



Caracterização de Rochas Utilizadas como Agregados em Misturas Asfálticas Produzidas no RS e sua Relação com a Adesividade

Chaveli Brondani

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, chavelib@gmail.com

Cléber Faccin

Centro de Ensino Superior Riograndense, Marau, RS, Brasil, crfaccin@gmail.com

Gabriela Gheralde

Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS, Brasil, ggheralde@gmail.com

Lucas Luiz Dal Bosco

Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS, Brasil, lldalbosco@gmail.com

Ravi Gabriel dos Santos Pinheiro Sampaio

Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, RS, Brasil, sampaiogabivi@gmail.com

Andrea Valli Nummer

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, a.nummer@gmail.com

Luciano Pivoto Specht

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, luspecht@gmail.com

RESUMO: A identificação e compreensão do comportamento das rochas utilizadas como agregados podem evitar possíveis deficiências em projetos de engenharia. O objetivo deste artigo é apresentar os resultados de adesividade do ligante-agregado, correlacionando-os com aqueles oriundos da caracterização petrográfica e a textura obtida do AIMS2 para diferentes agregados de pedreiras do Rio Grande do Sul. Foram escolhidos diversos tipos de agregados, sendo a petrografia descrita conforme a norma DNER – IE 06/94 e a adesividade pela norma DNER-ME 78/94. Os resultados dos ensaios de adesividade foram considerados não satisfatórios, porém, foi estabelecido de forma visual, o que seriam considerados resultados excelentes até muito ruins. Texturas faneríticas muito finas a finas, todas microporfíricas, apresentaram valores de textura pelo AIMS2 entre 465-774, sendo classificadas como muito rugosas e, portanto, apresentaram adesividades melhores. Já rochas com texturas faneríticas médias a grossas apresentam valores de textura mais baixos (entre 253 e 168) e adesividades piores.

PALAVRAS-CHAVE: Agregados, Caracterização, Adesividade, Petrografia, AIMS.

1 INTRODUÇÃO

A maioria das rodovias pavimentadas do estado do Rio Grande do Sul são construídas de pavimentos flexíveis, utilizando como



revestimento o concreto asfáltico. Para misturas asfálticas densas, os agregados representam cerca de 90% a 95% em massa e 80% a 90% do volume, bem como são responsáveis por resistir boa parte da carga imposta ao revestimento, sendo, então, fundamentais ao desempenho do pavimento.

Conforme Mendes (2011), os agregados em um concreto asfáltico cumprem o papel de esqueleto da mistura e as características que lhes conferem resistência são dureza, textura superficial, angularidade, forma e sua distribuição granulométrica.

A adesividade entre o asfalto e o agregado pode ser avaliada através de métodos de análise visual ou de análise do comportamento mecânico das misturas asfálticas. Serão apresentados neste estudo aspectos mineralógicos e texturais de agregados valendo-se dos ensaios de análise petrográfica e de processamento digital de imagens utilizando o AIMS2, respectivamente. A adesividade será avaliada por meio da realização do ensaio de adesividade ao ligante betuminoso. A identificação e compreensão do comportamento das rochas utilizadas como agregados, bem como sua interação com o ligante asfáltico, podem evitar possíveis deficiências em projetos de engenharia.

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados de adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso correlacionando-os com aqueles oriundos da caracterização petrográfica e textura obtida do *Aggregate Imaging Measurement System* – AIMS2 para diferentes agregados de pedreiras do Rio Grande do Sul. Foram escolhidos agregados de basalto, olivina-diabásio, diabásio, riodacito, dacito, andesito e sienogranito que foram descritos conforme a norma.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Specht & Sassi (2016) realizaram um

levantamento onde foram identificadas noventa e quatro usinas de concreto asfáltico no Rio Grande do Sul, distribuídas em distintas regiões geológicas do estado, demonstrando uma riqueza de agregados muito grande. Mesmo com este alto número de usinas espalhadas pelo Rio Grande do Sul, ainda existe uma carência de estudos que tratem do comportamento mecânico e da relação ligante/agregado nas misturas produzidas e aplicadas no estado.

2.1 Classificação e origem morfológica dos agregados

As rochas naturais são classificadas pelos geólogos em três grandes grupos: ígneas (ou magmáticas), sedimentares e metamórficas, sendo o comportamento mecânico delas definido pela sua mineralogia, arranjo estrutural e granulometria, cada qual com maior importância relativa conforme o tipo de rocha (OLIVEIRA; DE BRITO, 1998).

O estado do Rio Grande do Sul pode ser dividido em quatro grandes províncias geológicas, que segundo Menegat et al. (1998) podem ser identificadas a partir das características geológicas e estruturais das rochas e modelados da superfície, conforme Figura 1. Os agregados produzidos no estado acabam tendo diferentes características justamente por serem obtidos de distintas formações geológicas.

Ao observar a Figura 1, identifica-se o domínio da Província Costeira, que está localizado na costa leste do estado e é constituída por um rosário de pequenas lagoas isoladas e encravadas em depósitos arenosos, de idade quaternária. Já ao norte, identifica-se o Planalto Meridional, formado por extenso platô de rochas vulcânicas básicas e ácidas. As terras baixas, localizada no entorno da fralda do platô, compõem-se de coxilhas suaves e planícies fluviais, que formam a Depressão Periférica, domínio constituído por rochas sedimentares



paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná.

Na porção sudeste do estado, evidencia-se o Escudo Sul-Rio-Grandense, planalto constituído por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares geologicamente mais antigas. Segundo Viero (2010), esse domínio está formado por associações de rochas ígneas de composição predominantemente granítica, as quais, normalmente, são intrusivas em um conjunto de rochas metamórficas, representadas por extenso complexo de gnaisses e mármores. Estes, por sua vez, estão recobertos por um pacote com cerca de 5.000m de espessura de rochas sedimentares, intercaladas a rochas vulcânicas, cujas afinidades variam entre magmas básicos a ácidos na forma de lavas e rochas piroclásticas, que compõem a Bacia do Camaquã.

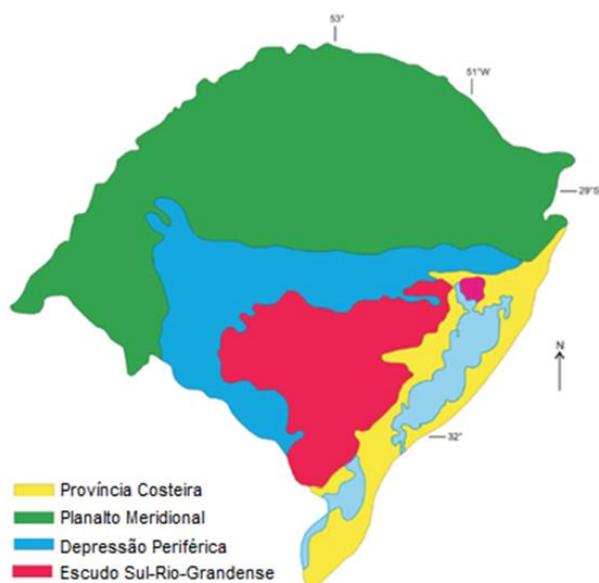


Figura 2 - Províncias geológicas que constituem o estado do Rio Grande do Sul

Considerando a grande variedade de rochas que existem, Salgado (2005) afirma que a seleção dos materiais granulares para produzir as misturas asfálticas deve ser feita pela identificação da graduação, da dureza, da aspereza da superfície, do tamanho, da sanidade, da afinidade ao CAP (adesividade) e da absorção de água pelas partículas.

2.2 Adesividade

De acordo com Kennedy et al. (1983), a presença de umidade na mistura asfáltica pode provocar uma série de danos que acabam por refletir na vida de serviço do revestimento asfáltico, causando maiores necessidades de intervenções e manutenções. A coesão da mistura é modificada pelo descolamento do ligante asfáltico do agregado, acarretando mudanças de propriedades importantes como a flexibilidade, resistência à tração e rigidez.

Furlan (2006) explica que manter a mistura coesa é papel do cimento asfáltico (aderente) aderir ao agregado (aderido), sendo que este processo acontece devido às propriedades do ligante como viscosidade, poder de molhagem e tensão superficial além das propriedades do agregado como a forma, textura superficial, absorção e composição mineralógica. Gouveia (2006) constata que as maiores causas da ocorrência da perda de adesividade, e isso é consenso em pesquisas da área, são a umidade, a composição química e mineralogia do agregado.

Conforme Frazão (2002), quando a rocha é fraturada, cortada ou britada, os planos de fratura ou corte seccionam os tetraedros de sílica criando cargas elétricas insatisfeitas na superfície da rocha de sinal negativo, incompatível com as cargas elétricas do betume que, em geral, também possuem caráter negativo, ou seja, por serem cargas de mesma polaridade irão se repelir.

Araújo (2007) relata que a ligação entre ligante/agregado pode ser afetada por fatores como a textura superficial do agregado, a presença de pó e, em menor extensão, o pH da água em contato com a interface. O autor complementa que é de senso comum que agregados mais rugosos apresentam maior adesão. Porém, necessita-se de um equilíbrio entre a molhabilidade do agregado (materiais mais lisos apresentam maior molhabilidade) e superfícies rugosas que seguram o betume mais



fortemente uma vez molhado.

2.3 Caracterização Petrográfica

A “composição petrográfica” é o termo utilizado para descrever a composição dos agregados avaliando sua composição mineralógica, textura, estrutura, grau de alteração e classificação petrográfica. Rhoades e Mielenz (1943) defendiam que a petrografia permitia detectar substâncias nocivas e comparar novos materiais com outros dos quais existia experiência em obra, proporcionando informação rápida sobre a qualidade dos agregados.

Diversos autores como, por exemplo, Power e Hammersley (1978), Sims e Brown (1998), Smith e Collis (2001), Grattan-Bellew (2001), Jensen e Sibbick (2001), explicam que a análise petrográfica possibilita estudar as principais características dos agregados, quer dizer, a natureza e propriedades das rochas e minerais constituintes, buscando com isso avaliar o desempenho e identificar a presença de impurezas e constituintes prejudiciais.

Segundo Sims et al. (2000), lançando mão de procedimento sistemático, a primeira análise de um agregado deve ser realizada por um petrógrafo, visto que geologia e mineralogia são universais e sem fronteiras políticas. Posteriormente um especialista deve identificar componentes reativos e verificar, a partir de sua experiência local, o desempenho da rocha para determinada obra. Portanto, a análise petrográfica apresenta como limitação a dependência da sensibilidade e experiência do petrógrafo.

2.4 Processamento Digital de Imagem

De acordo com Masad et al. (2001), por utilizar métodos diretos e eficientes, o Processamento Digital de Imagens (PDI) já se ajustou como ferramenta para a caracterização das

propriedades de forma de agregados. O uso do *Aggregate Image Measurement System 2* (AIMS2) já se encontra entre as principais técnicas de PDI utilizadas na infraestrutura de transportes. Segundo Al Rousan (2004), tal equipamento apresenta o benefício de fornecer a distribuição completa das características de forma para uma amostra de agregado, não apenas valores médios, o que possibilita a classificação dos agregados com distintas propriedades de forma.

Entre as vantagens do sistema AIMS2, destacam-se (AL ROUSAN, 2004):

- Captura imagens e analisa a forma de uma vasta gama de tamanhos e tipos de agregados (gráudos e finos), com ajuste de resolução das imagens para minimizar a influência do tamanho das partículas nos resultados;
- Determina medidas de diversas propriedades, tais como forma, angularidade e textura, para diferentes tamanhos de agregados;
- Permite análises bidimensionais e tridimensionais, de acordo com o tamanho das partículas;
- Utiliza técnicas de análise de imagem que são baseadas em conceitos científicos;
- Fornece resultados de características morfológicas como distribuições cumulativas e não como valores médios;
- Tem operação rápida, automatizada por computador, precisa e prática;
- Pode ser usado em laboratórios no campo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

Os materiais empregados nesta pesquisa são agregados de 15 britagens utilizados na produção de 24 misturas asfálticas densas utilizadas em obras rodoviárias no estado do Rio Grande do Sul.



Os materiais granulares utilizados na produção das misturas foram coletados diretamente das unidades de produção, quando efetuada a coleta dos concretos asfálticos. Para esta pesquisa, foi formado um banco de dados de agregados analisados no AIMS2, composto por 15 britagens e 12 agregados de diferentes tipos de rocha, oriundos de diferentes regiões e formações geológicas, (Figura 2). Dois agregados avaliados são compostos da mistura de materiais de diferentes britagens. Para o ensaio de lâmina petrográfica foi escolhido o agregado mais representativo dessas pedreiras.

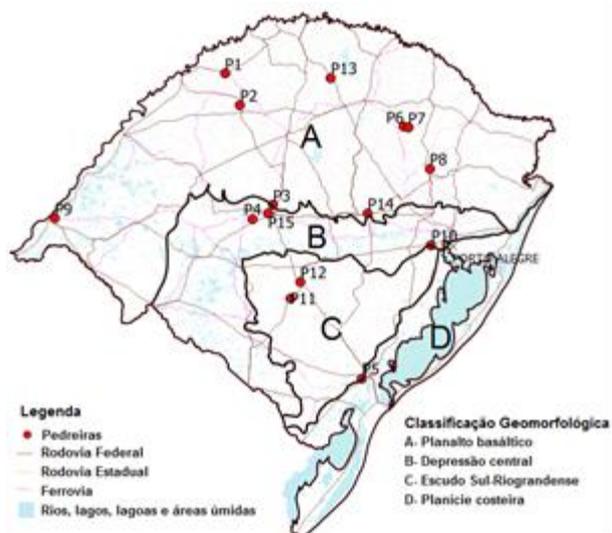


Figura 2 - Localização das britagens avaliadas

3.2 Ensaio de Adesividade ao Ligante Betuminoso

Com o intuito de verificar a aderência entre o agregado graúdo e o ligante asfáltico, executou-se o ensaio de adesividade ao ligante betuminoso conforme a norma DNER-ME 78/94. O procedimento consiste em misturar 500g de agregado previamente limpo e aquecido misturado ao ligante e, após o resfriamento da mistura, recobre-se a amostra em um recipiente com água destilada a 40°C por 72 horas.

Este ensaio apresenta seu resultado por meio da denominação de satisfatório quando não

houver deslocamento da película de betume no final das 72 horas ou, caso contrário, quando há exposição da superfície do agregado, o resultado é dito não satisfatório (Figura 3). Optou-se por realizar este ensaio devido a sua facilidade no procedimento, simplicidade, baixo custo de execução e proximidade a atual prática de engenharia.



Figura 3 - Amostra de mistura asfáltica após ensaio de adesividade do agregado graúdo

3.3 Petrografia

Com o intuito de obter informações sobre aspectos texturais, fundamentais para o estudo das propriedades fisicomecânicas dos agregados, realizou-se a descrição petrográfica das rochas de acordo com a norma DNER – IE 06/94. Para realização do ensaio foram coletadas amostras de rocha em fragmento de mão com dimensões de aproximadamente 10x10x15 cm, que sejam representativas à jazida.

Cortou-se o fragmento de rocha com o auxílio de serra diamantada e se desgastou até uma determinada espessura para confecção da lâmina delgada. A seguir, a amostra foi colocada em uma lâmina de vidro de dimensões 5cm x 2,5cm x 01,cm, e após seu endurecimento o fragmento foi desgastado com esmeril até a espessura de 3 micras. Este passo a passo está exemplificado na Figura 4. A confecção das lâminas petrográficas foi realizada no Laboratório de laminação do Departamento de Geociências da UFSM pelo servidor, geólogo Ronaldo Fonseca.

A descrição da rocha se dá em duas escalas



de observação: uma macroscópica, com o auxílio de uma lupa binocular e outra microscópica, por meio de microscópio petrográfico. As características gerais do fragmento de rocha como cor, textura (tamanho dos minerais, relação entre eles, etc), estrutura, grau de coerência, alteração, entre outras, é feita por meio da descrição macroscópica.

A descrição microscópica da lâmina delgada indica características como granulação, textura, composição mineralógica (tipos de minerais e porcentagem de cada um deles), grau de alteração, entre outras, com intuito de realizar a classificação petrográfica do material.

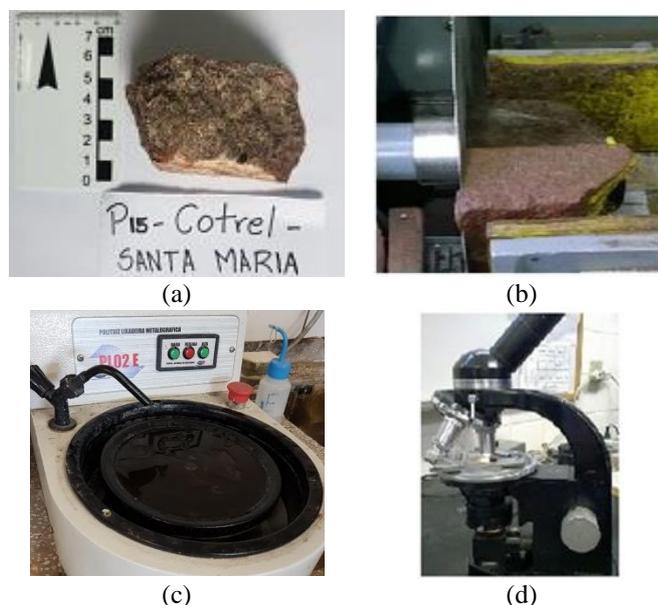


Figura 4 - Análise petrográfica (a) Amostra de mão coletada para posterior redução; (b) Redução da amostra com o auxílio da serra diamantada; (c) Politriz utilizada para desgastar a lâmina delgada; (d) Microscópio petrográfico.

3.4 AIMS2

O AIMS2 ainda não possui norma americana ou brasileira. No entanto, o ensaio vem sendo realizado de acordo com a classificação de agregados desenvolvida por Al Rousan (2004 apud BASTOS; FERREIRA; SOARES, 2015).

O equipamento utilizado para ensaio é o AIMS2 (Figura 5), versão mais moderna do equipamento com configuração de plataforma giratória para posicionamento dos agregados, disponível no laboratório da COPPE. O sistema Digital de Aquisição e Análise de Imagens possui: Computador para captura de imagens digitais com ampliação variável e software para análise das imagens; Câmera e sistema óptico com capacidade de resolução para todos os tamanhos de partículas; Sistema para posicionar as partículas para a captura das imagens; Sistema de foco automático da imagem (de acordo com o tamanho nominal das partículas) Sistema para a determinação de medidas tridimensionais X, Y, Z (mm) Sistema para determinar e remover da análise partículas que apresentam contato entre si; Sistema de suporte para as partículas (bandejas) podendo apresentar uma leve reentrância para facilitar o posicionamento das partículas; Sistema de iluminação variável para iluminação superior dos materiais.



Figura 5 - Equipamento AIMS 2

Desse modo, os procedimentos foram os mesmos usados por Pazos (2015), consistindo nas seguintes etapas: os agregados neste estudo (para cada britagem) foram peneirados, lavados, secos e separados de acordo com o tamanho nominal dos grãos e o número de partículas sugeridas pelo manual do equipamento, conforme mostrados na Tabela 1. Durante os ensaios, as partículas de agregados foram posicionadas nas ranhuras de bandejas circulares, como mostrado na Figura 3. Depois do alinhamento das partículas nas bandejas, a câmera de alta resolução e o sistema de



iluminação do AIMS2 foram usados para capturar imagens dos agregados. (Figura 6)

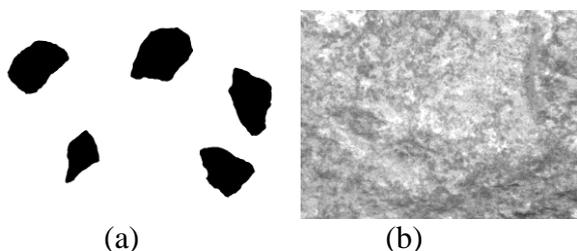


Figura 6 – Imagem do AIMS2 em (a) 2D e (b) 3D

Partículas em contato não foram consideradas na análise, uma vez que o sistema AIMS2 possui um algoritmo que desconsidera as que se tocam e as que não se enquadram na área do gabarito de leitura, para evitar que sejam interpretadas pelo sistema como uma única partícula com propriedades diferentes. Como resultados, o sistema AIMS2 fornece informações de angularidade, esfericidade, características de achatamento, alongamento e textura, para os agregados graúdos, ou seja, partículas medindo entre 4,75 mm e 37,5 mm, e angularidade e forma, para os agregados medindo entre 0,075 mm e 4,75 mm.

Tabela 1 - Quantidades mínimas de partículas para ensaios no sistema AIMS2

Tamanho da peneira	Número de partículas sugerido
25,0 mm (1")	50
19,0 mm (3/4")	50
12,5 mm (1/2")	50
9,5 mm (3/8")	50
6,35 mm (1/4")	50
4,75 mm (#4)	50
2,36 mm (#8)	150
1,18 mm (#16)	150
0,60 mm (#30)	150
0,30 mm (#50)	150
0,15 mm (#100)	150
0,075 mm (#200)	150

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados do ensaio de adesividade, foi criada uma escala comparativa das pedreiras que apresentaram melhor

aderência entre o ligante e o agregado utilizado (Tabela 2). Com o objetivo de isolar a questão referente ao agregado, optou-se por utilizar o mesmo ligante CAP 50/70 em todas as amostras na realização do ensaio de adesividade. Conforme a classificação das rochas, pode-se perceber que rochas básicas e intermediárias (basaltos e diabásios) apresentaram melhor adesividade do que as ácidas (riodacitos e sienogranitos).

Além do fator composicional, dois outros fatores parecem interferir nos resultados da adesividade: a textura e o grau de alteração dos minerais constituintes da rocha. Procurando estabelecer uma correlação da adesividade com estas propriedades, buscou-se, primeiramente, associar os valores obtidos para textura (rugosidade) do ensaio AIMS com a textura e grau de alteração mineralógica descrita na petrografia e posteriormente com os resultados de adesividade.

Rochas com texturas finas, descritas pela petrografia como fanerítica muito fina a fina e todas microporfiríticas (amostras P1, P2, P9 e P4), apresentaram valores de textura pelo AIMS entre 465-774, sendo classificadas como muito rugosas, mostraram adesividades melhores. Rochas com texturas mais grossa como as faneríticas médias a grossas (sienogranitos) apresentam valores de rugosidade mais baixos (entre 253 e 168), classificadas como macios e apresentaram adesividades piores.

Valores baixos de textura do AIMS em rochas de granulometria grossa são explicados pelo fato de o ensaio avaliar a superfície do mineral, que no caso de sienogranitos, por exemplo, são grandes (comumente a superfície dos minerais são lisas e polidas). Já no caso de rochas mais finas, o que o equipamento avalia é o conjunto de mais de um mineral (melhora a rugosidade) tratando-se, portanto, de uma questão de escala de observação do equipamento e da textura da rocha (tamanho do grão).

Vale destacar que esta relação sofre



influência da alteração mineralógica das amostras das rochas, pois o intemperismo gera argilominerais capazes de suavizar as inconformidades da superfície da rocha ensaiada, ou seja, a sanidade das amostras poderá afetar o valor da rugosidade. Tal fato pode corroborar para a justificativa dos valores mais baixos do ensaio AIMS para as amostras com a presença de alterações.

Rochas finas que mostram minerais alterados ou bordas de alteração tem valores de AIMS mais baixos (muda a configuração do “relevo” da imagem obtida pelo equipamento) como é o

caso da P3 (AIMS em torno de 369), que tem uma textura fina a muito fina, porém, apresenta minerais alterados e zeolitas preenchendo as amígdalas. Além disso, foi verificado que a rugosidade melhora a adesividade e que, esta propriedade apresenta uma tendência a ser maior para rochas que possuem textura muito fina a fina, e menor (macias), para rochas de textura grossa ou as finas que possuam minerais alterados.

Tabela 2 - Ranking de adesividade quando comparados parâmetros dos ensaios tecnológicos dos agregados minerais

Tipo de Rocha	Nome da Amostra	Nome da rocha	Textura	Textura AIMS ¹	Adesividade visual CAP 50/70
Vulcânica	P1	Basalto	Fanerítica inequigranular porfírica fina	679-724	Excelente
	P2	Basalto com olivina	Fanerítica inequigranular porfírica muito fina a fina	737-774	Muito boa
	P9	Olivina-Basalto	Fanerítica inequigranular porfírica muito fina	624-704	Boa
	P4	Basalto	Fanerítica inequigranular porfírica muito fina	465-561	Boa
Hipabissal	P13	Olivina-Diabásio	Fanerítica inequigranular porfírica muito fina a fina	661-653	Muito boa
	P15	Diabásio	Fanerítica inequigranular porfírica fina a média	428-532	Boa
Vulcânica	P3	Riodacito	Afanítica a fanerítica muito fina	349-369	Ruim
Plutônica	P10	Sienogranito	Fanerítica inequigranular porfírica grossa	253-240	Ruim
	P5	Sienogranito	Fanerítica inequigranular porfírica grossa a muito grossa	196-168	Muito ruim
Vulcânica	P14	Andesito	Fanerítica inequigranular porfírica fina	701	Péssimo
	P6/P7/P8	Dacito	Fanerítica inequigranular porfírica fina	561-465	Péssimo
Metamórfica	P11/P12	Mármore	Muito fina	485-470	Boa

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se, a partir da análise dos resultados, que o tipo de rocha influencia nas variações do grau de adesividade, pois rochas básicas e intermediárias (basaltos e diabásios) apresentaram melhor adesividade do que as ácidas (riodacitos e sienogranitos). Da mesma forma, o grau de alteração dos minerais e a textura (obtidas da descrição petrográfica e de ensaios de AIMS) também influenciam na adesividade.

A rugosidade melhora a adesividade e esta

propriedade apresenta uma tendência a ser maior para rochas que possuem textura muito fina a fina, todas microporfíricas, classificadas como muito rugosas (valores de AIMS entre 465-774), e menor (macias), e menor para rochas finas a muito finas com minerais alterados ou com bordas de alteração (valores de AIMS mais baixos, em torno de 369).

Observou-se que há uma boa correlação entre a avaliação petrográfica como textura e grau de alteração dos minerais com o dados de rugosidade obtidos do ensaio de AIMS.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ANP/Petrobras pela infraestrutura laboratorial e a CAPES e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa disponibilizadas.

REFERÊNCIAS

- AL ROUSAN, T. M. Characterization of aggregate shape properties using a computer automated system. 2004. 229f. Tese (Doutorado em Filosofia) - Texas A&M University, College Station, TX, 2004.
- ARAÚJO, M. de F. A. de S. Efeito de radiação solar no envelhecimento do concreto betuminoso usinado a quente. Dissertação de Mestrado. UFOP. 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 78/94 - Método de Ensaio. Misturas Betuminosas – Adesividade de Agregado Graúdo a Ligante Betuminoso. Rio de Janeiro. 1994.
- _____. DNER-IE 006/94. Instrução de Ensaio. Materiais rochosos usados em rodovias – Análise petrográfica. Rio de Janeiro. 1994.
- FACCIN, C. Concretos asfálticos em utilização no Rio Grande do Sul: comportamento mecânico e desempenho em campo quanto à deformação permanente. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2018.
- FRAZÃO, E. B. Tecnologia de rochas na construção civil. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental. São Paulo – SP. 2002.
- FURLAN, A.P. Considerações acerca da adesão e da susceptibilidade à umidade de misturas asfálticas densas à luz de algumas propriedades mecânicas. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, SP, 2006.
- GOUVEIA, L. T. Contribuições ao estudo da influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas. 2006. 340f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Área dos Transportes) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- GRATTAN-BELLEW, P.E. Pétrographie and technological methods for evaluation of concrete aggregates. In: Ramachandran, V.S. e Beaudoin, J.J. (editors), Handbook of analytical techniques in concrete science and technology. Principles, techniques, and applications, Noyes Publications, EUA: 63-230. 2001.
- JENSEN, V.; SIBBICK, T. RILEM Pétrographie method: practical use and comparison with other pétrographie methods in use. Proceedings of the 8th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Athens: 579-586. 2001.
- KENNEDY, T. W.; ROBERTS, F. L.; LEE, K. W. Evaluation of Moisture Effects on Asphalt Concrete Mixtures - Transportation Research Record 911, p. 134 - 143. Washington, DC. 1983.
- MASAD, E.; OLCOTT, D.; WHITE, T.; TASHMAN, L. Correlation of Fine Aggregate Imaging Shape Indices with Asphalt Mixture Performance. In: Transportation Research Record 1757. Journal of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 148-156. <http://dx.doi.org/10.3141/1757-17>. 2001.
- MENDES, L. O. Utilização do Método Bailey para a seleção de agregados em dosagem de misturas asfálticas. 2011. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.
- MENEGAT, R. et al. Atlas Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998.
- OLIVEIRA, A. M. dos S.; DE BRITO, A. N. S.; Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- POWER, T.O., HAMMERSLEY, G.P. Practical concrete petrography. Concrete, Vol. 12 (8), The Concrete Society: 27-31. 1978.
- RHOADES, R.; MIELENZ, R.C. Petrography of concrete aggregate, Proc Am Concr Inst., 42, 581-600. 1946.
- SIMS, I., BROWN, B. Concrete aggregates. In Peter C. Hewlett (Editor), Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th Edition, Arnold. London: 903-1011. 1998.
- SIMS, I.; SMART, S.; HUNT, B. Practical petrography - the modern assessment of aggregates for AAR potential. Proceedings of the 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Québec: 493-502. 2000.
- SMITH, M.R.; COLLIS, L. Aggregates. Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. 3rd edition, Revised by Fookes, P.G., Lay, J., Sims, I., Smith, M.R., West, G., Geological Society Engineering Geology Special Publication N° 17, London, 339 p. 2001.
- VIERO, Ana Cláudia. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul / Organização Ana Cláudia Viero e Diogo Rodrigues Andrade da Silva. Porto Alegre: CPRM, 2010.