Reaproveitamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil

TAVARES, Elcio C. S.[1,a], MONTE JÚNIOR, Í. V.[2,b] , CRUZ, L. Q.[3,c]

[1]Universidade Potiguar – UnP, Brasil; elciotavares@unp.br
[2] Universidade Potiguar – UnP, Brasil; italo.vale@unp.br
[3] Universidade Potiguar – UnP, Brasil; luiza@unp.br

Resumo: *A geração crescente dos resíduos sólidos resultantes da construção civil vem exigindo soluções diversificadas a diminuir o excedente de materiais inertes encaminhados aos aterros sanitários e a potencializar o uso de resíduos como matérias-primas secundárias, uma vez que estes representam um percentual significativo dos resíduos sólidos produzido sem áreas urbanas. Esta pesquisa monitora os resíduos sólidos da construção civil em Natal/RN, visando qualificar, quantificar e mensurar o potencial reciclável. Foi desenvolvida através do monitoramento e análise laboratorial dos resíduos sólidos gerados nos canteiros de obra de dois empreendimentos com tipologia vertical de uma construtora em Natal/RN. Objetivou-se verificar se o bloco para alvenaria de vedação, produzido com argamassa a partir do resíduo sólido classe A como agregado miúdo, atende aos padrões normativos da ABNT, possibilitando sua utilização nas mesmas condições do bloco produzido com argamassa de agregado natural. Os resultados mostraram-se compatíveis com os parâmetros normativos da ABNT NBR 6136:2007.*

Palavras-Chave: *Monitoramento de resíduos sólidos. Resíduos da construção civil. Reciclagem de resíduos da construção.*

1. INTRODUÇÃO

Historicamente a humanidade se desenvolveu com a exploração de recursos naturais, o que ao longo do tempo tornou-se uma prática indiscriminada. A partir da revolução industrial, impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico, o homem

acelerou o processo de extração desses recursos. O descontrole no crescimento da população mundial agrava este cenário, devido à necessidade da maior produção de alimentos e produção de resíduos que poluem o meio ambiente.

A indústria da construção civil responde por uma grande parcela da degradação ao meio ambiente, logo a atividade é bastante consumidora de energia, seus materiais são constituídos basicamente de recursos naturais e é grande geradora de resíduos sólidos. Estima-se que em um metro quadrado de construção de um edifício são gastos em torno de uma tonelada de materiais, demandando grandes quantidades de cimento, areia, brita, entre outros(1).

Estudos constatam (2) que em 2010 a indústria cresceu 10,1%, em comparação com 2009. O maior crescimento foi registrado na indústria extrativa mineral (15,7%), depois na construção civil (11,6%), comprovando-se o impulso na economia brasileira. Assim, a importância econômica da construção civil e a necessidade de práticas para o manejo ambientalmente adequado de rejeitos justificam o estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho monitorou a geração de resíduos sólidos em dois empreendimentos com tipologia vertical de uma construtora em Natal/RN, chamados nesta pesquisa de empreendimentos 1 e 2. A primeira construção possui 22.400 m² de área construída, sendo composto de quatro torres. A segunda edificação possui 13.500 m² de área construída, sendo composta de três torres.

A pesquisa foi realizada em três etapas:

A primeira consistiu na coleta de dados em campo que se deu ao longo de todo período de execução dos empreendimentos, sendo feita semestralmente e seguindo as informações contidas nos CTR´s (Controle de Transporte de Resíduos) que são tabuladas em planilha e elaborados gráficos com a geração de resíduos sólidos por classe.

Na segunda etapa foram coletados amostras de resíduo sólido classe A, provenientes de serviços de demolição e construção da fase de acabamento do empreendimento 1. Realizaram-se ensaios a partir das amostras coletadas, objetivando a reutilização do resíduo sólido classe A como agregado miúdo na confecção de blocos para alvenaria de vedação que foram produzidos no canteiro de

obra do empreendimento 2, simulando as condições reais de fabricação do artefato. Primeiramente, foi realizada a separação manual dos resíduos de metal, papel, tintas e gesso, que estavam misturados ao resíduo classe A, em seguida foram separados frações e processados na máquina LOS ANGELES, para desagregar parte da amostra.

Fig. 1 – Amostra de resíduo fracionado

Fig. 2 – Resíduo em processamento

O segundo passo foi secar o material em estufa, à temperatura de 110^{o}C por 24 horas. Em seguida, realizou-se o peneiramento de toda amostra através do agitador mecânico de peneiras, sendo cada ciclo de peneiramento realizado por 60 segundos, objetivando utilizar o agregado reciclado miúdo.

Para comparação com o agregado natural foram realizados os ensaios de massa específica pelo frasco de Chapman no agregado reciclado e densidade aparente do agregado (massa unitária). Para determinação da massa específica do agregado miúdo, colocou-se água no frasco até marca de 200 cm³, deixando-o em repouso; em seguida, introduziu-se 500 g de agregado reciclado miúdo seco no frasco o qual foi agitado para eliminação das bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo reciclado.

A massa específica do agregado reciclado miúdo foi calculada mediante a expressão:

$$y = \frac{500}{L-200} \quad \text{(A)}$$

Onde:

γ = massa específica do agregado miúdo reciclado; expressa em g/cm³;

L = leitura do frasco (volume do conjunto água-agregado miúdo reciclado).

Para determinação da densidade aparente do agregado reciclado, foi utilizado um caixote padrão, com dimensões internas de 19,7 cm x 19,7 cm x 19,7 cm, sendo preenchido, totalmente, com o agregado reciclado seco e arrasado com auxílio de uma régua metálica.

A densidade aparente do agregado reciclado miúdo foi calculada mediante a expressão:

$$densidade\ aparente = \frac{M_s}{V_c} \quad \text{(B)}$$

Onde:

M_s = massa do solo; deve ser expressa em gramas (g);

V_c = volume do caixote; deve ser expresso em centímetro cúbico (cm^3);

O passo seguinte foi a confecção de blocos vazados para alvenaria sem função estrutural, utilizando em sua composição o agregado reciclado e agregado natural. A confecção dos artefatos foi realizada no canteiro de obras do empreendimento 2, simulando todas as condições reais da fabricação do bloco na obra.

Neste empreendimento, foi fabricado o bloco com a seguinte composição:

- Cimento = 25 kg;
- Areia grossa = 90 litros;
- Pó de pedra = 18 litros;
- Aditivo Blocomil = 150 ml;
- Água = 5 litros;

Foram fabricados 36 blocos vazados com dimensões reais de 190 mm (comprimento), 190 mm (altura) e 140 mm (largura) com a composição mencionada, o que é formada apenas com agregados naturais.

Fig. 3 – Compactação na moldagem

Fig. 4 – Desforma do bloco

Para comparação foi fabricada a mesma quantidade, substituindo o pó de pedra por agregado reciclado, cuja composição foi o material retido nas peneiras número 10, 16 e 30.

Fig. 5 – Reciclado em laboratório

Fig. 6 – Mistura do agregado reciclado

Fig. 7 – Adição do agregado reciclado

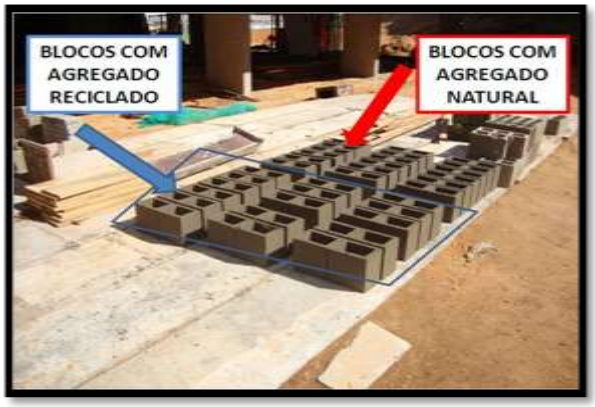

Fig. 8 – Blocos na área de cura

Foram fabricados na totalidade 72 blocos, dos quais 36 com agregado reciclado e 36 com agregado natural, numerados sequencialmente e identificados como RCD, o bloco produzido com agregado reciclado e NAT, o bloco produzido com agregado natural.

Realizou-se o ensaio de resistência à compressão no laboratório da construtora que executou os empreendimentos em estudo, sendo utilizados 26 corpos-de-prova com agregado reciclado e 26 blocos com agregado natural. Conforme a NBR 12118:2010 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio (6), foram regularizadas as faces de trabalho dos corpos-de-provas com pasta de cimento, pois resistem às tensões do ensaio. Foi aplicada a pasta sobre o

molde de capeamento, untado levemente com óleo, e posicionado o corpo-de-prova sobre a mesma, comprimindo a superfície a ser capeada de encontro à pasta, em seguida verificou-se que as faces laterais ficaram perpendiculares a base.

Ensaiou-se 13 corpos-de-prova com idade aos 6 dias e 13 com idade aos 28 dias, tanto para os blocos fabricados com agregado reciclado, quanto para os blocos com agregado natural.

Foi determinada a absorção de água, de acordo com a NBR 12118:2010, em 20 corpos-de-prova, sendo 10 blocos fabricados com agregado reciclado e 10 com agregado natural que permaneceram na temperatura ambiente do laboratório por 48 horas antes de realizar o ensaio. Aferiu-se a massa dos blocos secos à temperatura ambiente e anotada como m_3. Foram levados os corpos-de-prova à estufa, à temperatura de 110^{o}C, por 24 horas e após este período repetiu-se o processo por 2 horas até que em duas determinações sucessivas, verificou-se que não houve diferença superior a 0,5% em relação ao valor anterior, sendo considerada a massa da leitura das primeiras 24 horas, como a massa seca m_1 .

Após resfriar os corpos-de-prova naturalmente à temperatura ambiente, emergiram-se os blocos em água por um período de 24 horas e em seguida pesou-se os blocos saturados com a superfície seca que foi obtida drenando os artefatos por 60 segundos. Repetiu-se a operação a cada 2 horas até que em duas determinações sucessivas, verificou-se que não houve diferença superior a 0,5% em relação ao valor anterior, sendo considerada a massa da leitura das primeiras 24 horas, como a massa saturada m_2.

Foi determinado o valor da absorção de água de cada corpo-de-prova, expresso em porcentagem, por:

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} x100 \qquad \text{(C)}$$

Onde:

a = é a absorção total, em porcentagem;

m_1 = é a massa do corpo-de-prova seco em estufa, em gramas;

m_2 = é a massa do corpo-de-prova saturado, em gramas;

Na terceira etapa do estudo foram realizadas análises dos resultados que são válidos para o setor de edificação com tipologia vertical, possibilitando projeções

quanto ao volume de resíduos sólidos gerados em empreendimentos a serem construídos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Monitoramento de resíduos sólidos – empreendimento 1.

O empreendimento 1 gerou a totalidade de 2.425 m³ de resíduos sólidos, sendo 2.065 m³ de resíduos classe A, 350 m³ de resíduos classe B e 10 m³ de resíduos classe C, conforme mostrado na figura 17. Neste empreendimento não se registrou o resíduo sólido classe D.

O custo coma remoção dos resíduos sólidos no canteiro de obras do empreendimento 1 foi de R$ 36.375,00 (trinta e seis mil, trezentos e setenta e cinco reais), considerando apenas a retirada pela empresa transportadora das 485 caçambas com volume de 5 m³ cada.

O Índice de geração de RCD, expresso em volume por área construída, foi de 0,1083 m³/m².

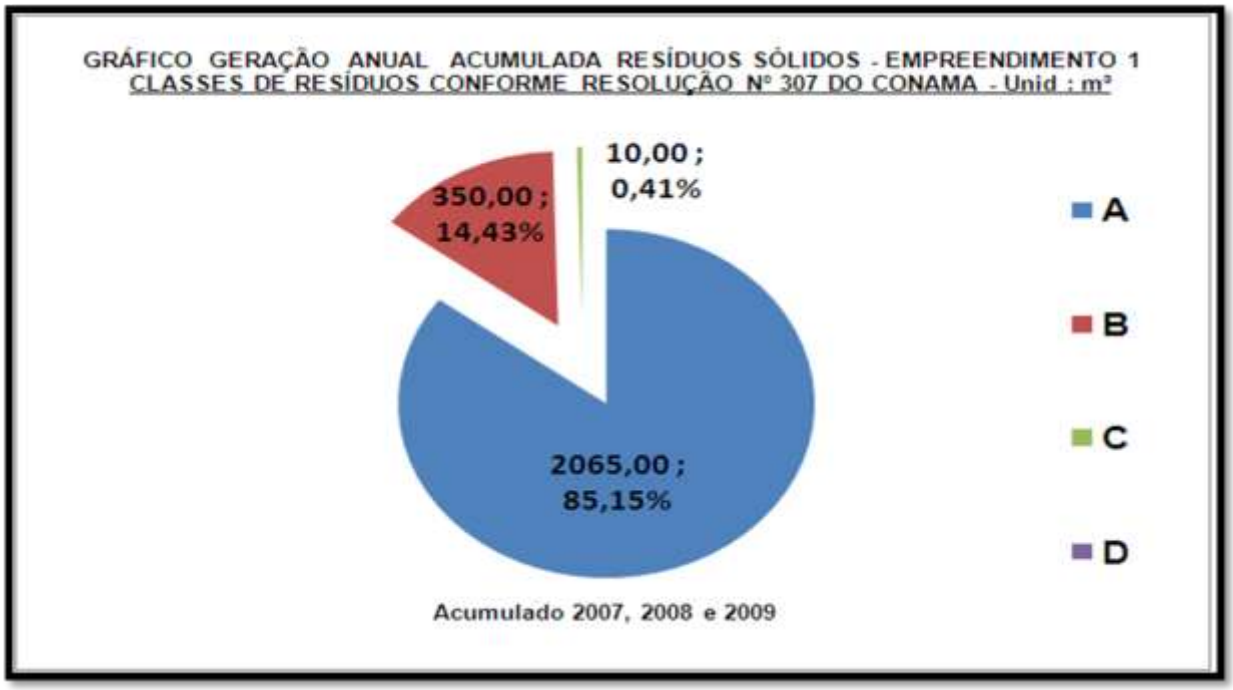

Fig. 9 – Geração acumulada de resíduos sólidos do empreendimento 1
Fonte: Autores da pesquisa

3.2. Monitoramento de resíduos sólidos – empreendimento 2.

O empreendimento 2 gerou a totalidade de 1.392 m³ de resíduos sólidos, sendo 838 m³ do resíduos classe A, 539 m³ do resíduos classe B e 15 m³ do resíduos classe C, conforme mostrado na figura 18. Neste empreendimento não se registrou o resíduo sólido classe D.

O custo com a remoção dos resíduos sólidos no canteiro de obras do empreendimento 2 foi de R$ 31.134,00 (trinta e um mil, cento e trinta e quatro reais), considerando apenas a retirada pela empresa transportadora das 279 caçambas com volume de 5 m³ cada.

O Índice de geração de RCD, expresso em volume por área construída, foi de 0,1031 m³/m².

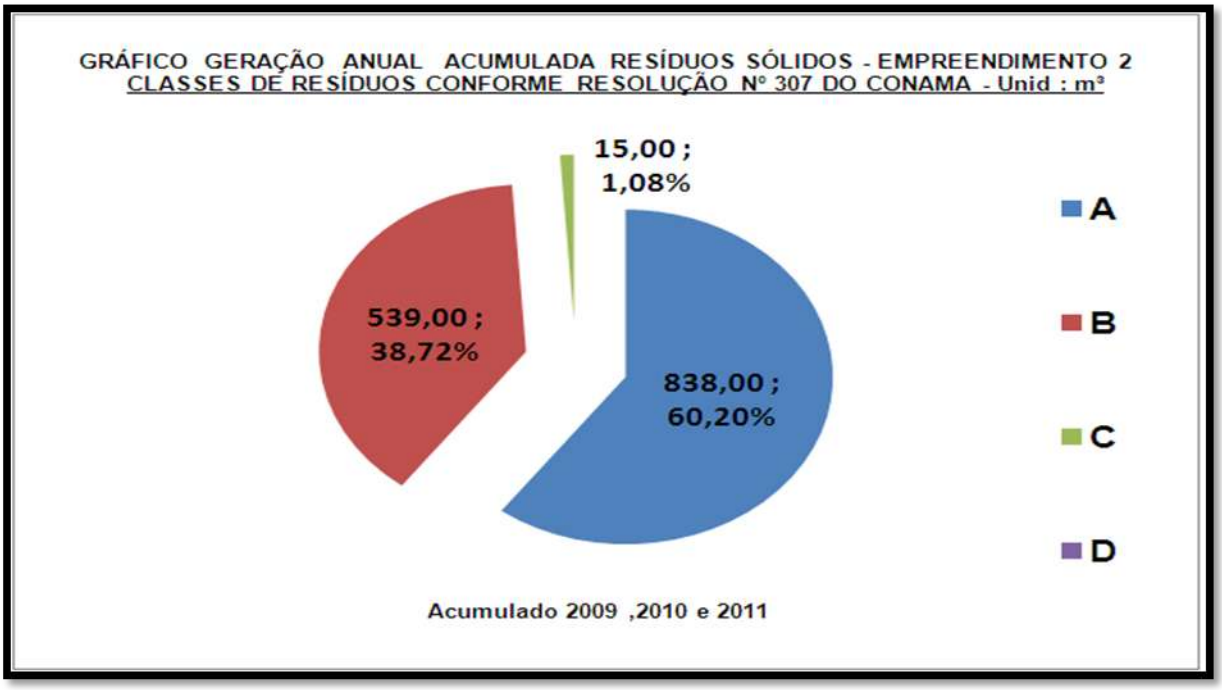

Fig. 10 – Geração acumulada de resíduos sólidos do empreendimento 1
Fonte: Autores da pesquisa

3.3. Ensaios de laboratório.

Realizou-se o peneiramento da amostra de resíduo sólido classe A, objetivando a separação granulométrica para utilização do agregado reciclado miúdo na fabricação de blocos para alvenaria sem função estrutural. O processo separou a amostra em resíduos com granulometria equivalente ao agregado graúdo (45,74%), ao agregado miúdo (52,13%) e a silte e argila (2,13%). O ensaio de massa específica no agregado reciclado miúdo obteve o resultado de 2,538g/cm³ e a

densidade aparente do agregado (massa unitária) obteve o resultado de 1,551g/cm³. As peças fabricadas com agregado natural obtiveram resistência característica estimada, aos 28 dias, igual a 2,4MPa e absorção de água igual a 9,2%.

RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO		
Resistência caracteristica estimada (MPa)	**Fbk,est**	**2,4**
Resistência característica Fbk (MPa)	Mínimo	2,5
	Máximo	3,2
GRÁFICO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL		COMENTÁRIOS
		1) A Resistência caracteristica estimada aos 28 dias, para o bloco com agregado natural foi de **2,4 MPa**, o que representa 20% acima da resistência caracteristica minima (2,0 MPa) aos 28 dias, recomendado pela NBR 6136:2007.

DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA	
VALORES OBTIDOS NO ENSAIO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (a%)
Individual	9,9
Média	9,2
CONSIDERAÇÃO DA NBR 6136:2007	
	≤ 10,0
RESULTADO	ACEITO

Fig. 11 – Resultados dos ensaios com blocos de agregado natural
Fonte: Autores da pesquisa

Os blocos fabricados com agregado reciclado obtiveram resistência característica estimada, aos 28 dias, igual a 2,0MPa e absorção de água igual a 13,1%.

RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO		
Resistência caracteristica estimada (MPa)	**Fbk,est**	**2,0**
Resistência característica Fbk (MPa)	Mínimo	2,0
	Máximo	2,7
GRÁFICO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL		COMENTÁRIOS
		1) A Resistência caracteristica estimada aos 28 dias, para o bloco com agregado reciclado foi de **2,0 MPa**, o que apresenta a mesma resistência caracteristica minima (2,0 MPa) aos 28 dias, recomendado pela NBR 6136:2007.

DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA	
VALORES OBTIDOS NO ENSAIO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (a%)
Individual	13,6
Média	13,1
CONSIDERAÇÃO DA NBR 6136:2007	
Individual	≤ 16,0
Média	≤ 13,0
RESULTADO	ACEITO

Fig. 12 – Resultados dos ensaios com blocos de agregado reciclado
Fonte: Autores da pesquisa

Nessa amostragem o parâmetro de absorção de água variou de 12,3% a 13,6%, ocorrendo a maior variação em apenas um bloco, logo considerou-se o parâmetro aceito.

Nos dois casos os resultados obtidos atendem às recomendações mínimas da NBR 6136:2007 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos (5), comprovando-se a viabilidade técnica para o uso na construção civil, em alvenarias sem função estrutural, dos blocos produzidos com agregado reciclado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A destinação inadequada dos resíduos sólidos da construção civil constitui um grave problema de saneamento ambiental nos centros urbanos em todo Brasil. Qualificados e quantificados esses rejeitos em dois empreendimentos de grande porte em Natal/RN, constatando-se o descarte de percentual significativo de resíduos sólidos com potencial reciclável, em especial o resíduo sólido classe A, que nesta pesquisa foi utilizado como agregado reciclado para produção de blocos para alvenaria sem função estrutural, resultou compatível com os parâmetros normativos da ABNT NBR 6136:2007.

Diante dos resultados favoráveis à reciclagem desse resíduo que apresenta qualidade comprovada para uso na construção civil e ao cumprimento da resolução CONAMA n^{o} 307/2002, o beneficiamento no próprio canteiro de obra demonstra-se vantajoso ao gerenciamento de resíduos sólidos de grandes geradores, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Percebe-se que o manejo de rejeitos da construção civil, com a adoção de reciclagem, coopera com o gerenciamento integrado de resíduos sólidos previsto na legislação brasileira, especialmente, a Lei Federal 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

REFERÊNCIAS

1. SOUZA, U.E. L. de. **Como reduzir perdas nos canteiros:** manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. Ed. Pini, São Paulo, 2005. 128 p.

2. DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Estudo setorial da construção 2011**. São Paulo, 2011. 3p.

3. MARQUES NETO, J. da C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005.

4. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 23 ago. 2011.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 6136:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

6. _____. **NBR: 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

Reuse of Solid Waste of Construction

Abstract:The increasing generation of solid waste resulting from the construction industry has been demanding diversified solutions to decrease the surplus inert materials disposed in landfills and increase the use of waste as secondary raw materials. This research studies the generation of solid waste from construction, given that they represent a significant percentage of the solid waste generated in urban areas. Monitors solid waste construction in Natal / RN, aiming to qualify, quantify and assess the potential recyclable. It was developed through monitoring and laboratory analysis of solid waste generated at construction sites of two projects with a construction type vertical in Natal / RN. The objective was to check whether the block to seal masonry, mortar produced from solid waste as fine aggregate Class A, meets the normative standards of ABNT, allowing its use under the same conditions produced the block with mortar natural aggregate.

Key-words:Monitoring of solid waste. Construction waste.Recycling of construction waste.