

## INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO NA MODIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE FORMA E LAMELARIDADE DE BRITAS GRADUADAS SIMPLES

Ana Helena Back<sup>1</sup>; Amanda Vielmo Sagrilo<sup>2</sup>; Haline Dugolin Ceccato<sup>3</sup>; Angelo Magno<sup>4</sup>; Rinaldo José Barbosa Pinheiro<sup>5</sup>

**Resumo** – A utilização de materiais rochosos na engenharia civil é ampla e possui diversas aplicações, seja como agregado britado para a construção civil ou como suporte para as diferentes estruturas civis. Diversos estudos associam o desempenho dos agregados graúdos em rodovias (Arnold, 1993; Castelo Branco et al., 2006; Bessa, 2012) com a forma dos grãos. Dessa forma, o presente trabalho visa avaliar a influência da compactação na modificação das características de forma e lamelaridade de uma BGS, características essas, mensuradas pré e pós compactação. Para a determinação das características de forma dos agregados foram realizados os ensaios responsáveis pelo índice de forma (NBR 7809/08 e DNER-ME 86/94) e pelo índice de lamelaridade (DAER-EL 108/01 e ASTM d 4791/15). De posse das curvas granulométricas pré e pós compactação, detectou-se que AM02 exibiu uma granulometria mais fina, evidenciando fraturamento das arestas vivas no processo de compactação. Em adição, esse fato também foi identificado tanto nos ensaios de índice de forma quanto de lamelaridade, ficando evidente a diminuição da lamelaridade e possível aumento da cubicidade das partículas pós compactação. Dessa forma, conclui-se que o processo de compactação de uma BGS tende a influenciar na modificação das características de forma dos agregados minerais, todavia, tal comportamento não se torna tão pronunciado, uma vez que muito embora houve mudanças nas composições granulométricas, as mesmas se mantiveram dentro dos limites da Faixa “C”.

**Abstract** – The use of rocky materials in civil engineering is wide and has several applications, either as crushed aggregate for construction or mechanical support for different civil structures. Several studies associate the performance of coarse aggregates on pavements (Arnold, 1993; Castelo Branco et al., 2006; Bessa, 2012) with the grains shape. Thus, this work aims to evaluate the influence of compaction on the shape and lamellarity characteristics of a granular material (BGS), measured before and after samples compaction. In order to determine the shape characteristics, the tests responsible for shape index (NBR 7809/08 and DNER-ME 86/94) and lamellarity index (DAER-EL 108/01 and ASTM d4791/15) were performed. With the sieve analysis pre and post compaction, it was detected that AM02 exhibited a finer granulometry, showing fracture of sharp edges in the compaction process. In addition, this fact was identified in both shape and lamellarity indexes, evidencing a reduction in lamellarity and a possible increase in cubicity. It is concluded that the compaction process of a BGS tends to modified the shape characteristics of mineral aggregates, however, such behavior does not become so pronounced, although there were changes in the granulometric compositions, they remained within the limits of granulometric range.

**Palavras-Chave** – Agregados, Índice de Forma, Energia Modificada.

<sup>1</sup> Eng. Civil, Doutoranda, Universidade Federal de Santa Maria, (51) 99907-4227, anahback@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng. Civil, Doutoranda, Universidade Federal de Santa Maria, (55)99901-8464, amandavs94@gmail.com

<sup>3</sup> Geól., Mestranda, Universidade Federal de Santa Maria, (55) 98117-2433, haline.ceccato@gmail.com

<sup>4</sup> Eng. Civil, Mestrando, Universidade Federal de Santa Maria, (55)99134-1027, angelo.magno.eng@gmail.com

<sup>5</sup> Eng. Civil, Professor PPGE e Engenharia Civil/Ambiental da UFSM, (55) 3220-8313, rinaldo@ufsm.br

## 1. INTRODUÇÃO

Os agregados rochosos são os mais antigos materiais de construção de que o homem dispõe. Estes fragmentos de rocha são materiais granulares pétreos, sem forma ou volume definidos, obtidos por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia (Oliveira e Brito, 1998).

Para Maciel Filho e Nummer (2014) a estrutura e textura são características que podem definir a anisotropia e dar ideia da resistência mecânica das rochas, resistência esta que irá variar com a distribuição dos minerais. A resistência mecânica exige resultados satisfatórios nos ensaios laboratoriais que determinam propriedades dos agregados como: cor; durabilidade; resistência ao intemperismo; resistência à ação dos ácidos; trabalhabilidade, etc.

Diversos estudos associam o desempenho dos agregados graúdos em rodovias (Arnold, 1993; Castelo Branco et al., 2006; Bessa, 2012) com a forma dos grãos. Em adição, a Federal Highway Administration descreve que os agregados correspondem por 80% da responsabilidade de precaver o ATR, demonstrando a importância de um esqueleto mineral bem dimensionado e correta caracterização dos parâmetros de forma, angularidade e textura superficial dos agregados a fim de garantir o intertravamento dos grãos e conseqüentemente o ganho de rigidez da estrutura.

Para tal, o presente trabalho visou avaliar a influência da compactação na modificação das características de forma e lamelaridade de uma Brita Graduada Simples (BGS), características essas, mensuradas a partir de uma mistura de referência e em três amostras submetidas ao processo de compactação, por meio de ensaios laboratoriais amplamente utilizados no estado. Normativas estas, pertencentes à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER/RS) e American Society of Testing and Materials (ASTM).

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 2.1. Caracterização da Área de Estudo

No estado do Rio Grande do Sul, quatro grandes domínios morfoestruturais são conhecidos a partir das características geológicas e estruturais de suas rochas. Ao Norte do estado localiza-se o Planalto de Derrames, formado por derrames basálticos e caracterizado pelo relevo acidentado. Na costa Leste do estado situa-se a Planície Costeira, que é formada por terrenos arenosos e de baixa altitude. No entorno da fralda do platô localiza-se a Depressão Periférica que apresenta relevo e coxilhas suaves e possui como limite territorial o Escudo Sul-rio-grandense, que por sua vez, possui rochas do tipo ígneas, metamórficas e sedimentares (Becker e Nunes, 2012).

O Planalto Meridional juntamente do Escudo Sul-rio-grandense representam as duas principais unidades litoestratigráfica com maior importância econômica para o estado, em virtude da extensa aplicação das rochas ígneas e metamórficas como material pétreo na construção civil. A Figura 1 apresenta o mapa da localização geográfica da jazida adotada para o estudo, essa, localizada na interseção entre as províncias do Planalto Meridional e Planície Costeira.

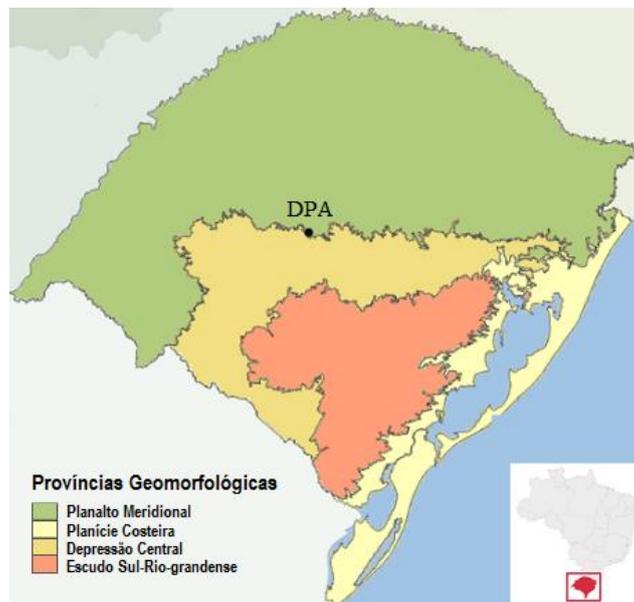


Figura 1. Mapa da localização geográfica da pedreira estudada.

A Pedreira Della Pasqua localiza-se no município de Itaara sob as coordenadas geográficas: 228402.58m W / 6724545.40m S. O processo de beneficiamento do afloramento rochoso ocorre em forma de bancadas de extração cuja altura atinge cerca de 7 metros, como exibido na Figura 2. Após análise microscópica de lâminas delgadas fabricadas com o intuito de determinar a composição mineralógica e conseqüentemente sua classificação rochosa, a rocha em questão foi classificada como rocha ígnea vulcânica ácida – Riodacito, detentora de coloração cinza claro com tons escuros e de níveis de intemperização que vão de moderado a alto.



Figura 2. Vista superior da área de lavra da pedreira Della Pasqua

## 2.2. Ensaio Laboratoriais

Na tentativa de se avaliar a influência da compactação na modificação das características de forma e lamelaridade de uma Brita Graduada Simples, adotou-se como granulometria de referência o centro da faixa da curva granulométrica Faixa “C” (DNIT 2006). As amostras avaliadas pós compactação (AM01, AM02, AM03), foram moldadas com as mesmas porcentagens retidas que a curva de referência, localizando-se no centro da Faixa “C”.

Foram realizados ensaios de forma e lamelaridade na fração graúda do material rochoso coletado da pedreira, mediante procedimento de quarteamento e peneiramento, visando obtenção das partículas retidas nas peneiras que se define a Faixa “C”, de modo a se obter as características inerentes ao material de origem. No referido artigo, o material de origem possui a nomenclatura de “amostra referência”.

Para a determinação das características de forma dos agregados graúdos foram realizados quatro ensaios laboratoriais, estes, oriundos das principais normas vigentes e utilizadas no estado do Rio Grande do Sul, sendo dois destes responsáveis pelo índice de forma do agregado graúdo (NBR 7809/08 – Método do Paquímetro Digital e DNER-ME 86/94 – Método dos Crivos Redutores) e dois responsáveis pela determinação da lamelaridade da partícula (DAER-EL 108/01 – Índice de Lamelaridade; ASTM d 4791/15 – Paquímetro Calíper), conforme exibido na Figura 3.



Figura 1. (a) Paquímetro Digital; (b) Placa de Lamelaridade; (c) Paquímetro Calíper; (d) Crivos Redutores.

O método do paquímetro digital considera duas dimensões da partícula do agregado, criando uma correlação entre a maior e a menor dimensão. Deve-se medir o comprimento (maior dimensão possível) e a espessura (tomada como a menor distância possível entre planos paralelos entre si) de 200 partículas de agregado, seu índice varia de 0 a 3, onde mais próximo de 1 indica ótima cubicidade. No que diz respeito ao método dos crivos redutores, se determina a variação dos eixos multidirecionais das partículas que compõem o agregado através de crivos redutores circulares e retangulares.

De cada fração que é composta a amostra após seu peneiramento nos crivos circulares (cujo peso é determinado pela norma, baseando-se nas diferentes aberturas dos crivos circulares), passa-se as partículas retidas no crivo redutor retangular de abertura igual à metade do tamanho diretriz correspondente, anotando-se o seu peso (Crivo I). O material que passar no Crivo Retangular I deverá ser testado no Crivo Retangular II de abertura igual a 1/3 do tamanho diretriz de cada fração, anota-se o peso do material retido. O índice que varia de de 0 a 1, onde mais próximo de 1 indica elevada Cubicidade.

O ensaio responsável pela determinação do índice de lamelaridade (i.e. quando a espessura do agregado é menor que 0,6 da sua dimensão nominal) dos agregados é regido pela norma do DAER/RS e utiliza como amostragem as mesmas partículas utilizadas no ensaio do método do paquímetro digital. Ele compreende em passar as 200 partículas de cada fração na abertura correspondente da placa de lamelaridade, determinando-se os pesos das partículas passantes e calculando a relação entre a massa passante e a massa total da amostra. Por sua vez, o ensaio do Paquímetro Calíper, regido pela norma ASTM d4791/15, determina o percentual de partículas planas, alongadas e planas/alongadas (i.e., lamelares).

No paquímetro, o parafuso pode ser ajustado para que partículas com relações entre a maior e menor dimensões de 2:1, 3:1, 4:1 ou 5:1 sejam identificadas. Na presente pesquisa foram ensaiados apenas a dimensão 3:1. As partículas serão planas e alongadas se ao colocar na maior abertura o comprimento da partícula e na relação com a menor abertura passar sua espessura.

No que tange ao procedimento de compactação, o mesmo seguiu as instruções do Manual da Rede Temática de Asfalto (2010), que visa padronizar diretrizes para moldagem de amostras de solos e britas destinadas ao ensaio triaxial de cargas repetidas. As condições de compactação dos CP's se definem por: energia modificada (27,3 kgf.cm/cm<sup>3</sup>); altura de queda: 30,5 cm; peso do soquete: 2,5 kgf; número de golpes por camada: 56 golpes; número de camadas: 10 camadas.

Visando-se avaliar a ocorrência ou não de quebra das partículas graúdas promovida pela compactação e conseqüentemente, modificações das características de forma e lamelalidade, foram compactadas três amostras de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura através da utilização de cilindros tripartidos, respeitando os parâmetros de teor de umidade ótima e massa específica aparente seca, obtidos por meio de curvas de compactação. Após a compactação das três amostras, procedeu-se com a desagregação dos CP's, e foram proferidos os ensaios de granulometria, índice de forma e índice de lameridade.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

A Tabela 1 engloba os resultados referentes às granulometrias de referência e pós compactação, de forma que a "Curva Referência" se caracterize pelo material original (i.e., centro da Faixa "C" do DNIT 2006) e as "AM01" "AM02" e "AM03", os materiais submetidos ao processo de compactação. De forma análoga, a Figura 4 ostenta as curvas granulométricas dos materiais supracitados.

Tabela 1. Porcentagem passante das granulometrias referentes às amostras pré e pós compactação.

Peneiras	Diâmetro (mm)	Curva Referência (% Passante)	AM01 (% Passante)	AM02 (% Passante)	AM03 (% Passante)
1"	25	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19	95,00	94,86	97,04	95,23
1/2"	12	80,00	78,02	84,46	83,33
3/8"	9,5	70,00	65,70	75,83	73,47
nº 4	4,75	45,00	39,08	52,09	43,82
nº 10	2	35,00	30,08	41,44	32,50
nº 40	0,425	20,00	18,23	25,83	19,45
80	0,177	12,00	12,23	14,92	12,61
200	0,074	8,00	7,19	10,60	8,59

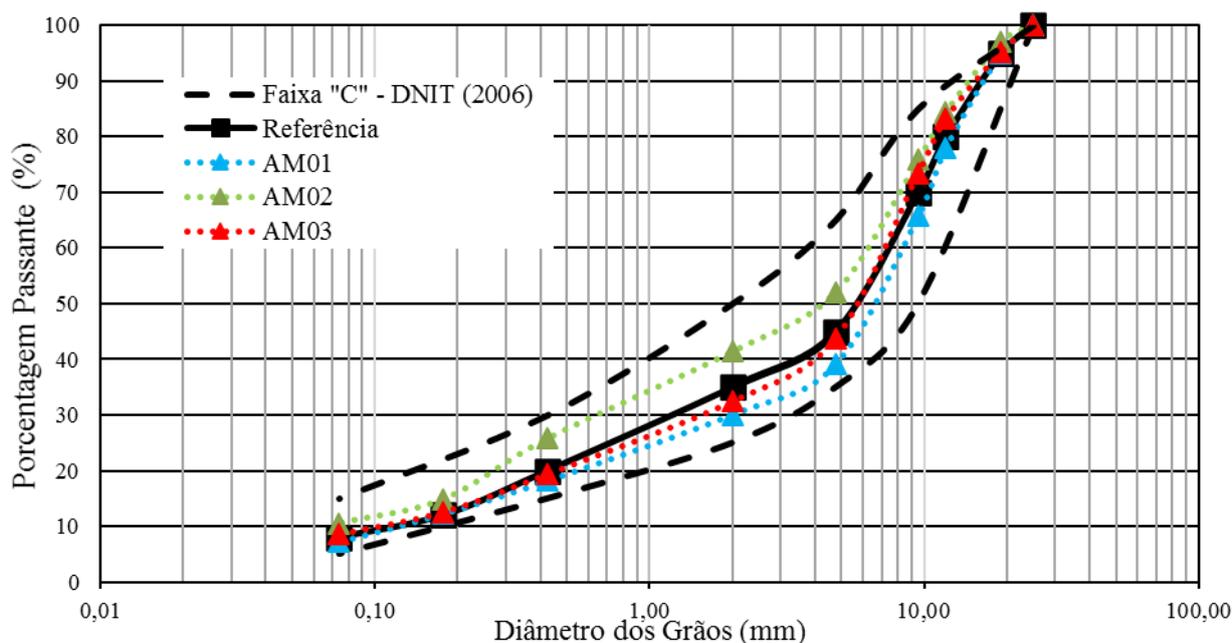


Figura 2. Curvas granulométricas de referência e das amostras pós compactação.

De posse das curvas granulométricas, detectou-se que a AM02, cuja granulometria foi realizada após a compactação, foi a única amostra a apresentar significativa alteração da granulometria em relação à referência, de forma a torna-se uma granulometria mais fina, possivelmente evidenciando fraturamento das arestas vivas das partículas graúdas no processo de compactação e conseqüentemente, diminuição da dimensão dos agregados graúdos.

A AM03 também exibiu redução nas dimensões de suas partículas, especialmente nas peneiras de maiores aberturas (3/4", 1/2" e 3/8"), entretanto, a diminuição ocorreu de forma menos pronunciada, podendo esta estar dentro do erro associado ao ensaio.

A Tabela 2 exhibe os valores referentes aos ensaios de índice de forma e índice de lamelaridade. Não foram realizados ensaios de forma e lamelaridade nas AM01, AM02, AM03 pré compactação, todavia, a amostra referência se define pelo comportamento de forma/lamelaridade que a jazida tende a apresentar, uma vez que os mesmos foram realizados mediante quarteamento das pilhas, conforme exigência das normas.

Vale ressaltar que para o ensaio dos Crivos Redutores, quanto mais próximo de 1, maior a cubicidade da partícula e quanto mais próximo de 0,5 maior sua lamelaridade. No que tange ao ensaio do Paquímetro Digital, quanto mais próximo de 1, maior a cubicidade, e quanto mais próximo de 3, maior sua lamelaridade.

Tabela 2. Valores referentes aos ensaios de forma e lamelaridade das amostras pré e pós compactação.

		Referência	AM01	AM02	AM03	Média (Amostras)	Desvio Padrão	COV (%)
IF (Crivos Redutores)	-	0,77	0,84	0,79	0,89	0,84	0,04	4,9
IF (Paquímetro Digital)	#3/4"	2,66	2,21	2,28	2,20	2,23	0,04	1,6
	#1/2"	2,71	2,07	2,37	2,12	2,19	0,13	6,0
	#3/8"	2,40	2,20	2,22	2,18	2,20	0,02	0,7
IL (Placa Calíper) (%)	#3/4"	37,0	7,4	8,4	5,3	7,03	1,29	18,4
	#1/2"	37,5	14,8	25,3	12,0	17,37	5,72	33,0
	#3/8"	27,7	18,0	18,6	23,2	19,93	2,32	11,7

IL (Placa DAER/RS) (%)	#3/4"	38,86	32,48	19,69	5,34	19,17	11,09	57,8
	#1/2"	32,20	12,22	22,77	12,76	15,92	4,85	30,5
	#3/8"	17,64	12,17	19,23	13,56	14,99	3,05	20,4

Em análise à tabela acima, identifica-se que todas as amostras compactadas apresentaram aumento na cubicidade das partículas em relação a referência, algumas em maiores proporções (AM01 e AM03) e outras em menores proporções (AM02), fato ocorrido tanto para o ensaio dos Crivos Redutores, quanto para o ensaio do Paquímetro Digital.

O mesmo fato pode ser detectado nos ensaios de lamelaridade, onde todas as amostras compactadas exibiram redução na porcentagem de partículas lamelares em relação à amostra de referência, sendo a AM03 a de redução mais expressiva. Em adição, dentre todas as amostras, a AM03 evidenciou significativa redução de partículas lamelares principalmente nas peneiras 3/4", 1/2" e 3/8" que foram justamente as peneiras que exibiram aumento de finos no ensaio de granulometria pós compactação, em relação à mostra referência.

Entretanto, vale ressaltar que, muito embora a AM02 tenha sido a amostra a apresentar maior alteração da granulometria em relação à referência, de forma a tornar-se uma granulometria mais fina, a porção que indica de forma mais significativa o aumento de partículas finas se dá a partir da peneira de nº 4, sendo, dessa forma, indetectável ao ensaio de índice de forma e índice de lamelaridade, uma vez que as partículas ensaiadas sejam partículas graúdas.

De posse da Tabela 2, também pode-se inferir que a amostra de referência apresenta índice de forma pelo Paquímetro Digital de aproximadamente 2,59, o que caracteriza baixa cubicidade por parte do agregado graúdo, fato esse também identificado nos ensaios de índice de lamelaridade, cuja média das amostras da "Placa do DAER/RS" atinge aproximadamente 30%, valor próximo ao limite estabelecido pelo DAER ES-P 15/91 que é de 40%.

#### 4. CONCLUSÕES

Dispondo da análise dos resultados, conclui-se que o processo de compactação de uma BGS influencia na modificação das características de forma e lamelaridade dos agregados minerais, fato justificado pela alteração das curvas granulométricas das amostras AM01, AM02 e AM03 pós compactação.

O possível fraturamento das arestas vivas das frações graúdas no procedimento de compactação pode ser detectado nos ensaios de forma, cujos agregados exibiram um leve aumento da cubicidade em relação a amostra referência, todavia, tal comportamento pode ser oriundo da própria heterogeneidade do material granular, uma vez que não foram realizados ensaios de forma nas amostras pré compactadas apenas na amostra quarteada oriunda da jazida.

Entretanto, em relação a lamelaridade, as amostras pós compactação exibiram uma expressiva redução de lamelaridade em comparação à amostra referência que, embora possa estar associado à heterogeneidade do material rochoso como supracitado, também tende a indicar de fato uma relação entre a compactação e a quebra das partículas.

Uma das justificativas para o aumento de cubicidade dentre todas as amostras pós compactadas, se dá pela elevada lamelaridade que a amostra de referência exibe, de forma que partículas lamelares tendem a se fraturar quando as mesmas são submetidas à alguma incidência de carga, como por exemplo, os rolos compressores. As análises granulométricas pós compactação corroboram com a alteração da forma das partículas, uma vez que de fato ocorreu mudança na composição granulométrica.

Todavia tenha sido identificado alteração na composição granulométrica das amostras pós compactação, em adição a uma possível alteração das características de forma, salienta-se que tais modificações não foram tão severas, uma vez que todas as amostras pós compactação se encontram dentro da faixa de aceitação definida por DNIT (2006) como "Faixa C", fato exibido na Figura 4.

Da mesma forma, conclui-se que a tendência à lamelaridade por parte da Rocha Vulcânica – Riodacito é um padrão comportamental das rochas vulcânicas, em virtude do fluxo horizontal que a lava gera após o derrame vulcânico, como mostrado por Back (2018).

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Rede de Tecnologia em Asfalto ANP/ PETROBRAS.

## REFERÊNCIAS

ABNT (2008), Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 7809. Agregados Graúdos. Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro, Rio de Janeiro.

ARNOLD, G.P. (1993). “*Estudo do comportamento mecânico de basaltos alterados do Rio Grande do Sul para emprego em pavimentos rodoviários*”. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS.

ASTM (2015). American Society of Testing and Materials. ASTM d4791- Partículas achatadas e alongadas no agregado graúdo (Paquímetro Calíper).

BACK, A.H. (2018). “*Avaliação das Propriedades Químicas e Geomecânicas de Agregados Oriundos de Jazidas de Rochas de Diferentes Litologias do Estado do RS*”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria / UFSM, Rio Grande do Sul, 179 p.

BECKER, E.L.S.; NUNES, M. P. (2012) “*Relevo do Rio Grande do Sul, Brasil e sua apresentação em maquete*.” Revista Percurso - NEMO, Maringá, v. 4, n. 2, p. 113- 132, Maringá.

BESSA, I.S. (2012). “*Avaliação do processamento digital de imagens como ferramenta para caracterização de agregados e misturas asfálticas*.” Dissertação de Mestrado, Fortaleza, Ceará / UFC.

CASTELO BRANCO, V.T.F.; MASAD, E.; LITTLE, D.N.; SOARES, J.B.; MOTTA, L.M.G. (2006) “*Caracterização de forma, angularidade e textura de agregado de brita granítica e escórias de aciaria usando o Aggregate Imaging Measurement System (AIMS)*”. In: XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasília, DF.

DAER (1991), Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. DAER-ES-P 15. Tratamento Superficial Duplo. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

DAER (2001), Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. DAER-EL 108. Agregado Graúdo - Determinação do índice de lamelaridade. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

DAER (1994), Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-ME 86. Agregado - Determinação do Índice de Forma – Método dos Crivos Redutores. Rio de Janeiro.

DNIT (2006), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. “*Manual de Pavimentação*”. Rio de Janeiro.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER A. V. (2014). “*Introdução à Geologia de Engenharia*” – Santa Maria: Editora UFSM.

OLIVEIRA, A. M.; BRITO, S. N. (1998). “*Geologia de Engenharia*” - São Paulo: ABGE, 586 p.

REDE (2010), Rede Temática de Asfalto. “*Manual de Execução de Trechos Monitorados*”. Rede Temática de Tecnologia em Asfalto. Petrobras.