Em relação aos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica, em resumo, a absorção de água foi crescente, assim como o índice de vazios, conforme aumentou-se a porcentagem de substituição do agregado reciclado, reforçando os resultados obtidos na caracterização dos agregados quanto à absorção de água deste material em comparação ao agregado natural (areia), sendo o RCA-A o material com maior capacidade de absorção. Já a massa específica, ao contrário da absorção de água, diminui conforme aumentou-se a porcentagem de substituição.

Por fim, após a avaliação dos resultados, foram selecionados os traços que obtiveram melhor desempenho mecânico aos 28 dias, ou seja, os traços TA20% (23,238 MPa) e TB20% (19,903 MPa), para confeccionar os elementos vazados.

A desmoldagem dos dois elementos vazados foi bem sucedida, embora ambos não tenham ficado com aspecto esteticamente comercial, conforme exemplificado na Figura 10.

Figura 10 - Elemento vazado após a desmoldagem (TB20%).



Fonte: Própria autora, 2017.

Entretanto, atestou-se sobre a possibilidade de confecção e desmoldagem para ambos os traços, que era o principal objetivo do trabalho. E verificou-se a necessidade de, em trabalhos futuros, avaliar a influência do desmoldante utilizado e também do modelo da fôrma, para verificar se há divergências e chegar à confecção de um elemento vazado potencialmente comercial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho resulta em uma alternativa viável tecnicamente por meio de ensaios experimentais quanto à possibilidade de utilização de Resíduos de Construção e Demolição, do tipo Classe A, em porcentagens de substituição do agregado natural, na forma de agregado miúdo para confecção de elementos vazados.

A alternativa é possível em virtude dos resultados quanto às caracterizações dos materiais e os desempenhos nos estados fresco e endurecido, por terem se mostrado satisfatórios, inclusive superiores ao traço de referência, demonstrando a importância das propriedades desses materiais para posterior justificativa dos resultados.

Cabe ressaltar que o resultado apresentado foi obtido com materiais coletados na cidade de Porto Velho. Outros estudos com materiais que possuam características distintas poderão apresentar resultados diferentes.

Além dos bons resultados quanto ao desempenho mecânico, estes podem contribuir com a redução do impacto ambiental, visto que os resíduos de construção civil são potenciais agentes contribuintes da degradação ambiental, geralmente resultante do descarte irregular dos resíduos de construção civil, portanto, há necessidade de correta destinação dos resíduos, e posteriormente o reuso ou reciclagem, em um processo sustentável.

Já que, conforme Pinto (1999), cerca de 50% de todo material que entra na obra resulta em resíduos, há a necessidade de não somente oferecer uma destinação correta para esses resíduos, como também buscar alternativas de reuso ou reciclagem desse grande volume de material.

Para que os resíduos possam ser destinados a lugares adequados ao seu recebimento existem normativas. No entanto, ainda é notório na cidade de Porto Velho o descarte irregular, principalmente em terrenos baldios, sendo importante a implantação de ações para minimizar essas ocorrências e contribuindo para a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada.

Apesar dos bons resultados, não é possível mensurar com certeza a melhor porcentagem de substituição, uma vez que houve diferença quanto à relação água/cimento. Para os traços com substituições de 10% e 20%, a relação foi de 0,5, enquanto que os traços com substituições de 30% e 40%, de 0,6. Embora a diferença seja pequena, é um fator considerável quando se trata de trabalhabilidade e posterior ganho de resistência.

Como os resultados mostraram-se notáveis mesmo com 40% de substituição, seria necessário realizar-se também com porcentagens superiores, com a finalidade de obter um parâmetro maior de comparação e, por fim, estabelecer o limite para a utilização do agregado reciclado em substituição ao agregado natural.

Para a utilização desses agregados miúdos reciclados em larga escala é necessário um controle tecnológico acerca de suas propriedades, uma vez que a composição fracionária dos resíduos podem variar de um lugar para outro, o que pode influenciar no desempenho mecânico final.

A reutilização de um resíduo torna-se atrativa para o setor da construção civil porque é uma forma de diminuir o volume dos resíduos gerados nos canteiros de obra. Além de poder reinserir na própria obra um artefato produzido a partir dos seus resíduos gerados.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se destacar o estudo para outras porcentagens de substituição e a análise da estrutura química dos materiais. Assim como a avaliação da influência do desmoldante e do modelo da fôrma na confecção e desmoldagem do elemento vazado, de modo a verificar se há alguma disparidade na utilização de desmoldantes e fôrmas diferentes e poder chegar, por fim, à confecção de um elemento vazado potencialmente comercial.

PRODUCTION OF HOLLOW ELEMENTS USING WASTE OF THE CLASS A OF CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT: The construction industry has become one of the biggest responsible for wasting materials after stopped to produce to be supplied by manufacturing industry. The main objective of this document is the production of hollow elements from construction waste, focusing on class A ones. In order to mitigate the impact caused by the generation of these residues, inserting them in the same market, through sustainable alternatives. Based on a study of the current scenario, with emphasis on the city of Porto Velho/RO, Brazil, two types of Class A waste were collected, characterized and compared to the natural small aggregate (sand). The reference trace was based on 1 : 2.75 : 0.5, found in literature as the recommended one to manufacture hollow elements. The percentages of replacement of natural small aggregate (sand) by recycled small aggregate (Class A residue) were 10%, 20%, 30% and 40%. After the evaluation of the results, two hollow elements were made, with the traits that obtained the best result (TA20% and TB20%), thus confirming the feasibility of being manufactured from recycled mortar.

KEYWORDS: Waste. Hollow elements. Sustainable.

REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção de demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP. 236 p. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736:** Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218:** Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479:** Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do Índice de Consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BARRA, M. **Estudio de La durabilidad del hormigón de árido reciclado em su aplicación como hormigón armado**. Barcelona, 1996. 223 p. Tese (doutorado). Escola técnica Superior d'Enginyers de Camin, Canal i Ports. Universitat Politècnica de La Catalunya.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 14, 19 de janeiro de 2012.

BORGES, B. D. **Revestimento cerâmico translúcido inspirado no cobogó**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4017/1/Bruna%20Dagostin%20Borges.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2016.

Casa Abril. **Muro com cobogó dá privacidade sem tirar iluminação**. Texto de Marjorie Okuyama, 2016. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materiais-construcao/muro-com-cobogo-da-privacidade-sem-tirar-iluminacao/>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

COTARELLI *et al.* **Entenda o PIB: como funcionam os métodos para medir a atividade econômica do Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/pib-o-que-e/platb/>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

GIL, L. S.; SARTORI, L. H.; FERREIRA, S. **Mão na massa: Fascículo 05**. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). 1ª Ed: São Paulo - SP, 2008.

GPS Design Brasília. **Arte vazada**. Texto de Marcela Oliveira, 2015. Disponível em: <<http://gpsbrasil.com.br/news/p:0/idp:31943/nm:Arte-Vazada/>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas Regionais do Brasil**. N. 35, 2005-2009. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/english/estatistica/economia/contasregionais/2009/contasregionais2009.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

LAURITZEN, K. E. **RILEM Bulletin – International RILEM symposium on demolition and reuse of concrete and masonry**. Materials and Structures, n. 27, p. 307, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573 p.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na Construção Civil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 472 p.

PIMENTA, M. C. F.; SCHRODER, N. T. **Resíduos da Construção Civil do Município de Porto Velho/RO: da Origem à Disposição Final**. Porto Alegre/RS, 2011. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/13718090-Residuos-da-construcao-civil-do-municipio-de-porto-velho-ro-da-origem-a-disposicao-final.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SGANDERLA, M. S. **(Re) Aproveitamento dos Resíduos Classe A da Construção Civil na substituição parcial do agregado miúdo do concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

SOUZA, B. A. *et al.* **Análise dos indicadores do PIB nacional e PIB da Indústria da Construção Civil**. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 17, n. 31, p. 140-150, jan./jun. 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/3480>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 109, p. 9-26, jul./dez. 2005.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. Campinas, 1997. 140 p. Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (Mestrado).