



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E56	Enfoques e possibilidades para a engenharia geotécnica [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-85-7247-746-8 DOI 10.22533/at.ed.468190611 1. Geologia de engenharia. 2. Mecânica do solo. I. Tullio, Franciele Braga Machado. CDD 624.15136
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Enfoques e Possibilidades para a Engenharia Geotécnica” contempla onze capítulos em que os autores abordam as mais recentes pesquisas relacionadas as possibilidades de materiais e metodologias aplicadas na área de geotecnia.

A Engenharia Geotécnica desempenha um papel muito importante em nossa sociedade, pois é através do estudo da ação do homem sobre o solo e rochas que torna possível a prevenção de deslizamentos, desabamentos e desmoronamentos, contenção da ocupação de encostas e gerenciamento de resíduos.

Os estudos da área de geotecnia visam a proteção da população, fazendo uso de soluções sustentáveis sem prejudicar o meio ambiente.

A adição de resíduos no solo pode viabilizar a sua utilização em subleito ou sub-base na pavimentação. Assim como a utilização de resíduos industriais em substituição ao uso de brita pode se tornar como alternativa para a confecção de misturas asfálticas onde há escassez desse material.

A engenharia geotécnica apresenta várias possibilidades de proteção de encostas, tais como: drenagem, proteção superficial, construção de muros de arrimo, retaludamento, entre outras técnicas, proporcionando segurança para diversas comunidades.

Diante do exposto, esperamos que o leitor faça bom uso dos estudos aqui apresentados, de modo que sejam subsídio para uma reflexão sobre as possibilidades que a engenharia geotécnica proporciona à sociedade, trazendo qualidade de vida e segurança, utilizando meios sustentáveis e reduzindo danos ao meio ambiente.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ATERROS LEVES SOBRE SOLOS MOLES COM UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) NA BR-101/PE, LOTE 6: AVALIAÇÃO DA TÉCNICA E CARACTERIZAÇÃO DO EPS QUANTO À COMPRESSÃO SIMPLES	
Fabiano Queiroz de Souza Roberto Quental Coutinho Danisete Pereira de Souza Neto	
DOI 10.22533/at.ed.4681906111	
CAPÍTULO 2	14
DOSAGENS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS	
André Sales Mendes Jander Joia de Figueiredo Costa Júnior Patrícia de Magalhães Aragão Valença Consuelo Alves da Frota	
DOI 10.22533/at.ed.4681906112	
CAPÍTULO 3	26
ESTUDO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO EMPREGO DA CAL EM UM SOLO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO	
Vitor Reinaldo Bordignon Rogério Francisco Kuster Puppi Ronaldo Luiz dos Santos Izzo Amanda Dalla Rosa Johann	
DOI 10.22533/at.ed.4681906113	
CAPÍTULO 4	38
MELHORAMENTO DE SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO PROCEDENTE DO CEPILHAMENTO RE PAVIMENTOS CCP	
Daniel da Silva Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.4681906114	
CAPÍTULO 5	50
USO DE DRENOS FIBROQUÍMICOS E COLUNAS DE BRITA PARA TRATAMENTO DE SOLOS MOLES NA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ - RJ	
Fernanda Valinho Ignacio Bruno Vieira de Jesus Juliano de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.4681906115	
CAPÍTULO 6	62
ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO DE TUBOS GEOTÊXTIL PARA ACOMODAÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL EM SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO POR BACKFILL	
Rafaela Baldí Fernandes Sander Elias Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.4681906116	
CAPÍTULO 7	78
OCUPAÇÃO ANTRÓPICA DE ENCOSTAS E SUA ESTABILIZAÇÃO	
Paulo Afonso de Cerqueira Luz Alberto Alonso Lázaro	

Henrique Dinis
Kamila Rodrigues Cassares Seko
DOI 10.22533/at.ed.4681906117

CAPÍTULO 8	91
ZONEAMENTO SIMPLIFICADO DE RISCO DE DESLIZAMENTO EM ENCOSTAS NO NORDESTE DO BRASIL	
Belaniza Gaspar Santos Neta Osvaldo de Freitas Neto Erinaldo Hilario Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.4681906118	
CAPÍTULO 9	105
ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM VENTUROSA NO ESTADO DE PERNAMBUCO	
Hosana Emilia Sarmiento Costa Leite Rafaella Teixeira Miranda Maiara de Araújo Porto Túlio Martins de Lima Natália Milhomem Balieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4681906119	
CAPÍTULO 10	118
COMPARAÇÃO E PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (UCS) DE ROCHAS ARENÍTICAS TURBIDITICAS DAS FORMAÇÕES SANTOS, BACIA DE SANTOS, BRASIL E DA FORMAÇÃO CHICONTEPEC, BACIA DE CHICONTEPEC, MÉXICO	
Claudia Martins Bhering Dominoni Anna Laura Lopes da Silva Nunes Claudio Rabe Gilmara Alexandre Felipe da Silva Cleverson Guizan Silva	
DOI 10.22533/at.ed.46819061110	
CAPÍTULO 11	130
MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS 3D DE RADIER ESTAQUEADO COMPOSTO POR ESTACAS EMBUTIDAS PARCIALMENTE EM ROCHA	
Jean Rodrigo Garcia Paulo José Rocha de Albuquerque Osvaldo de Freitas Neto Rodrigo Álvares de Araújo Melo	
DOI 10.22533/at.ed.46819061111	
CAPÍTULO 12	144
MELHORAMENTO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS E FÍSICOS DE DEPÓSITOS ALUVIONARES ATRAVÉS DA EXECUÇÃO DE GEODRENOS VERTICAIS	
Rodrigo Rogério Cerqueira da Silva Bruno Pereira Casanova	
DOI 10.22533/at.ed.46819061112	
SOBRE A ORGANIZADORA	156
ÍNDICE REMISSIVO	157

DOSAGENS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS

André Sales Mendes

Grupo de Geotecnia – Universidade Federal do Amazonas
Manaus – AM

Jander Joia de Figueiredo Costa Júnior

Grupo de Geotecnia – Universidade Federal do Amazonas
Manaus – AM

Patrícia de Magalhães Aragão Valença

Grupo de Geotecnia – Universidade Federal do Amazonas
Manaus – AM

Consuelo Alves da Frota

Grupo de Geotecnia – Universidade Federal do Amazonas
Manaus – AM

RESUMO: O revestimento do tipo *Stone Matrix Asphalt* (SMA), é caracterizado por uma mistura com graduação descontínua dos minerais e grande quantidade de agregado graúdo, e pela presença de fibras responsáveis pelo controle do escorrimento do mástique. Acarreta, geralmente, em alto custo notadamente no Município de Manaus (AM), onde a escassez de material pétreo eleva consideravelmente os custos logísticos e de extração. Isto posto, neste trabalho analisou-se esse tipo de composição com a participação de resíduos industriais, segundo as especificações descritas pela

National Asphalt Pavement Association (NAPA) e Superior Performing Asphalt Pavement (Superpave), e pela norma DNER-ME 43/1995 que, no Brasil, norteia a metodologia Marshall. Utilizaram-se dois materiais alternativos ao agregado pétreo regional (brita), os resíduos de construção e demolição (RCD), e subprodutos cerâmicos, além de descartes da fibra do Curauá, como opção à fibra de celulose. O processo de dosagem relativo à mistura com o RCD seguiu as especificações Marshall, e o compósito com resíduos cerâmicos acompanhou a metodologia Superpave. Os principais resultados mostraram: para um volume de vazios igual a 4%, a composição com a presença do material RCD apresentou dosagem igual a 75% de agregados graúdos, 15% de miúdos, 10% de filer e 6,88% de teor de CAP; referente à mistura com resíduos cerâmicos obteve-se 81,35% de agregados graúdos, 9,90% de agregados miúdos, 8,75% de filer e teor de projeto de 14,9%; e a composição com a brita tendo a mesma dosagem mineral da mistura com o descarte de construção, registrou-se 6,50% para o teor de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Stone Matrix Asphalt, Resíduos de Construção e Demolição, Resíduos Cerâmicos, Material Pétreo, Mistura Asfáltica.

ABSTRACT: Stone Matrix Asphalt (SMA) is a gap graded asphalt mixture characterized by higher proportion of coarse aggregate, and presence of fibers used to prevent drain down of asphalt. It usually entails high cost of production, mainly in the city of Manaus (AM), where the shortage of stone material considerably increases extraction and transportation costs. In this context, this paper investigates the SMA composition with presence of industrial wastes, according to the specifications described by the National Asphalt Pavement Association (NAPA) and Superior Performing Asphalt Pavement (Superpave) and by the Brazilian standard DNER-ME 43/1995, that describes the Marshall methodology. Two materials were used as an alternative to the local stone aggregate (gravel), construction and demolition waste (CDW) and ceramic waste, and also Curauá fiber waste as an alternative to cellulose fibers. The RCW mixture design process followed Marshall specification, while the ceramic mixture followed the design specification of Superpave methodology. Main results showed that, for a void volume of 4%, the grain size distribution of the RCW was 75% of coarse aggregate, 15% of fine aggregate, 10% of filler and 6,88% of CAP project dosage. For the ceramic waste mixture, the grain size distribution showed a composition of 81,35% of coarse aggregate, 9,90% of fine aggregate, 8,75% of filler and CAP project dosage of 14,9%. The usual gravel composition reached a grain size distribution similar to the CDW mixture, and 6,50% of CAP dosage.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo estudos realizados pela Confederação Nacional dos Transportes (2015), concernente ao pavimento, 16,7% das rodovias do Estado do Amazonas são classificadas como péssimas, 36,8% como ruins, 32% como regulares, e apenas 14,5% como boas ou ótimas.

Corrobora para tal situação as características geotécnicas da região, que apresenta ínfimos afloramentos rochosos superficiais. Aliado a isso, é importante destacar os custos alusivos aos fatores logísticos, estes associados à extração e transporte das matérias primas utilizadas na confecção de compósitos asfálticos. VALENÇA (2012) ressalta que a jazida de brita mais próxima de Manaus está situada a 180 km da capital do Estado do Amazonas, fazendo com que esse material gráudo seja comercializado a um custo majorado de 76%, devido ao expressivo custo de transporte.

Como consequência dessa conjuntura, os pavimentos de Manaus são, geralmente, constituídos de material argiloso (subleito, sub-base e base), e de um revestimento do tipo AAUQ (areia asfalto usinada a quente). Tal estrutura resulta em falência estrutural precoce, sobretudo em face do acúmulo excessivo de deformações permanentes na camada superficial, ocasionadas, principalmente, pela ausência de agregados gráudos nessas misturas (SILVA *et al*, 2014).

Neste contexto, o Grupo de Geotecnia (GEOTEC) da UFAM vem realizando diversos estudos técnico-científicos relativos ao desenvolvimento e utilização de novas matérias primas a serem utilizadas na confecção de compósitos asfálticos. Dois desses materiais são os resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos cerâmicos descartados por olarias.

O presente trabalho estuda, portanto, a mistura do tipo Stone Matrix Asphalt (SMA), com o diferencial do uso de três materiais alternativos: RCD e resíduos cerâmicos (em substituição ao seixo e brita como agregado graúdo); e resíduos da fibra do Curaúá (*Ananas Erectifolius*) como alternativa à fibra de celulose, frequentemente utilizada no controle do escorrimento do mástique.

O compósito SMA é caracterizado pelo alto percentual de agregado graúdo (entre 70% e 80%), e pela utilização de fibras responsáveis pelo controle do escorrimento do material asfáltico. Devido ao contato maximizado que possui entre os grãos, a mistura possui alto desempenho mecânico em relação à AAUQ e ao concreto asfáltico (CA).

Buscou-se, então, encontrar a dosagem ideal (mineral e para o teor de projeto), concernente ao compósito tipo SMA tendo a participação dos citados materiais alternativos.

2 | OBJETIVOS

Pesquisou-se o teor de projeto e a dosagem mineral ideais para o compósito SMA, tendo a presença de subprodutos industriais (RCD, resíduos cerâmicos e resíduos da fibra de Curauá). Buscou-se, também, caracterizar fisicamente os agregados, as fibras e o fíler, bem como contribuir com uma proposta visando à destinação técnica e ambientalmente adequada dos citados resíduos industriais.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Concernente aos resíduos cerâmicos, na etapa de seleção e obtenção de materiais, realizaram-se visitas às olarias do Município de Iranduba, maior polo oleiro da região e responsável por cerca de 80% de toda a produção de cerâmica vermelha do Amazonas. Escolheu-se a empresa denominada Cerâmica Montemar como fornecedora dos mencionados subprodutos, oriundos do descarte de tijolos, telhas, etc. Executaram-se a britagem desse material em uma segunda empresa, equipada para triturar resíduos de concreto provenientes de construção e demolição.

Outros materiais utilizados no processo de dosagem do SMA, foram: areia residual, obtida em jazida localizada em Manaus; cimento *portland* CP II-Z-32, como

fíler, adquirido em lojas de materiais de construção; ligante asfáltico, comercializado pela Refinaria Isaac Sabbá; e o agregado graúdo advindos de resíduos de concreto armado descartado pela indústria da construção civil no Município de Manaus, tendo sido fornecido por uma empresa local (Figura 1).



Figura 1. Agregados de RCD nas frações brita 1 e brita 2.

Os resíduos da fibra do Curauá (Figura 2), participantes em ambos os compósitos alternativos, foram doadas à pesquisa pelo Centro de Biotecnologia do Amazonas (CBA).



3.2 Caracterização Física

Analisaram-se os agregados graúdos (resíduos industriais e a brita como material referência) quanto à textura, de acordo com o padrão da norma C 136 (ASTM, 2006). Buscou-se o seu enquadramento nas faixas granulométricas, segundo as especificações da National Asphalt Pavement Association (NAPA). Em particular, para a obtenção da granulometria do resíduo cerâmico, este foi triturado em um tambor rotativo (abrasão *Los Angeles*), juntamente com esferas maciças (Figura 3), encontrando-se, assim, a distribuição granulométrica adequada correspondente a

um determinado número de giros.

Determinaram-se, ainda, para esses agregados, os parâmetros densidade real (G_{sa}), densidade aparente (G_{sb}), densidade aparente na condição superfície saturada (G_{sbssd}), e absorção, seguindo-se a norma C 127 (ASTM, 1988).

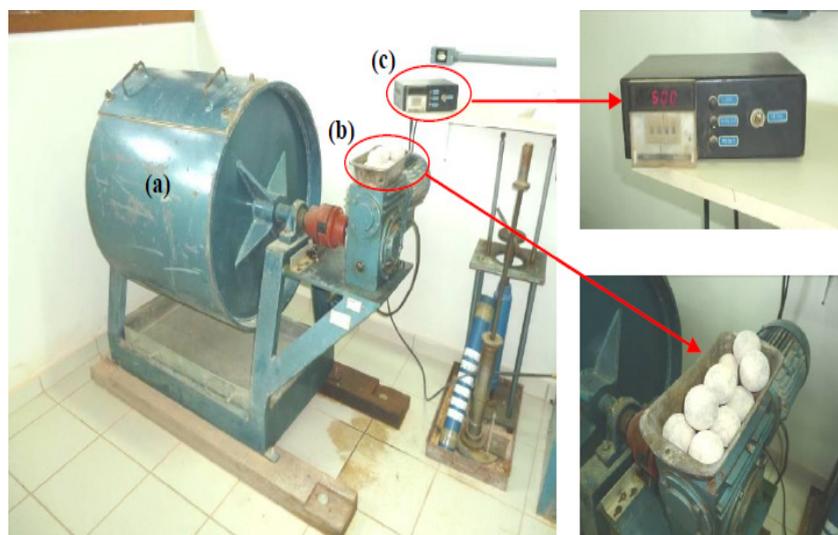


Figura 3. Tambor rotativo de abrasão Los Angeles

A caracterização da areia residual (agregado miúdo) ocorreu segundo: a granulometria (ASTM C 136), massa específica (DNER-ME 084), e os parâmetros G_{sa} e G_{sb} (ASTM C 128/1988). No caso do cimento *Portland*, este foi examinado pela massa específica real (DNER-ME 085/1994) e granulometria (DNER EM 367/1997).

Investigaram-se os resíduos da fibra do Curauá pela densidade real (DNER ME 084/1995), e o ligante asfáltico de acordo com o prescrito pela Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP).

3.3 Dosagem

Concernente a composição com a participação do material cerâmico, na etapa da dosagem mineral empregou-se a metodologia Superpave (Strategic Highway Research Program). Ela estabelece que a distribuição granulométrica deve passar entre os pontos de controle (PCs) e não ultrapassar a zona de restrição (ZR). Tais características constam no gráfico da Figura 4, cuja ordenada, em escala aritmética, representa a porcentagem passando numa peneira (peso), enquanto em abscissa indica-se a abertura das peneiras elevadas à potência de 0,45 (mm).

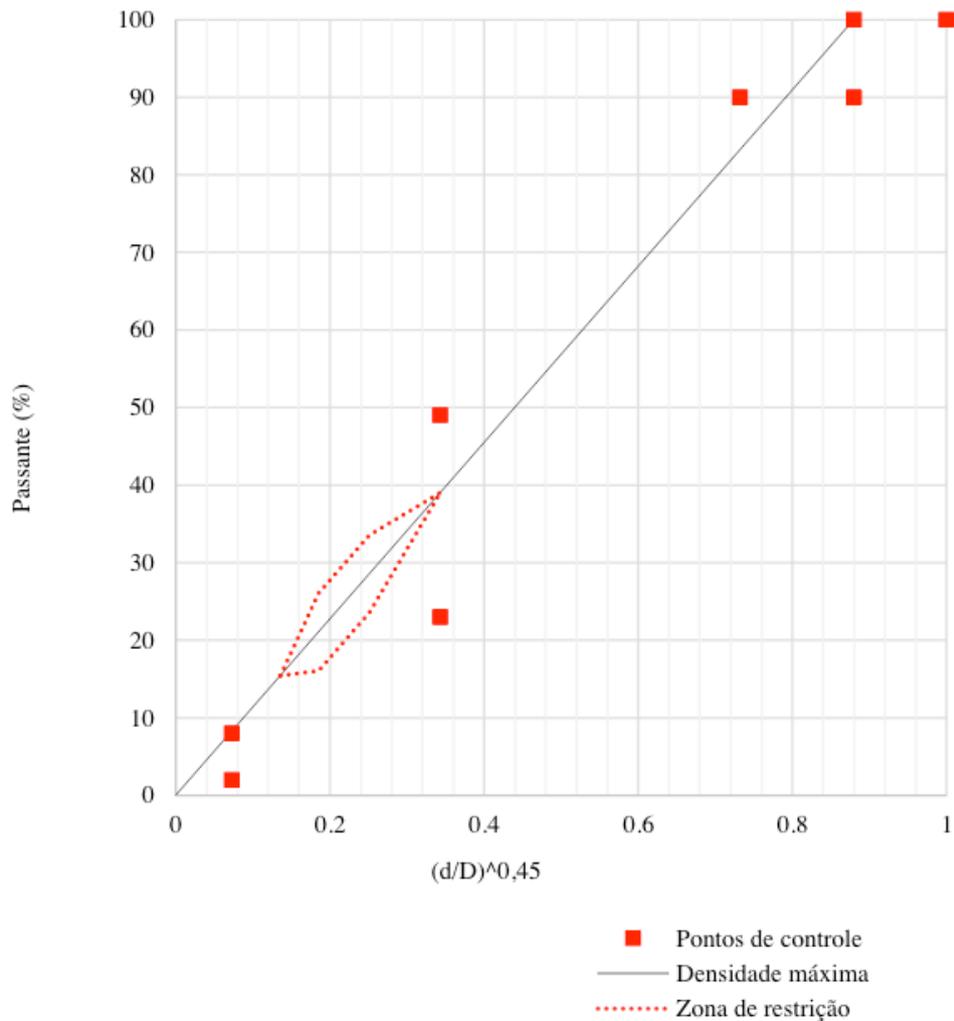


Figura 4. Zonas de restrição e Pontos de Controle

Empregou-se também a citada metodologia para encontrar o teor de projeto. Portanto, conforme recomenda a Superpave realizou-se a compactação da mistura no Compactador Giratório Superpave (CGS), consoante as seguintes etapas: cálculo da massa específica da composição de agregados (G_{se}), cálculo do volume de ligante absorvido (V_{la}), cálculo do volume de ligante efetivo (V_{le}), cálculo da massa de agregado (M_{ag}), e estimativa do teor inicial de ligante.

Isto posto, calculou-se o teor de projeto da seguinte forma: a) escolha de 3 composições granulométricas; b) obtenção das misturas asfálticas; c) permanência dos CPs na estufa por duas horas para simular o envelhecimento; d) compactação (CGS) de 2 corpos de prova para cada teor de ligante inicialmente proposto, função do número de giros ($N_{inicial}$, $N_{projeto}$ e $N_{máximo}$) x tipo de tráfego; e) determinação das densidades *Maximum Specific Gravity* (G_{mm}) e *Bulk Specific Gravity* (G_{mb}) conforme as normas D 2041 (ASTM, 2011) e D 2726 (ASTM, 2014), respectivamente; e f) cálculo dos parâmetros Volume de Vazios (V_v), Vazios Agregado Mineral (VAM) e Relação Betume Vazios (RBV) pela D 6925 (ASTM, 2015), além da relação pó/ asfalto.

Obteve-se a dosagem mineral da mistura com a participação do RCD pelos

preceitos da NAPA (2002). Quanto ao cálculo do teor de projeto, acompanhou as especificações definidas pela metodologia Marshall, como aconselha o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), baseando-se na norma ME 43 (DNER, 1995).

Após a determinação da dosagem mineral adicionou-se os teores do cimento asfáltico de petróleo (CAP), variando em 0,5%. Em seguida eram produzidos os corpos de prova Marshall, que permaneciam, no mínimo, 12 horas de repouso. Na sequência calculavam-se os parâmetros Vv, VAM, RBV, Vazios Cheio de Betume (VCB) e Voids in Coarse Aggregates – Vazios da Fração Graúda (VCA). Este podendo se referir ao agregado compactado (VCA_{DRC}) ou ao agregado na mistura compactada (VCA_{mix})

A Tabela 1 apresenta os limites estabelecidos pela NAPA (2002) para misturas confeccionadas no compactador Marshall, cujo teor de projeto é escolhido para produzir 4% de Volume de Vazios. Tal percentual é sugerido pois, conforme a evolução dos pavimentos de SMA, irá estabelecer e proporcionar melhor resistência a sulcos, particularmente em climas quentes.

Propriedades	Limites
CAP	6% (mínimo)
Vv	4%
VMA	17% (mínimo)
VCA_{mix}	Menor que VCA_{DRC}
Escorrimento	0,30% (máximo)

Tabela 1. Especificações para misturas SMA (Marshall)

Fonte: NAPA (2002)

Com relação à participação da fibra, verificou-se por meio de ensaio laboratorial (norma AASHTO T 305/1997) se o teor de fibra considerado no projeto da mistura asfáltica mostrou-se satisfatório em até 0,30%, para evitar o escorrimento do mástique.

4 | RESULTADOS

Atinente ao SMA com resíduos cerâmicos, a granulometria dos materiais apresentou: tijolo com 100% das partículas como pedregulho; e areia residual com textura média a fina, sendo 14% de fração grossa, 41% média e 55% fina.

Relativo a composição com RCD, a classificação granulométrica apontou: resíduos da construção civil com 100% das partículas entre 6 a 11mm (pedregulho); areia residual com 81,87% das partículas com diâmetros entre 0,2 a 0,6; e cimento *Portland* com 65% dos grãos menores que 0,075mm.

Destaca-se a grande semelhança entre as curvas granulométricas apresentadas pelos materiais alternativos (resíduos industriais) e o agregado graúdo usual (brita 1)

Alusivo aos parâmetros físicos, observou-se, para ambos os agregados-resíduos, densidades menores se comparados à brita, e alto potencial de absorção (Tabelas 2)

Parâmetro	Unid.	Resíduo cerâmico	Areia	Cimento	RCD	Areia	Cimento
Gsa	kg/m ³	1848	2730	3136	2550	2650	3010
Gsb	kg/m ³	1442	2615	-	2200	-	-
Gsbssb	kg/m ³	1663	-	-	2340	-	-
Absorção	%	15,63	-	-	6,25	-	-

Tabela 2. Caracterização física do SMA com resíduo cerâmico e com RCD

Quanto à fibra do Curauá, aferiu-se uma densidade real de 1430 kg/m³. Este valor mostra-se expressivamente maior se confrontando com a fibra de celulose, geralmente utilizada em misturas SMA.

A caracterização do CAP apresentou um valor de 69 décimos de milímetros no ensaio de penetração, sendo classificado, então, como CAP 50/70. O Ponto de Amolecimento e a Solubilidade em tricloroetileno se mantiveram próximos aos valores limites da ANP. O Ponto de Fulgor indicou valor acima do limite, proporcionando, então, maior segurança no manuseio, pela temperatura de combustão ser mais elevada. Concernente à viscosidade, teve-se valores acima do limite para as temperaturas 135°C e 150°C, mas dentro do intervalo para a temperatura de 177°C.

A dosagem mineral da mistura com resíduos cerâmicos resultou na seguinte composição: 81,35% de subproduto cerâmico, 9,90% de areia, 8,75% de cimento *Portland*. A Figura 5 expõe o gráfico da curva granulométrica, juntamente com o enquadramento pela NAPA (2002) para o tamanho máximo nominal (TMN) igual a 19 mm (Faixa A). Percebe-se que, apesar de não representar sérios problemas, o limite inferior foi ultrapassado discretamente. Tal fato ocorreu devido à natureza da composição granulométrica com a participação da areia residual, que impossibilitou o perfeito enquadramento da dosagem nos limites impostos.

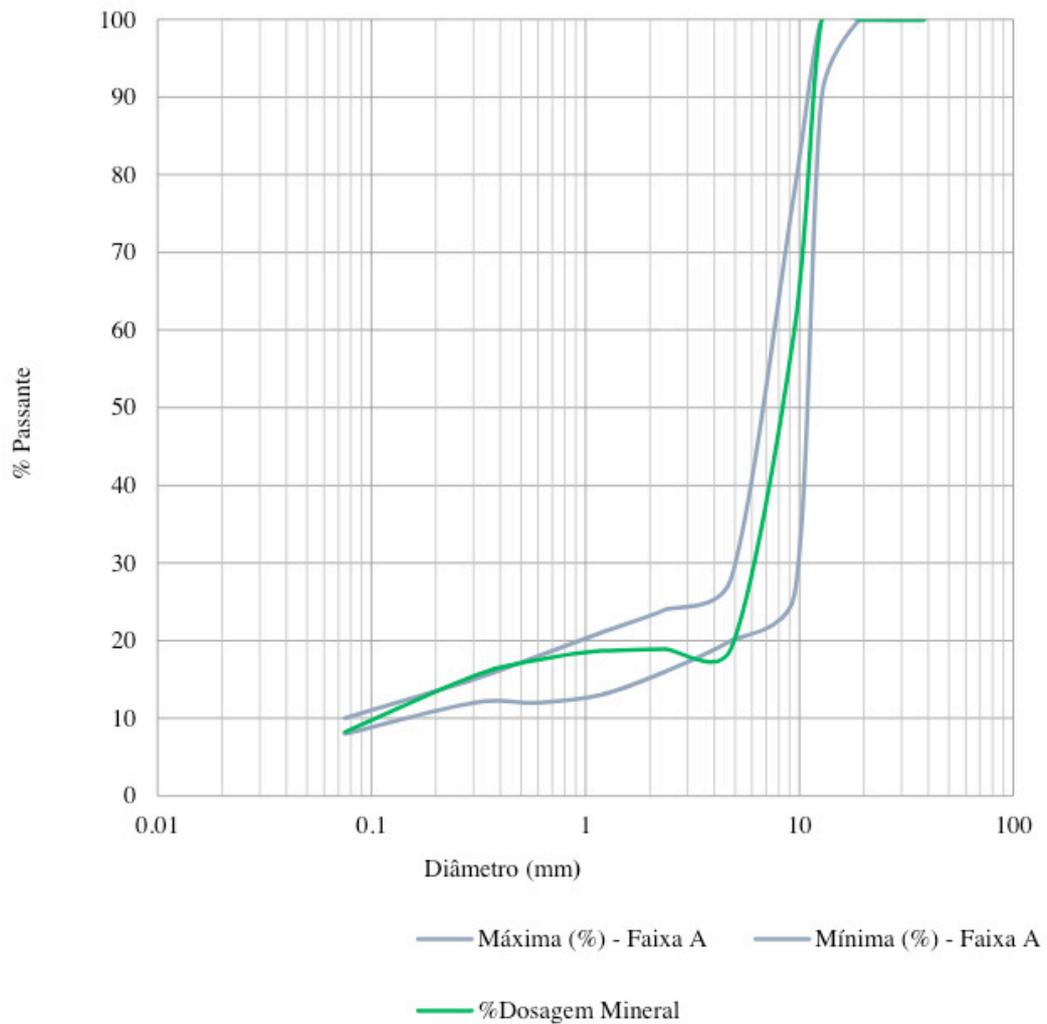


Figura 5. Enquadramento granulométrico da dosagem mineral (material cerâmico)

Os resultados dos teores de ligante para o SMA com resíduo cerâmico são apresentados na Tabela 4. Verifica-se que o teor de ligante (de projeto), correspondente ao volume de vazios igual a 4%, indicou valor igual a 14,9%.

Teor de Ligante (%)	Vv (%)
8,7	16,0
9,0	9,3
14,9	4,0

Tabela 3. Vv em função do teor de ligante (mistura com resíduo cerâmico)

A dosagem mineral referente ao SMA com RCD apresentou: 75% do resíduo de construção, 15% de agregado miúdo e 10% de cimento *Portland* (fíler). A Figura 4 exibe o enquadramento especificado pela NAPA (2002). Nota-se uma discreta transposição do limite superior entre as aberturas de 0,4 a 3,5 mm.

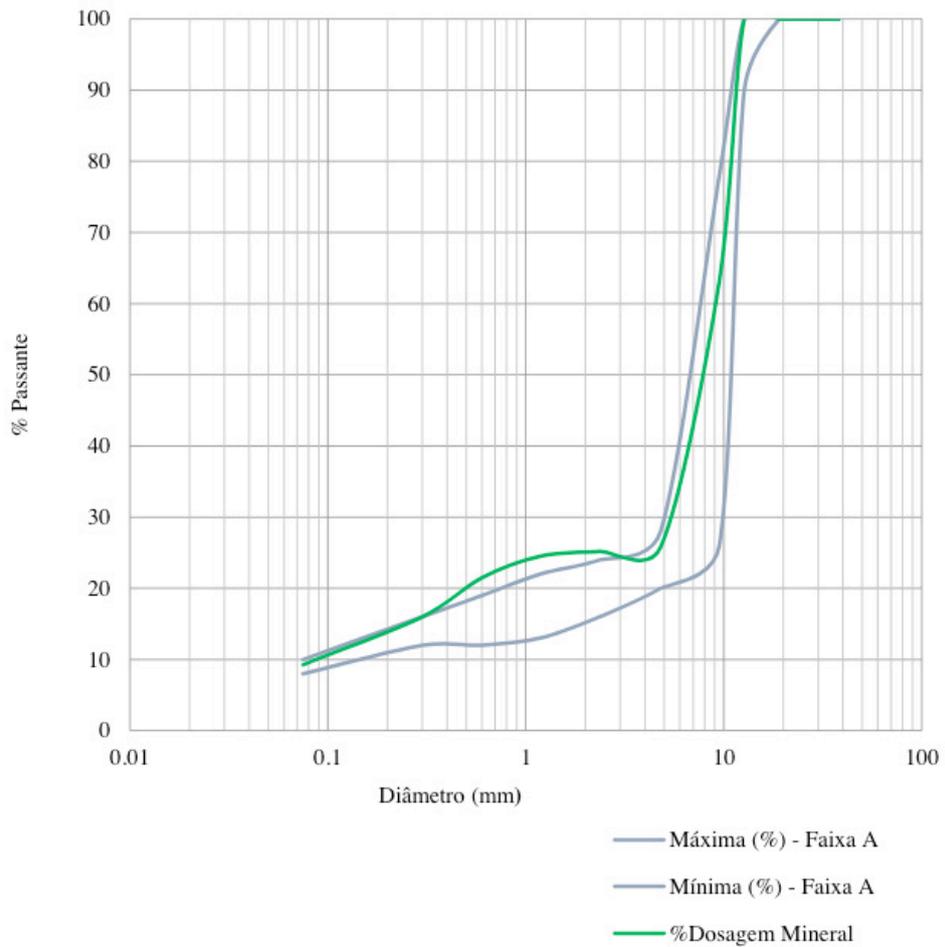


Figura 6. Enquadramento granulométrico da dosagem mineral (RCD)

Os teores de ligante relativos às composições com o subproduto da construção civil, são indicados na Tabela 5. A partir de uma regressão linear com os valores obtidos, aferiu-se um teor de projeto igual a 6,88% indicativo ao volume de vazios de 4%.

Teor de Ligante (%)	Vv (%)
5,5	6,33
6,0	5,79
6,5	4,57
7,0	4,11
7,5	2,59

Tabela 5. Vv em função do teor de ligante (mistura com RCD)

A título de comparação, destaca-se que, concernente à dosagem mineral, a mistura granítica apresentou a mesma distribuição granulométrica observada na mistura com RCD. Relativo ao ligante asfáltico, a mistura apresentou um teor de projeto igual a 6,50%.

5 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados, observa-se que: a) nas dosagens minerais ocorreram pequenas transposições dos limites inferior (material cerâmico) e superior (RCD), determinados em norma; e b) os teores de projeto obtidos ficaram acima do mínimo aceitável. Pelo exposto, ressalta-se que o estudo validou os materiais alternativos (resíduos industriais) em substituição ao agregado usual (brita) para futura utilização na confecção de misturas asfálticas regionais.

REFERÊNCIAS

AASHTO T-305. **American Association of State Highway and Transportation Officials T-305: Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures**, 2009.

ABNT NBR 6576:2007. **Materiais asfálticos - Determinação da penetração**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT NBR 6560:2008. **Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola**. Rio de Janeiro, 2008.

ASTM C127. **Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate**. American Society for Testing and Materials, 2012.

ASTM C136. **Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates**. American Society for Testing and Materials, 2006.

ASTM D2041. **Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density Bituminous Paving Mixtures**. American Society for Testing and Materials, 2011.

ASTM D2726. **Standard Test Method for bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures**. American Society for Testing and Materials, 2014.

ASTM D6925. **Standard Test Method for Preparation and Determination of the Relative Density of Asphalt Mix Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor**. American Society for Testing and Materials, 2015.

CNT. Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de Rodovias: Relatório Gerencial**. Brasília: CNT, 2015.

DNER-ME 367/97. **Material de enchimento para misturas betuminosas**. Rio de Janeiro, 1997.

DNER-ME 085/94. **Material Finamente Pulverizado: Determinação da Massa Específica Real**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 084/95. **Agregado miúdo: Determinação de Densidade Real**. 1995.

DNER-ME 043/95. **Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall**. 1995.

NAPA. National Asphalt Pavement Association. **Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice**. Quality Improvement Series 122. EUA, 2002.

Silva, C. L., da Silva, A. C. L., da Frota, C. A. **Módulo Dinâmico de Compósitos Asfálticos com Agregados Sinterizados de Argila Calcinada**, Cerâmica 60, p. 10-21, 2014.

Valença, Patrícia de Magalhães Aragão. **Desempenho Mecânico de Misturas Asfálticas do Tipo Stone Matrix Asphalt com Uso de Fibras Amazônicas e Agregados de Resíduos de Construção e Demolição**. 2012. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise numérica 130

Arenito 35, 37, 119, 120, 121, 122, 125, 128

Aterro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 39, 47, 49, 50, 52, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 66, 67, 84, 88, 145, 146, 151, 153, 154, 155

B

Backfill 62, 63, 65, 66

Barragem 66, 105, 106, 107, 108, 112, 114, 116

C

CCP 38, 39, 40, 41, 42, 48

Cepilhamento 38, 39, 41, 42, 46, 48

Colunas de brita 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61

Compressão simples 1, 4, 7, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 37, 116

D

Deslizamento 64, 79, 80, 91, 92, 93, 98, 104

Disposição de rejeitos 62, 63, 65

Drenos fibroquímicos 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59

E

Embutimento em rocha 139, 141

Encostas urbanas 91

Ensaio 1, 7, 9, 13, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 56, 60, 64, 73, 105, 106, 107, 108, 109, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 121, 122, 124, 125, 128, 133, 145, 148, 149, 150, 151, 152, 154

Estabilização 4, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 46, 48, 52, 58, 59, 68, 76, 78, 83, 84, 85, 144, 150

Estabilização de encostas 78, 83, 85

Estacas 86, 87, 88, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142

F

Formação Chicontepec 119, 120, 121

Formação Santos 119, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128

I

Implantação 3, 39, 52, 57, 59, 60, 74, 75, 76, 85, 91, 93, 105, 112, 155

Investigações geológicas-geotécnicas 105

M

Material pétreo 14, 116

Mistura asfáltica 14, 20

O

Ocupação antrópica de encostas 78

P

Pavimentação 5, 26, 27, 30, 32, 35, 36, 37, 58, 59, 155

Poliestireno expandido (EPS) 1, 2

R

Radier estaqueado 130, 131, 134, 136, 137, 139, 142

Recalque 12, 47, 50, 51, 57, 58, 59, 130, 131, 134, 136, 139, 140, 141, 142, 148

Rejeitos de mineração 62

Reservatório arenítico turbidítico 119

Resíduo 17, 21, 22, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48

Resíduos cerâmicos 14, 16, 20, 21

Resíduos de construção e demolição 14, 16, 25

Resistência à compressão simples 26, 27, 29, 30, 33, 35, 36, 116

Resistência à compressão uniaxial 109, 118, 119, 120, 125, 128, 132, 133

Risco geológico 78, 81, 82, 83, 92, 96, 98

S

Solo 3, 5, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 64, 66, 70, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 105, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 139, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155

Solo-cal 26, 27, 28, 29, 33, 35, 36

Solos moles 1, 2, 3, 13, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 59, 60, 61, 144, 145, 147, 148, 151, 153, 154, 155

Stone Matrix Asphalt 14, 15, 16, 25

T

Tubos de geotêxteis 62

Z

Zoneamento de risco 91, 92, 98

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-746-8



9 788572 477468