

III-392 – INDICADORES DE QUALIDADE DE AGREGADOS RECICLADOS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA-ES

Bruno de Freitas Ramos⁽¹⁾

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Daniel Wernersbach Muzzi

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo.

Daniella Cardoso Buzzi

Bacharel e Licenciada em Química e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Fernando Avancini Tristão

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo.

Florindo dos Santos Braga

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Monte Everest, S/N, Colina de Laranjeiras, CEP: 29167-092 - Serra-ES. Brasil - Tel: (27) 9609-0882 - e-mail: brufreram@yahoo.com.br

RESUMO

Os Resíduos da Construção Civil (RCC's), também conhecidos como Resíduos da Construção e Demolição (RCD), quando não gerenciados adequadamente, podem afetar significativamente a qualidade ambiental urbana. Contudo, os RCC's compostos por asfalto, concreto, argamassa, cerâmica, areia e brita, quando passados por processo de beneficiamento, apresentam grande potencial para a produção de agregados reciclados. O objetivo deste trabalho foi levantar indicadores de qualidade do agregado reciclado (**AGRECV-ES**), obtidos a partir de amostras representativas do entulho gerado no município de Vitória-ES e gerenciado pela administração desta municipalidade, buscando-se avaliar o potencial de seu uso na indústria da construção civil. Na avaliação da utilização deste resíduo sólido (entulho) como agregado reciclado, observou-se que 79,23% do peso do **ENTUV-ES** pode possuir esta destinação. Na classificação segundo a NBR 10.004:2004, o **AGRECV-ES** foi classificado como Classe IIA (não inerte). Na caracterização segundo a NBR NM 248:2001 foi concluído que 52,61% em peso dos materiais presentes no **AGRECV-ES** necessitam de processos de britagem para serem utilizados como agregados reciclados.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos, Resíduos da Construção Civil, Agregados Reciclados, Reutilização, Reciclagem.

INTRODUÇÃO

No Brasil, os Resíduos da Construção Civil (RCC's), também conhecidos como entulho, são responsáveis por uma representativa porcentagem de resíduos sólidos gerados em áreas urbanas (Resolução CONAMA 307/02), sendo que o gerenciamento inadequado dos mesmos pode acarretar uma série de problemas, tais como a obstrução do sistema de drenagem, a poluição visual, a dificuldade de movimentação de pessoas e veículos, entre outros.

Apesar disto, na composição dos RCC's geralmente são encontrados materiais que possuem potencial de reutilização ou reciclagem como agregados, podendo estes substituir matérias-primas utilizadas no próprio setor da construção civil, como a areia e a brita, desde que passados por processos de beneficiamento. Estes materiais são classificados por legislação específica, a Resolução CONAMA 307/02, como Classe A e

englobam os solos e areias, os materiais betuminosos, os concretos, as argamassas, as cerâmicas e as pedras britadas que são descartados comumente em obras e demolições.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo principal obter indicadores de qualidade de RCC's de Classe A, obtidos em meio de amostras de entulho do Município de Vitória-ES gerenciado pela Prefeitura Municipal, identificando o seu potencial de uso como agregado reciclado na indústria da construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção de amostras

O Agregado Reciclado de Vitória-ES (**AGRECV-ES**) foi o obtido a partir de 12 (doze) amostras compostas de Entulho de Vitória-ES (**ENTUV-ES**) coletadas no mês de Abril de 2007 no ponto de disposição final deste resíduo sólido, um Aterro para Resíduos Classe IIB-Inertes localizado no Bairro Jardim Tropical, município de Serra-ES, definido neste estudo como **ARIMA**.

A amostragem do **ENTUV-ES** foi desenvolvida conforme critérios da NBR 10.007:2004 – “Amostragem de resíduos”, a partir de quarteamentos sucessivos de pilhas descarregadas por carretas com capacidade de 40 m³, sendo eles mecânicos, utilizando-se uma retro-escavadeira, e manuais, com auxílio de pás e enxadas.

De cada amostra composta de **ENTUV-ES** foram retirados todos os materiais pertencentes à Classe A, conforme critérios da Resolução CONAMA 307/02. Os materiais de Classe A presentes em cada amostra composta de **ENTUV-ES** foram submetidos à um processo de quarteamento seguindo as diretrizes apresentadas na NBR 10.007:2004, chegando-se a uma amostra final de **AGRECV-ES** de cerca de 200 litros.

A proporção média em peso das amostras de **AGRECV-ES** em relação ao peso total das amostras compostas de **ENTUV-ES** foi de 79,23%. Com uma geração de **ENTUV-ES** de 7.066,40 toneladas em Abril de 2007, estima-se uma disponibilidade de cerca de 5.598,80 toneladas de **AGRECV-ES** neste mês.

Peso específico aparente

Cada amostra de **AGRECV-ES** formou um volume de 0,2 m³ aproximadamente, acondicionado em 01 (um) tambor metálico de 200 litros.

O peso específico aparente de cada amostra de **AGRECV-ES** foi obtido utilizando-se metodologia apresentada em *Monteiro et al.* (2001).

Classificação segundo a NBR 10.004:2004

Para avaliação da periculosidade das amostras de **AGRECV-ES** conforme a NBR 10.004:2004, foram estudados somente os aspectos de corrosividade, reatividade e toxicidade, pois estas amostras apresentaram indícios de que não possuíam os aspectos de inflamabilidade e patogenicidade.

Ainda, as amostras de **AGRECV-ES** não possuíam aspectos de combustibilidade e biodegradabilidade. Desta forma, na avaliação da inerticidade, segundo a NBR 10.004:2004, das amostras de **AGRECV-ES** foram realizados somente ensaios de solubilização, de acordo com a NBR 10.006:2004 – “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos”, e analisados os extratos obtidos.

As 12 (doze) amostras de **AGRECV-ES** foram quarteadas e reduzidas à granulometria menor que 9,5 mm. Cada amostra final de **AGRECV-ES** obtida para a realização de ensaios de classificação segundo a NBR 10.004:2004 formou um volume de aproximadamente 05 litros.

As amostras finais de **AGRECV-ES** foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas ao laboratório SGS Geosol Laboratórios Ltda, localizado no município de Belo Horizonte-MG para serem analisadas.

No Quadro 1 apresentam-se os ensaios, e suas respectivas referências, que foram realizados pelo SGS Geosol Laboratórios Ltda nas amostras finais de **AGRECV-ES**.

Quadro 1 – Ensaios realizados nas amostras **AGRECV-ES**

Ensaio	Referência	Aspecto analisado
Lixiviação	NBR 10005:2004 – “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”	Toxicidade
pH	USEPA – SW 846	Corrosividade
Solubilização	NBR 10006:2004 – “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos”	Inerticidade

No Quadro 2, por sua vez, apresentam-se os parâmetros analisados nos extratos obtidos na lixiviação e na solubilização.

Quadro 2 – Parâmetros analisados nos extratos obtidos na lixiviação e na solubilização

Ensaio	Parâmetros	
	Não metais	Metais
Lixiviação	Fluoreto	Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb e Se
Solubilização	Cianeto, Cloreto, Fenol, Fluoreto, Nitrato, Sulfato e Surfactantes	Ag, As, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Na, Pb, Se e Zn

Todas as análises dos parâmetros listados no Quadro 2 seguiram as diretrizes apresentadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th edition, 2005.

Caracterização conforme a NBR NM 248:2001

A caracterização das amostras de **AGRECV-ES** conforme a NBR NM 248:2001 - “Agregados-Determinação da composição granulométrica” foi avaliada a partir de resultados de ensaios de granulometria desenvolvidos no Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (**LEMAC**) do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Peso específico aparente do AGRECV-ES

Na Tabela 1 apresentam-se a média aritmética, o desvio padrão, o coeficiente de variância e a mediana dos pesos específicos aparentes das amostras de **AGRECV-ES**.

Tabela 1: Peso específico aparente das amostras de **AGRECV-ES**

Parâmetro estatístico	Resultado
Média aritmética	1.284,92 kg/m ³
Desvio padrão	89,43%
Coeficiente de variação	6,96%
Mediana	1.278,28 kg/m ³

Como apresentado na Tabela 1, o coeficiente de variação dos pesos específicos aparentes das amostras de **AGRECV-ES** foi estimado em 6,96%, valor este consideravelmente baixo. A média aritmética (1.284,92kg/m³) pode ser utilizada para representar os valores destes pesos específicos aparentes, pois este coeficiente se apresentou bem menor que 50%.

Considerando-se a estimativa de geração em de abril de 2007 e o peso específico aparente do **AGRECV-ES**, seria necessário um espaço de 4.357,31 m³ para armazenamento deste subproduto.

Classificação segundo a NBR 10.004:2004

Quanto ao aspecto reatividade, foi observado, em campo e em laboratório, que as amostras de **AGRECV-ES** não apresentam reações quando em contato com a água, instabilidade e reação de forma violenta e imediata e não geraram gases, vapores e fumos tóxicos quando misturadas em água. Sendo assim, as amostras de **AGRECV-ES** foram caracterizadas como não reativas.

As amostras de **AGRECV-ES** apresentaram solução em água com pH variando entre 8,25 e 9,73, configurando as mesmas como básicas ($\text{pH} > 7$). Com estes resultados, as amostras de **AGRECV-ES** podem ser caracterizadas como não corrosivas, pois, como estabelecido na NBR 10.004:2004, as suas misturas com água, na proporção de 1:1 em peso, produziram soluções que não apresentaram pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5.

Os resultados obtidos demonstraram que nenhum parâmetro analisado nos extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES** apresentou concentrações superiores aos limites máximos estabelecidos na NBR 10.004:2004 em seu Anexo G. Ademais, as concentrações se mostraram bem abaixo dos limites máximos permitidos pela NBR 10.004:2004, com situações de alguns parâmetros não serem detectados nos extratos lixiviados das amostras de **AGRECV-ES**. Desta forma, o **AGRECV-ES** pode ser caracterizado, a partir de análises destas amostras, como não tóxico.

Na Figura 1 apresentam-se o percentual de extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES** com concentrações superiores aos limites máximos permitidos (LMP's) no Anexo G da NBR 10.004:2004.

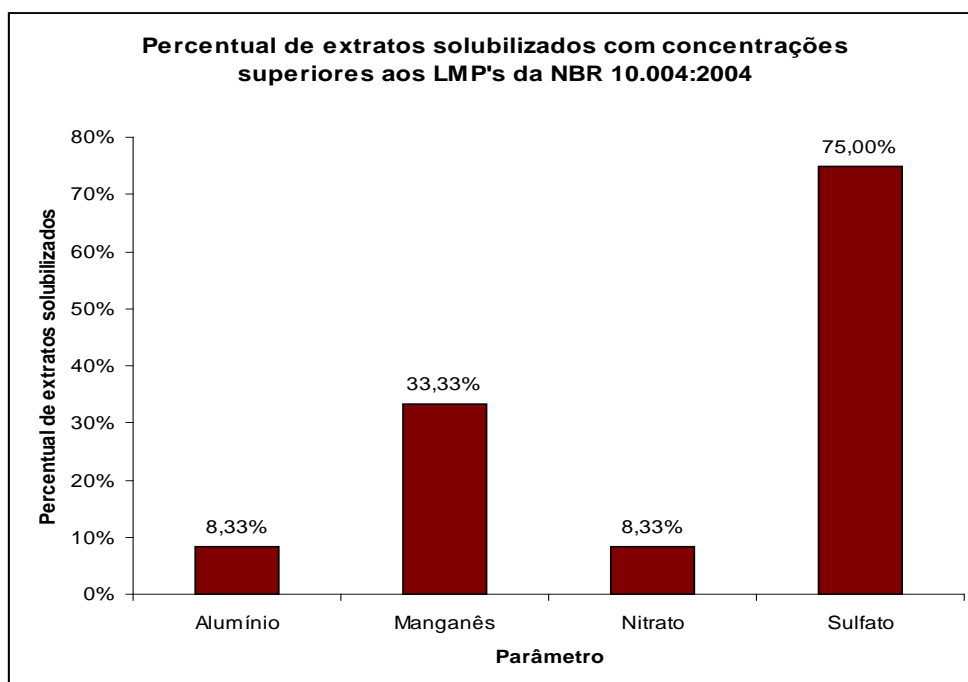


Figura 1: Percentual de extratos solubilizados com concentrações superiores aos limites máximos permitidos da NBR 10.004:2004

Como observado na Figura 1, os parâmetros que contribuíram para a não inerticidade das amostras de **AGRECV-ES** foram Al, Mn, nitrato e sulfato.

Em relação à periculosidade do **AGRECV-ES**, este subproduto foi caracterizado como não corrosivo, não inflamável, não patogênico, não reativo e não tóxico. Com isso, considerando os critérios da NBR 10.004:2004, o **AGRECV-ES** é classificado como Classe II (não perigoso).

Em termos de inerticidade, o **AGRECV-ES** pode ser caracterizado como não combustível, não biodegradável e solúvel em água. Sendo assim, este subproduto pode ser classificado, segundo as diretrizes da NBR 10.004:2004, como Classe IIA (não inerte).

Sendo o **AGRECV-ES** classificado como Classe IIA (não inerte), este subproduto deverá ser armazenado conforme a NBR 11.174:1990 – “Armazenamento de resíduos classe II-não inertes e III-inertes”. O aterro para a sua disposição final deverá ser concebido de acordo com a NBR 13.896:1997 – “Aterros de resíduos não perigosos-Critérios para projeto, implantação e operação”.

Caracterização conforme a NBR NM 248:2001

Na Figura 2 apresentam-se as curvas granulométricas das amostras de **AGRECV-ES**.

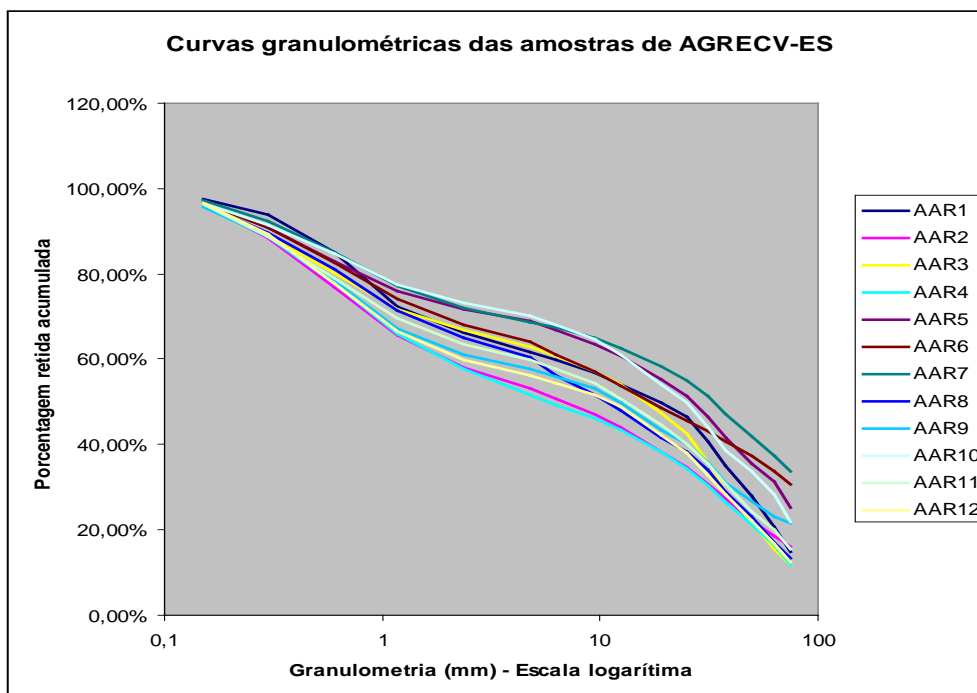


Figura 2: Curvas granulométricas das amostras de **AGRECV-ES**

Avaliando-se as curvas granulométricas plotadas na Figura 2, verifica-se que a dispersão entre as distribuições granulométricas das amostras de **AGRECV-ES** é maior quanto maior for a abertura de malha da peneira. A máxima dispersão entre as amostras de **AGRECV-ES** aconteceu entre os materiais de dimensão maior que 75mm, com coeficiente de variação de 39,41%.

Os agregados reciclados passíveis de britagem (ARPB) demonstraram, em média, uma porcentagem de 52,61% em peso. Ainda, cerca de 47,39% em peso de todos os materiais presentes no **AGRECV-ES** necessitam somente de processos de peneiramento em usinas de produção de agregados reciclados. Para aumentar a proporção de materiais passíveis somente de peneiramento, seria necessária a separação dos pisos e azulejos cerâmicos dos outros materiais de Classe A.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Agregado Reciclado de Vitória-ES (**AGRECV-ES**) apresentou os seguintes indicadores de qualidade:

- O peso específico médio obtido foi de 1.284,92kg/m³, com valor mínimo de 1.199,00kg/m³ e máximo de 1.437,00kg/m³ nas amostras de **AGRECV-ES**;
- O **AGRECV-ES** foi classificado, segundo os critérios da NBR 10.004:2004, como Classe IIA (não inerte). Nos extratos solubilizados das amostras de **AGRECV-ES** o sulfato foi o que mais contribuiu para a não inerticidade deste subproduto, parâmetro este originário de materiais de gesso;
- Na caracterização granulométrica do **AGRECV-ES**, desenvolvida conforme critérios da NBR NM 248:2001, verificou-se que a maior porcentagem dos materiais presentes neste subproduto necessita de britagem para serem utilizados como agregados (materiais com granulometria maior do que 12,5mm), num total médio de 52,61%. O restante dos materiais (47,39% em peso) é passível somente de processos de peneiramento em usinas de produção de agregados reciclados.

Deste trabalho destaca-se a seguinte recomendação:

- Realizar estudos de aplicação dos materiais de Classe A, presentes nas amostras de **ENTUV-ES**, em artefatos de concreto sem função estrutural e em camadas de pavimentos, de acordo com a NBR 15.115:2004 e a NBR 15.116:2004.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Resíduos sólidos-Classificação**. NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004.
2. _____. **Agregados-Determinação da composição granulométrica**. NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2001.
3. 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. Presidente: Jose Carlos Carvalho. Brasília, 2002.
4. MONTEIRO, J.H.P et al.. **Manual de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos**. Coordenação técnica de Vitor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), 2001.