



CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA USO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO

Natália Barbosa Barros¹, Raíssa Rodrigues Cardoso Farias², Adriana Torres Medeiros³, Priscila França de Melo Silva⁴, Maria Danielle Leão Oliveira⁵, Aline Calheiros Espíndola⁶

RESUMO: *O setor da construção civil é responsável por gerar volumes excessivos de resíduos sólidos. A gestão correta deste tipo de resíduos é importante devido ao impacto ambiental, econômico e social que a sua disposição pode causar. Por outro lado, o percentual das rodovias pavimentadas no Brasil ainda é muito pequeno em relação à extensão da malha rodoviária do país. Este serviço necessita de uma grande quantidade de matéria-prima, o que ocasiona na exploração de recursos naturais e em custos elevados. Os resíduos sólidos de construção e demolição -RCD são considerados inertes e podem ser reciclados na forma de agregados. A composição do resíduo influencia nas suas características e no seu desempenho, e depende de fatores como: região, natureza da obra e da tecnologia utilizada. Neste contexto, o presente trabalho avalia as características físicas e mecânicas do agregado reciclado de RCD da cidade de Maceió-AL afim de verificar seu emprego em camadas de pavimentação. Os resultados obtidos mostraram que o agregado reciclado atende as exigências estabelecidas por norma em relação aos parâmetros de granulometria, formato e composição. Quanto aos parâmetros de capacidade de suporte e expansibilidade, apresentou ISC de 63% e expansão nula, viabilizando tecnicamente seu uso em camadas de base e sub-base de pavimentação para tráfegos leves. Dessa forma, conclui-se que estudar alternativas para o uso de recursos naturais é uma maneira de diminuir os efeitos negativos ocasionados pela extração da matéria-prima e o descarte de resíduos, podendo ainda reduzir custos e contribuir para o desenvolvimento sustentável.*

PALAVRAS-CHAVE: *Agregado reciclado; Resíduos sólidos; Construção civil; Pavimentação.*

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade de destaque para o desenvolvimento econômico e social do país. Contudo, este setor é também responsável por gerar volumes excessivos de resíduos sólidos (IBGE\2016). De acordo com um estudo realizado em 2014 pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE são coletadas diariamente cerca de 24.066

¹¹ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões
Email: barbosanataliabarros@gmail.com

² Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões
Email: raissarodrigues.farias@gmail.com

³ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões
Email: adriana.medeiros@ctec.ufal.br

⁴ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões
Email: priscilaafms@gmail.com

⁵ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões
Email: danielleleaooliveira@outlook.com.

⁶ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A. C. Simões
Email: aline.espindola@ctec.ufal.br



toneladas de Resíduo da Construção Civil - RCC no Nordeste, ficando atrás apenas da região Sudeste com 63.469 t.dia⁻¹. O estudo indicou que houve um aumento de 4,1% na quantidade coletada de RCC no Brasil entre os anos 2013 e 2014.

A disposição inadequada desses resíduos ocasiona no assoreamento de córregos, danos à paisagem natural e proliferação de doenças, entre outros. Por outro lado, quando dispostos em aterros de inertes ocupam grandes espaços, diminuindo a vida útil do aterro e consequentemente aumentando a procura por novas áreas (PINTO\1999). Dessa forma, a gestão de RCC tem se tornado prática importante para sustentabilidade, de forma a diminuir os impactos ambientais causados pela extração de recursos naturais e pela disposição final inadequada dos resíduos gerados. O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA definiu como prioridade a não geração dos resíduos e em segundo a redução, reutilização, reciclagem e em último caso a disposição final (CONAMA\2002).

O RCC de classe A oriundo de construção, demolição, reformas e reparos provenientes de edificações ou pavimentação, pode ser reutilizado na forma de agregado produzido a partir do beneficiamento destes resíduos, que consiste no processo de triagem, britagem e peneiramento, e podem ser aplicados na produção de argamassas, concretos e pavimentação (GRUBBA\2009).

Sendo o Brasil um país com 1.720.915,60 km de malha rodoviária, da qual cerca de 78% não é pavimentada (CNT\2017), torna-se interessante o desenvolvimento de pesquisas que viabilizem o uso de materiais reciclados em pavimentação, de forma a minimizar os custos com a obtenção de matérias-primas e diminuir os impactos gerados com a exploração dos recursos naturais.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo estudar as propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil da cidade de Maceió/AL para emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

O agregado reciclado de resíduos sólidos de construção e demolição foi fornecido pela Usina de Reciclagem de Maceió – AL. Os resíduos provenientes de construção e demolição chegam na usina em caminhões caçambas e são depositados num pátio plano. Em seguida, o entulho passa por um processo de triagem manual, na qual são separados os materiais não minerais de natureza orgânica como: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados e os materiais contaminantes como: vidros e gesso. Os resíduos selecionados são britados e depositados em silos de acordo com as granulometrias: pedra 2, pedra 1, pedra 0 e pó de pedra. Neste estudo, o agregado reciclado foi coletado em três granulometrias: pedra 1, pedra 0 e pó de pedra, transportado em sacos plásticos e armazenados no Laboratório de Geotecnia da UFAL.

2.2 Natureza dos materiais constituintes

A determinação da composição dos agregados reciclados foi realizada por separação manual e análise visual dos grãos, segundo a NBR 15116. O Anexo A desta norma classifica os materiais nos seguintes grupos: Grupo 1: fragmentos que apresentam pasta de cimento endurecida em mais de 50% do volume; Grupo 2: fragmentos constituídos por rochas em mais de 50% do volume; Grupo



3: fragmentos de cerâmica branca ou vermelha, em mais de 50% do volume; Grupo 4: fragmentos de materiais não minerais de natureza orgânica como madeira, plástico, betume e materiais carbonizados, e de contaminantes como vidros, vidrados cerâmicos e gesso (ABNT/2004). Ainda segundo a NBR 15116, o agregado reciclado é classificado em Agregado Reciclado de Concreto – ARC, se a soma dos percentuais dos grupos 1 e 2 for maior ou igual a 90%, ou Agregado Reciclado Misto – ARM, se a soma dos percentuais dos grupos 1 e 2 for menor que 90%. A porcentagem de materiais do grupo 4 corresponde ao teor de materiais não minerais.

2.3 Índice de Forma e Formato dos Grãos

O Índice de forma é definido como a média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado graúdo (ABNT/1983). De acordo com a NBR 15116, o agregado reciclado deve apresentar o índice de forma menor ou igual a 3 para ser empregado em camadas de pavimentação. Neste trabalho o índice de forma foi determinado de acordo com os procedimentos descritos pela NBR 7809 – “Determinação do Índice de forma pelo método do paquímetro”. A NBR 15116 não faz alusão quanto ao formato dos grãos, mas esta é uma característica importante para agregado destinado a pavimentação. O formato dos grãos do agregado reciclado foi determinado de acordo com a NBR 6954 – “Lastro-padrão – Determinação da forma do material”.

2.4 Distribuição Granulométrica

As análises granulométricas dos materiais foram realizadas segundo a NBR 7181 “Solo – Análise granulométrica”. Afim de atender os parâmetros granulométricos estabelecidos pela NBR 15116, foi realizada uma dosagem com as três faixas granulométricas do agregado reciclado, de maneira que a mistura resultante se enquadrasse numa das faixas granulométricas estabelecidas pela DNER 303 – “Base Estabilizada Granulometricamente”.

2.5 Absorção de água

A absorção de água é a porcentagem de água que pode preencher os vazios superficiais de um agregado em relação a sua massa seca, e pode ser determinada ao imergir uma porção do agregado graúdo em água por 24 horas (SENÇO/1997). O ensaio foi realizado segundo a DNER- ME 081- “Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo”. A quantidade da amostra ensaiada foi definida em função da dimensão máxima característica dos grãos.

2.6 Compactação

O ensaio de compactação foi realizado para determinação dos valores de massa específica seca máxima e umidade ótima do agregado reciclado, seguindo os procedimentos indicados na NBR 7182 – “Solo – Ensaio de Compactação”. A NBR 15116 indica a energia intermediária para compactação do agregado reciclado destinados para base e sub-base de pavimentação. A influência da compactação na granulometria do agregado reciclado foi analisada por meio da análise granulométrica da amostra antes e depois do ensaio de compactação.



2.7 Índice de Suporte Califórnia

A NBR 15116 estabelece parâmetros para a capacidade de suporte e expansibilidade para classificação do agregado reciclado quanto ao tipo de emprego em camadas de pavimentação (Tabela 1). O ensaio foi realizado seguindo os procedimentos da NBR 9895 – “Solos – Índice de Suporte Califórnia - ISC”. O corpo de prova foi preparado na umidade ótima, determinada através do ensaio de compactação, compactado em 5 camadas com 26 golpes em cada e em seguida permaneceu submerso em água por quatro dias, onde foi observada sua expansão. Em seguida, procedeu-se com a penetração na prensa do corpo de prova para determinação do ISC.

Tabela 1. Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação

Aplicação	ISC (%)	Expansão (%)	Energia de compactação
Reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Base¹	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

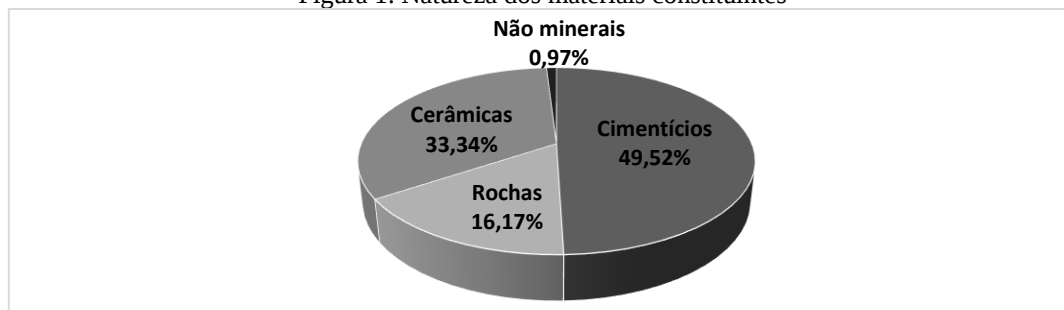
1)Somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf no período de projeto

Fonte: ABNT (2004)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Natureza dos materiais constituintes

Figura 1. Natureza dos materiais constituintes



Fonte: Autor 2018

A análise visual dos grãos classificou o agregado reciclado como Agregado Reciclado Misto, ou seja, é composto em menos de 90% de materiais cimentícios e de rochas. O teor de contaminantes foi de aproximadamente 1%, valor inferior aos 3% estabelecidos por norma. As porcentagens em massa dos grupos que compõem o material estão apresentadas na Figura 1.

3.2 Índice de Forma e Formato dos grãos

Tabela 2 Porcentagem dos formatos dos grãos presentes na amostra

Formato	%
Cúbica	61,02
Alongada	7,91
Lamelar	31,07
Alongada-Lamelar	0

Fonte: Autor 2018



O Índice de forma do agregado reciclado é de 2,4, atendendo ao requisito exigido. Em relação ao formato dos grãos, a amostra apresentou predominância do formato cúbico (Tabela 2). A forma cúbica apresentada pelos agregados reciclados, principalmente dos agregados reciclados mistos, resulta em partes da sua sensibilidade ao desgaste da superfície das partículas (FERNANDES/2004).

3.3 Distribuição granulométrica

A granulometria do agregado é uma das características que asseguram estabilidade aos pavimentos (DNIT/2006). A continuidade na granulometria dos grãos do agregado favorece o entrosamento entre eles e o melhor preenchimento de vazios (SENÇO/1997). A composição dos agregados reciclados foi realizada afim de que a mistura enquadrasse na Faixa C nas seguintes proporções: 40% de pó de pedra, 30% de pedra 0 e 30% de pedra 1. A Tabela 3 apresenta a distribuição dos grãos das três graduações, da mistura e os limites especificados pela Faixa C. Os resultados obtidos mostram que a mistura do agregado reciclado nas proporções estudadas atende aos limites estabelecidos pela NBR 15116 para aplicação em camadas de pavimentação. A Tabela 4 apresenta os resultados e os parâmetros estabelecidos por norma.

Tabela 3. Distribuição dos grãos das três faixas granulométricas

Peneira	Abertura (mm)	Pó de pedra	Pedra 0	Pedra 1	Mistura	Limites da Faixa C	
						Inferior	Superior
						Porcentagem passante (%)	
2”	38	100	100	100	100	100	1000
1”	25	100	100	94,75	98,83	100	100
3/8”	9,5	100	100	11,50	73,23	50	85
Nº4	4,8	100	53,54	5,49	62,26	35	65
Nº10	2	91,07	28,13	5,24	50,07	25	50
Nº40	0,42	42,92	14,23	3,28	26,80	15	30
Nº200	0.075	8,14	3,91	0,15	5,15	5	15

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4. Características granulométricas do Agregado Reciclado

Propriedade	Resultado	NBR 15116
Composição granulométrica	Cu =24,12	Cu >10
Dimensão máxima característica	25 mm	≤ 63 mm
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	26,80%	Entre 10% e 40%

Fonte: Autor (2018) e ABNT(2004)

3.4 Absorção de água

A absorção de água do agregado reciclado graúdo deste estudo é de 8,1%, similar aos resultados apresentados em outros estudos apresentados na Tabela 6. A absorção de água é uma das diferenças mais marcantes entre agregado natural e agregado reciclado, e depende da composição do entulho que gera o agregado reciclado. De uma forma geral, os agregados reciclados são mais porosos que os naturais, o que implica numa absorção de água mais elevada (CARNEIRO/2001).

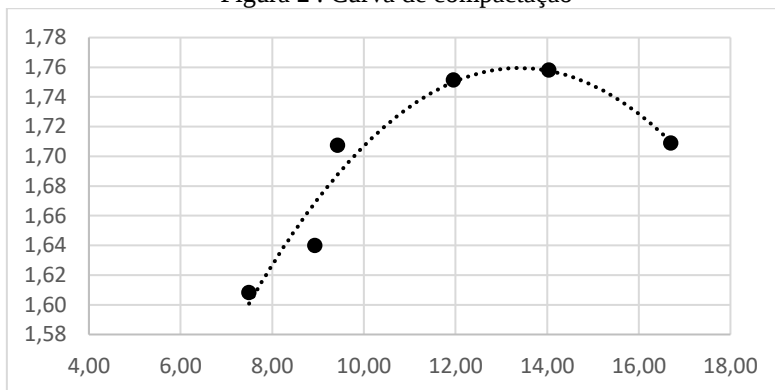
3.5 Compactação

O agregado reciclado apresentou valores de massa específica seca máxima de 1,76 g/cm³ e umidade ótima de aproximadamente 13,27%. A Figura 2 mostra a curva de compactação obtida através do



ensaio. Para fins de comparação, a Tabela 5 apresenta dados referentes à massa específica seca máxima, umidade ótima para agregado natural e agregado reciclado deste e de outros estudos.

Figura 2 . Curva de compactação



Fonte: Autor (2018)

Comparando os resultados do ensaio de compactação do agregado reciclado deste estudo com os resultados obtidos por Grubba (2009), observa-se que o agregado reciclado apresentou massa específica seca máxima inferior ao do agregado natural e umidade ótima superior ao deste. Este fato pode ser explicado em função do maior potencial de absorção de água do agregado reciclado em relação ao agregado natural. A diferença na umidade ótima do ARC e do ARM também pode-se justificar com a capacidade de absorção de água, uma vez que no ARM há uma maior quantidade de materiais cerâmicos que são mais porosos que os materiais cimentícios e rochas.

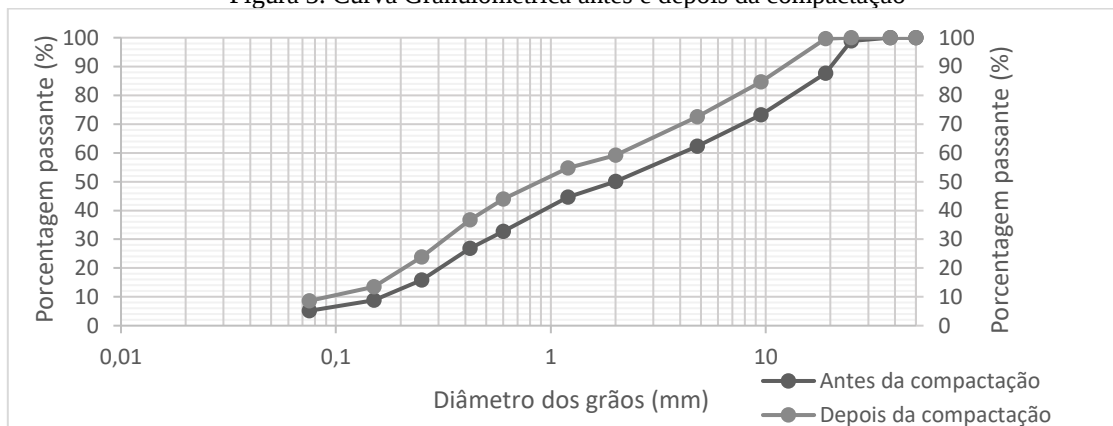
As alterações na granulometria do material após a compactação foram significativas, porém a granulometria resultante continuou atendendo os requisitos exigidos por norma (Tabela 5). A variação na distribuição dos grãos pode ser observada na Figura 3.

Tabela 5. Características granulométricas do Agregado Reciclado

Propriedade	Antes da compactação	Depois da compactação	NBR 15116
Composição granulométrica	Cu = 24,12	Cu = 22,22	Cu > 10
Dimensão máxima característica	25 mm	19 mm	≤ 63 mm
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	26,80%	36,68%	Entre 10% e 40%

Fonte: Autor (2018) e ABNT(2004)

Figura 3. Curva Granulométrica antes e depois da compactação



Fonte: Autor (2018)



3.6 Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia é um dos ensaios mais utilizados para determinar a capacidade de suporte dos solos e de materiais granulares empregados nos serviços de pavimentação. Pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão na amostra de solo ou material granular e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada (Senço/1997).

O agregado reciclado apresentou ISC de 63% e expansibilidade nula, atendendo o requisito estabelecido pela NBR 15116 e podendo ser aplicado em camadas de base e sub-base de pavimentação para vias de tráfego leve. Para fins de comparação, na Tabela 6 estão apresentados os resultados obtidos deste e de outros estudos. Nota-se uma variação significativa do CBR, que pode resultar de fatores como: composição, granulometria, umidade ou energia de compactação.

Tabela 6. Massa específica seca máxima, umidade ótima e absorção de água de agregados

Agregado	Massa específica seca máxima	Umidade ótima	Absorção de água	CBR	Fonte
Natural	2,33 g.cm ⁻³	7,1 %	2,2 %	-	Grubba (2009)
Reciclado	Concreto	1,87 g.cm ⁻³	12 %	4,6 %	Grubba(2009)
		1,69 g.cm ⁻³	16,2 %	8,2 %	Carneiro (2001)
	Misto	1,83 g.cm ⁻³	11 %	7,8 %	Motta (2005)
		1,76 g.cm ⁻³	13,27 %	8 %	Autor(2018)

Fonte: Indicada

4. CONCLUSÕES

O agregado reciclado em estudo apresentou boas condições técnicas para sua aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis para tráfegos leves, atendendo aos requisitos exigidos por norma e apresentando-se como uma alternativa para os materiais de origem natural.

O material nas proporções estudadas apresentou granulometria não uniforme, que se encaixa na Faixa C do DNIT. É classificado em Agregado Reciclado Misto, apresentando em sua composição predominância de materiais cimentícios e absorção de água de aproximadamente 8%. O teor de materiais não minerais em sua composição é abaixo do limite estabelecido por norma. Em relação ao comportamento mecânico, apresentou um ISC de 63% quando compactado na energia intermediária e expansão nula. O material apresentou variação na distribuição dos grãos após a compactação, porém continuou atendendo os requisitos exigidos para sua aplicação em pavimentação.

Outras pesquisas também mostraram bons resultados em relação ao agregado reciclado de RCD, porém ressalta-se que o desempenho do material está relacionado a sua composição e essa difere de região para região, sendo importante estudos específicos para cada tipo de material. Além disso, devem ser realizar estudos de viabilidade econômica afim de possibilitar seu emprego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2014.

Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf> >. Acesso em: 15 out. 2017.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181: Solos - Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 2004.

___ **NBR 7809:** Agregado Graúdo - Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.

___ **NBR 6954:** Lastro-padrão - Determinação da forma do material. Rio de Janeiro, 1987.

___ **NBR 7181:** Solos - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2004.

___ **NBR 9895:** Solos - Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2004.

___ **NBR 15116:** Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial de União, Brasília, DF. 17 de julho de 2002.

BOLETIM ESTATÍSTICO – JUNHO DE 2017 DA CNT. Brasília – DF. Mensal. Confederação Nacional de Transportes – CNT. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>> Acesso em: 15 out. 2017.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C. e ALBERTE, E. P. V. “**Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**” In: Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção, Editora da UFBA, Salvador, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de pavimentação.** Rio de Janeiro, 2006.

___ **DNER ME 081/98** Agregados - Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

___ **DNER ES 303/97** Pavimentação - Base Estabilizada Granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997.

FERNANDES, C. G. **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos da construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação.** 2004. 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária.** 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas Nacionais, número 49.** Produto Interno Bruto dos Municípios. Rio de Janeiro, 2016.

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos na construção urbana.** 1999. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1999.

SENÇO, W. “Manual de Técnicas de Pavimentação”. V. 1, 1.ed. São Paulo - SP: Pini, 1997.