

### **III-146 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO RECICLADO GERADO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE – GO**

**Ananias Bandeira de Oliveira** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Rio Verde (UniRV)

**Weliton Eduardo Lima De Araujo** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Ambiental pela PUC/GO. Mestre em Engenharia do Meio Ambiente pela UFG. Professor da Faculdade de Engenharia Ambiental – UniRV.

**Rênystton de Lima Ribeiro** <sup>(3)</sup>

Professor da Faculdade de Engenharia Ambiental – UniRV

**Nattacia Rodrigues Araujo Felipe Rocha** <sup>(4)</sup>

Professor da Faculdade de Engenharia Ambiental – UniRV

**Carlos Henrique Maia** <sup>(5)</sup>

Professor da Faculdade de Engenharia Ambiental – UniRV

**Endereço**<sup>(2)</sup>: Universidade de Rio Verde - Faculdade de Engenharia Ambiental - Fazenda Fontes do Saber - Caixa Postal 104 - Rio Verde - Goiás - CEP: 75901-970 – Brasil - Tel: +55 (64) 3611-2248 - e-mail: [weliton@unirv.edu.br](mailto:weliton@unirv.edu.br)

#### **RESUMO**

A disposição irregular dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gera uma série de impactos ambientais negativos. No município de Rio Verde - GO observa-se ainda um agravamento desse quadro devido o grande volume gerado desse resíduo, fazendo-se necessário à busca por mecanismos de gestão e reuso desse material. Em paralelo a este quadro, observa-se que as obras de pavimentação rodoviária absorvem uma grande quantidade de material para a construção de base e sub-base dos pavimentos. Nota-se ainda que este setor vem enfrentando dificuldades para a execução desse tipo de obra, visto a escassez de cascalho latéritico, material normalmente utilizado para tal finalidade. Assim, o objetivo dessa pesquisa refere-se a caracterização física e ensaios de resistência mecânica, dos agregados reciclados gerados no município de Rio Verde – GO, obtendo assim, informações sobre a qualidade do material. De forma a atender o objetivo da pesquisa, foram realizados ensaios de caracterização (Análise Granulométrica, Teor de Umidade e Limites de Consistência) e de resistência mecânica (Compactação, Expansão e índice de Suporte Califórnia - ISC) das amostras estudadas. Os resultados obtidos comprovaram a qualidade do material em referência a sua distribuição granulométrica bem com nos resultados dos ensaios de resistência mecânica, apontando dessa forma, a possibilidade do emprego do mesmo em obras civis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compactação, Entulho, ISC, Meio Ambiente.

#### **INTRODUÇÃO**

Ultimamente tem-se observado a escassez de materiais granulados para o uso em pavimento. São vários os motivos que levam essa carência, entre eles podem ser destacados a falta de enquadramento do material nas especificações tradicionais e localizações em Área de Preservação Permanente (APP) (REZENDE, 2003). A ausência de materiais nas proximidades dos centros urbanos acarreta na instalação de jazidas cada vez mais distantes, aumentando o custo do transporte desse material e do seu destino final. Além dos problemas de custos elevados, as novas jazidas acarretaram impactos ambientais como: poeiras, poluição sonora, geração de tráfego, assoreamento dos rios, poluição visual e reduz a vida útil dos aterros sanitários, (JOHN; AGOPYRAN, 2000).

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), gerados pela construção civil, comumente são considerados inúteis e causam inúmeros problemas socioambientais quando não dispostos de maneira adequada. Algumas experiências em várias partes do país e do mundo demonstram a viabilidade do aproveitamento desses

resíduos, em particular os constituintes de concretos; argamassas; e elementos cerâmicos, para a produção de agregado reciclado e a aplicação em camadas de pavimento, (LIMA, 2005).

Nunes (2004) esclarece que dos 5507 municípios brasileiros, apenas 2% têm algum tipo de tratamento de RCD. Com relação ao beneficiamento existem 16 unidades de reciclagem em operação no Brasil, sendo que apesar dos 20 anos de descobrimento da técnica de reciclagem o reaproveitamento não chega a 5% dos resíduos sólidos gerados (FERNANDES e MOTTA, 2009). Nesse contexto, no município de Rio Verde foi instalada uma Usina de Reciclagem de RCD, no entanto, visto a falta de incentivo a mesma encontra-se paralisada.

Moreira (2010) diz que a utilização de resíduos de construção e demolição em pavimentos flexíveis consolida como uma das alternativas mais viáveis, considerando que uma camada de 20 cm de espessura e 8 m de largura, depois de compactada consome cerca de 2,0m<sup>3</sup> de resíduos beneficiados, bem como da redução de danos ambientais, pois é comum a utilização de depósitos clandestinos nas margens dos rios e córregos, consolidando ainda as políticas de gestão de resíduos.

Em referência à disposição irregular de RCD no município de Rio Verde - GO, Merhi, Valerius e Almeida (2010) em seu estudo, detectaram 1.394 pontos de disposição irregular de RCD na cidade, sendo: 666 pontos pequenos, 545 pontos médios 160 pontos grandes e 23 bota-foras.

Nesse contexto, a Resolução CONAMA 307/2002 foi um marco decisivo no incremento das discussões e envolvimento de importantes setores da sociedade na busca de soluções alternativas para uso racional desses inertes, a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

A reciclagem dos RCD's na construção civil gera muitos benefícios como redução do consumo de recursos naturais não renováveis quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000). Seguindo a mesma linha de pensamento, Pinto (1999) afirma que este procedimento também contribui para redução de áreas dos aterros designadas para destinação do RCD, tendo em vista que essa minimização representa 50% da massa de resíduos sólidos urbanos.

No entender de Angulo et al (2003) a reciclagem de RCD é uma forma de aproximar o setor da sustentabilidade através da redução dos impactos negativos dos seus resíduos nas cidades e da geração de matéria prima que pode ser substituída pela natureza não renovável.

O agregado reciclado apresenta menor custo de transporte do que o agregado obtido em jazidas por estar distribuído em vários pontos da cidade, o uso do agregado reciclado na cidade de São Paulo reduziu 18% nos custos de pavimentação (MOTTA, 2005).

Para a reciclagem e utilização do RCD na construção civil é necessário que o material passe por um beneficiamento, pois com a adoção da técnica de uso de agregado reciclado em pavimentação reduz-se o consumo de 20% a 50% dos recursos naturais (LIMA, 2005).

A possibilidade de uso do material retirado induz a expectativa de economias consideráveis, uma vez que está se deixando de jogar fora um material a princípio nobre que pode perfeitamente ser reciclado (Resplandes; Rezende, 2005).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a realização da caracterização física e ensaios de resistência mecânica, dos agregados reciclados gerados no município de Rio Verde – GO.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O referido trabalho foi desenvolvido durante os meses de fevereiro a junho de 2015. Para as análises de laboratório foram coletados aproximadamente 150 Kg de agregado reciclado.

O agregado reciclado foi coletado na usina de reciclagem de RCD do município de Rio Verde, localizada próximo ao aterro sanitário, cedido pelos proprietários da usina. O material coletado foi encaminhado ao laboratório de análise geotécnicas, visando a realização dos ensaios necessários, descritos a seguir, conforme normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para cada uma dessas amostras foram realizados três repetições dos seguintes ensaios: Granulometria; Massa Específica dos Sólidos; Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.

Ainda, foram realizados os ensaios de Compactação; Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão, sendo utilizada nos mesmos as energias intermediária e modificada de compactação (26 e 55 golpes de soquete, respectivamente), sendo aqui também realizadas três repetições para cada energia empregada nos ensaios.

A Tabela 1 apresenta um resumo com os ensaios que foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos e Geotecnia da UniRV – Câmpus Rio Verde.

**Tabela 1: Relação dos ensaios de laboratório e suas respectivas normas técnicas.**

ENSAIO		NORMA ABNT
Granulometria		NBR 7181 (ABNT, 1984a)
Massa Específica dos Sólidos		NBR 6508 (ABNT, 1984b)
Limite de Liquidez		NBR 6459 (ABNT, 1984c)
Limite de Plasticidade		NBR 7180 (ABNT, 1984d)
Compactação	E. Intermediária	NBR 7182 (ABNT, 1984e)
	E. Modificada	
Expansão e Índice de Suporte Califórnia	E. Intermediária	NBR 9895 (ABNT, 1987)
	E. Modificada	

Para a análise do comportamento de cada parâmetro avaliado, foram computadas as médias dos resultados obtidos nas repetições, sendo este demonstrado no item que se segue.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para as análises de caracterização física e resistência mecânica obtida para o agregado reciclado estudado são apresentados nos tópicos seguintes.

### ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados obtidos nos ensaios de granulometria dos dois materiais estudados nesta pesquisa são apresentados na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2: Frações granulométricas dos materiais estudados.**

CARACTERÍSTICA DO MATERIAL CONFORME FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)	AGREGADO RECICLADO
Pedregulho	47,0
Areia Grossa	0,0
Areia Média	4,0
Areia Fina	37,0
Silte	4,0
Argila	8,0

Avaliando as frações granulométricas das amostras estudadas, percebe-se que o agregado reciclado enquadra-se na classe dos pedregulhos arenosos com baixo teor de finos, contendo um percentual de 47% de pedregulho, e 41% de areia. A análise granulométrica é representada, graficamente, pela curva granulométrica demonstrada na Figura 1.

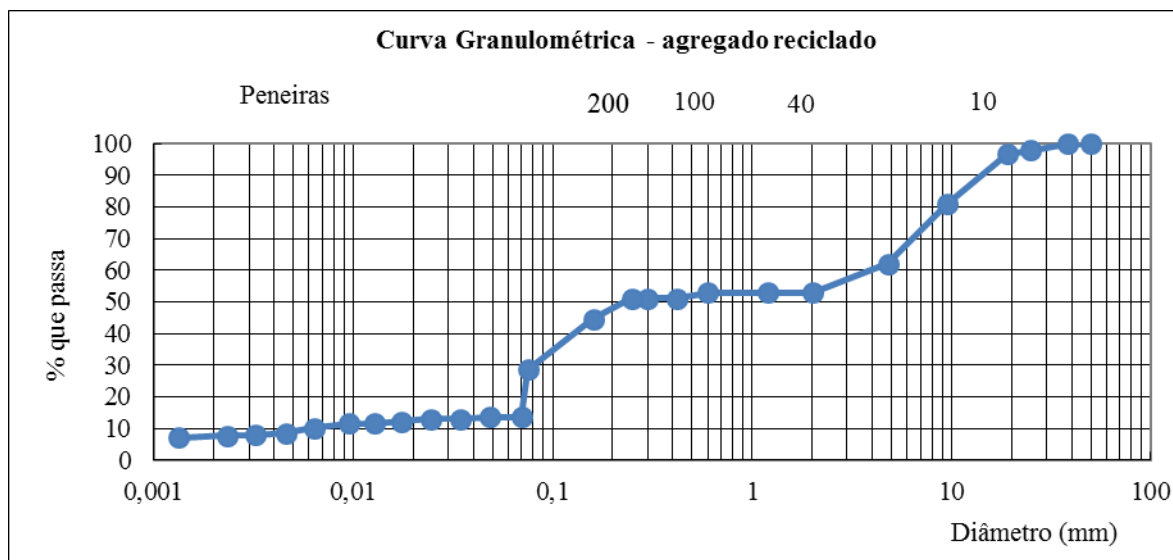


Figura 1: Curva granulométrica de amostras com defloculante para agregado reciclado.

Os teores encontrados nas análises granulométricas avaliadas para o material constatarem ainda a presença de lacunas em relação às faixas de granulometria, referente a parte fina para o agregado reciclado. Assim, cabe ressaltar que a mistura do mesmo com outros materiais utilizados em obras civis irá contribuir para a diminuição dessas desuniformidade detectada, podendo resultar em novas amostras com teores de resistência mais acentuados.

Corroborando com a pesquisa, Ribeiro (2006) relata que para a pavimentação o material a ser aplicado nas camadas de base e sub-base do pavimento deve estar enquadrado em uma das faixas granulométricas especificadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), tornando-se interessante, no caso do agregado reciclado, avaliar por meio de estudos específicos, se há necessidade ou não da realização de misturas, visando à obtenção de uma dosagem ótima para cada um dos elementos trabalhados nessa mistura.

## LIMITES DE CONSISTÊNCIA

O valor obtido para o limite de liquidez ( $w_L$ ) obedece ao teor de umidade correspondente à aplicação de 25 golpes no aparelho de Casagrande. Essa relação é obtida graficamente pelo comportamento de uma linha de tendência traçada para a relação existente entre o número de golpes e o teor de umidade para o ensaio de limite de liquidez.

Para o referido ensaio executado para o agregado reciclado, a amostra do material demonstrou-se ser um material não plástico, não apresentando trabalhabilidade suficiente e impossibilitando, dessa forma, a obtenção da linha de tendência para o material.

Devido à característica de trabalhabilidade do agregado reciclado, já mencionada anteriormente, não foi possível também realizar a determinação do limite de plasticidade ( $w_p$ ) e índice de plasticidade (IP).

## CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL

Mediante resultados de análise granulométrica e limites de consistência das amostras de agregado reciclado estudado, o mesmo foi classificado de acordo com o Sistema Unificado dos Solos (SUCS) e a *Transportation*

Reasearch Borad (TRB). O agregado reciclado foi classificado segundo SUCS como pedregulho arenoso e no sistema TRB enquadrar-se no grupo A-2-4 sendo classificada como grosso devido a maior presença de pedregulhos.

## ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

A compactação é uma forma de estabilizar os materiais que ocorre por meio de uma força de energia por apiloamento, onde aumenta o peso específico e a resistência ao cisalhamento.

Para o agregado reciclado foram obtidas as umidades e pesos específico aparente seco máximo de 18,9% e 1702 kg/m<sup>3</sup> para energia normal de; 17,2% e 1759 kg/m<sup>3</sup> para energia intermediária de 15,8% e 1790 kg/m<sup>3</sup> para energia modificada, respectivamente, conforme mostra o gráfico da Figura 2.

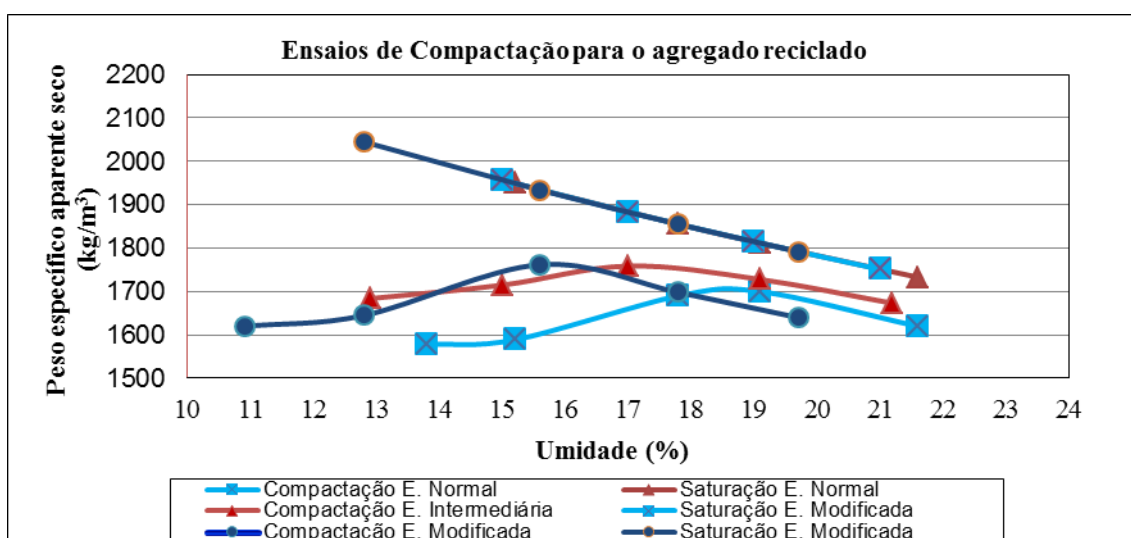


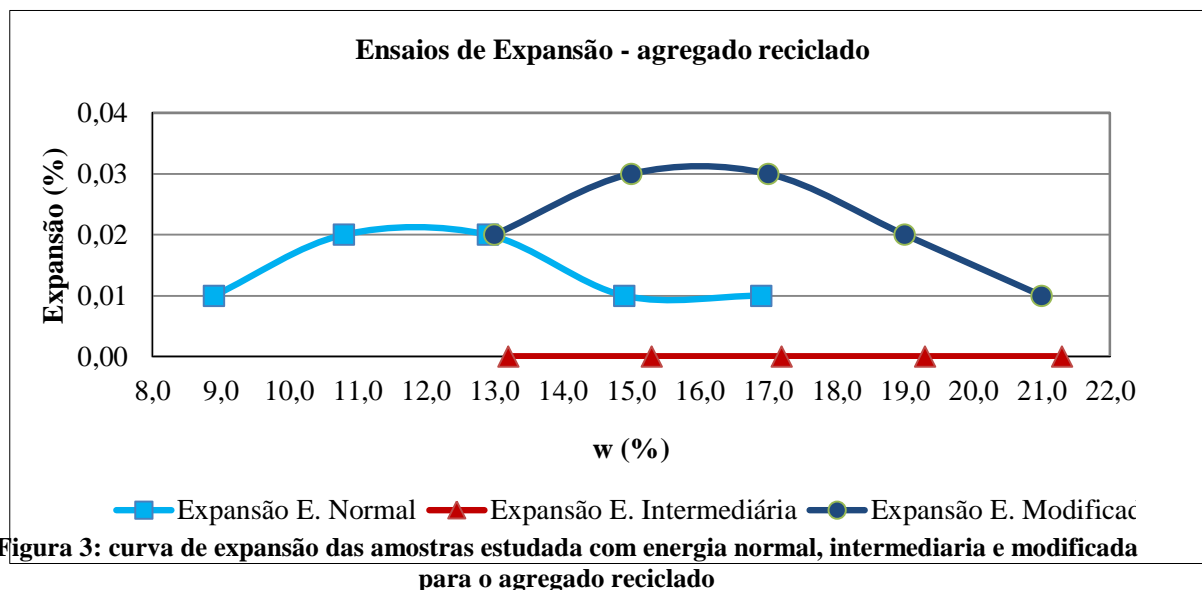
Figura 2: Curvas de compactação e de saturação para o agregado reciclado nas energias normal, intermediária e modificada.

É observado também para este material ensaiado o mesmo comportamento de redução do teor de umidade ótima e elevação do peso específico seco máximo, mediante o incremento da energia de compactação.

## EXPANSÃO E ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

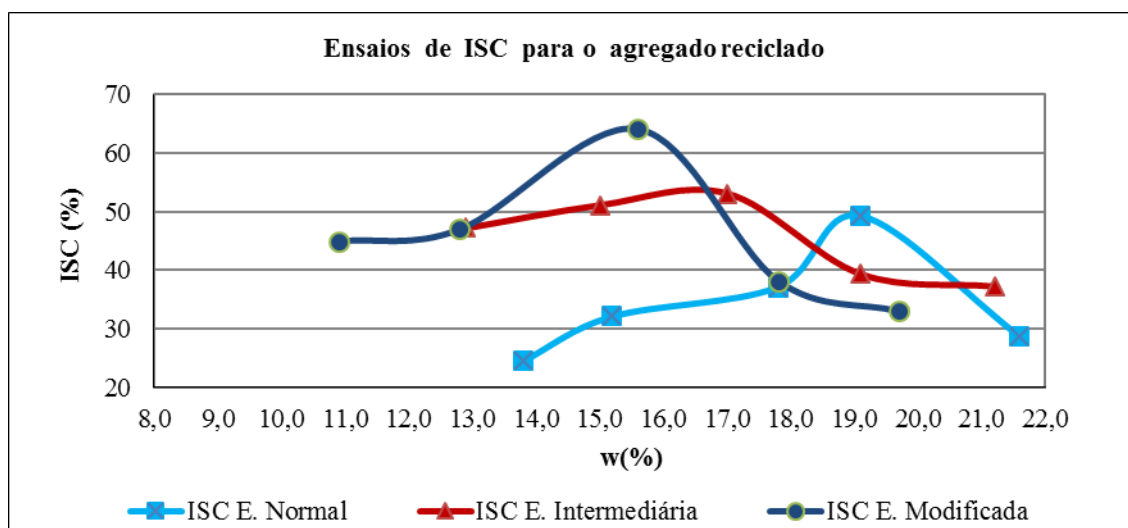
Os valores de expansão verificados para o agregado reciclado, conforme mostra a Figura 3, foram relativamente baixo, sendo em média, 0,02%, 0,00% e 0,03% para as energias normal, intermediária e modificada, respectivamente.

Tais porcentagens apontam que o material é pouco expansivo, sendo este dado um fator primordial para a utilização do mesmo em obras de pavimentação, visando à estabilidade e vida útil das camadas formadas com a sua presença.



Em relação aos resultados obtidos para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), foram obtidos valores superiores a 40% para energias normal e intermediária.

Os melhores resultados de resistência foram obtidos para a energia modificada, ultrapassando um índice de 60%, demonstrando assim que o material, quando trabalhado nessa faixa de emprego de energia de compactação apresenta uma elevada resistência mecânica, podendo ser empregado, por exemplo em pavimentos flexíveis. O comportamento das curvas dos ensaios de ISC é demonstrado na Figura 4.



## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A densidade com que o material é compactado sob uma determinada energia de compactação depende da umidade do mesmo no momento da compactação, concluindo dessa forma, de que há uma umidade ótima para compactação, com diferentes energias.



Os resultados de Índice de Suporte Califórnia comprovaram a baixa resistência do solo avaliado na pesquisa, bem como do potencial do agregado reciclado como material capaz de incrementar a resistência mecânica e a capacidade de suporte do mesmo.

A possibilidade da obtenção de misturas materiais tradicionais + agregado reciclado, com potencial de resistência mecânica, caracteriza-se com uma solução ecologicamente correta para a falta do gerenciamento adequado desse resíduo nos municípios brasileiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 15115: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro. 2004g. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 6508. Solo – grãos que passam na peneira 4,8mm- determinação da massa específica, Rio de Janeiro. 1984b.
2. \_\_\_\_\_. Solo: análise granulométrica: método de ensaio. – NBR –7181. Rio de Janeiro, 1984.
3. \_\_\_\_\_. Solo: ensaio de compactação: método de ensaio. – NBR –7182. Rio de Janeiro, 1982. ABNT.
4. \_\_\_\_\_. Solo: Índice de Suporte Califórnia: método de ensaio. - NBR – 9895. Rio de Janeiro, 1987.
5. \_\_\_\_\_. Solo: Limite de Liquidez: método de ensaio. – NBR- 6459. Rio de Janeiro, 1984.
6. \_\_\_\_\_. Solo: Limite de Plasticidade: método de ensaio. –NBR- 7180. Rio de Janeiro. 1984.
7. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2002). Resolução CONAMA 307 de 05 de Fevereiro 2002. <http://www.conama.org.br> (acesso em 27 de maio 2012).
8. FERNANDES, C. G.; MOTTA, L.M.G. (2005). Caracterização de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção Civil. Anais do XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. ANPET, Recife, p. 1351-1361.
9. JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à Metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 120p.
10. LIMA, F. S. N. de S. Aproveitamento de Resíduos de Construção na Fabricação de Argamassas. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba - CT, João Pessoa. 2005,93p
11. MERHI, A. M.; VALERIUS, M.B.; ALMEIDA, P. F. C.de. Avaliação das disposições de resíduos da construção civil e demolição no município de Rio Verde - GO. 2010. 65p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental)- Faculdade de Engenharia Ambiental, Fesurv- Universidade de Rio Verde, Rio Verde: 2010.
12. MOREIRA, L.H.H. Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural. Escola Politécnica. Universidade São Paulo. São Paulo, 2010. (dissertação de mestrado)
13. MOTTA, R. S. Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2005.
14. NUNES, K. R. A. Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição. Rio de Janeiro, 2004. 277p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
15. PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
16. RESPLANDES, H. M. S.; REZENDE, L. R. Reutilização do material betuminoso fresado nas camadas de sub-base e base de pavimentos. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG - CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005. 3.p.
17. REZENDE, L. R. Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis. Dissertação de Doutorado, G.TD-014A/03, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 372p. 2003.