

RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE VIDRO PULVERIZADO NO MOINHO DE ALTA ENERGIA

***¹Alex Gomes Pereira, ²Benício de Moraes Lacerda, ³Alberto Gomes Pereira, ⁴Fábio dos Santos Gusmão, ⁴Matheus Pena da Silva e Silva, ¹Guilherme Silveira Simões and ¹Natália de Souza Neves**

¹Professor and Researcher at São Lucas University Center, Brazil; ²Professor and Researcher at Porto Velho School of Education and Culture, Brazil; ³Civil Engineering student; ⁴Geotechnical Research Group, Federal University of Amazonas, Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th December, 2019

Received in revised form

27th January, 2020

Accepted 11th February, 2020

Published online 30th March, 2020

Key Words:

Concreto asfáltico, Resistência à tração indireta, moinho de alta energia, Vidro pulverizado, Módulo de resiliência.

*Corresponding author: Alex Gomes Pereira,

ABSTRACT

Avaliaram-se as propriedades mecânicas de duas misturas asfálticas, uma confeccionada com vidro pulverizado no moinho de alta energia (CA-VID), e a outra composição com o filer tradicional (CA-REF), visando sua aplicação em camadas de pavimento. Determinou-se a resistência à tração por compressão diametral (RT) e o módulo de resiliência (MR). Tais resultados mostraram ganho de resistência da RT, da ordem de 15% e 8,8% para a temperatura de 25°C e 40°C, respectivamente, relativo a composição referência. O ensaio de MR indicou que a substituição do filer tradicional (cimento Portland) por filer alternativo (vidro pulverizado) aumenta a rigidez das misturas asfálticas.

Copyright © 2020, Alex Gomes Pereira et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Alex Gomes Pereira, Benício de Moraes Lacerda, Alberto Gomes Pereira et al. 2020. "Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas produzidas com resíduos de vidro pulverizado no moinho de alta energia", *International Journal of Development Research*, 10, (02), 34170-34174.

INTRODUCTION

A gestão de resíduos sólidos consiste em processos de racionalização do consumo de matérias-primas, que também aponta adequadas destinação desses materiais, estimulando, portanto, a formulação de tecnologias limpas. Os processos industriais originam diversos passivos ambientais, tais como vidros, plásticos, borrachas, cinzas, metais, etc. Conforme Altafin *et al.* (2004) tais resíduos são normalmente encaminhados aos aterros industriais. Porém, em regra, são obras que acarretam um alto custo de implantação, além de não se ter garantia de completa preservação do meio ambiente. Ressalta-se que a grande dificuldade da sociedade moderna é dar uma destinação correta aos resíduos gerados pela população. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em vigor no Brasil, estabelecida pela Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, esse deve ser o papel dos governantes, seja nas esferas federais, estaduais ou municipais.

Almeida *et al.* (2013) explicam que a caracterização desses passivos ambientais decorre do processo de geração e sua destinação final. Este processo leva a tipificação, permitindo o gerenciamento, que facilita o trabalho de seleção e a correta disposição. No que tange aos riscos potenciais ao meio ambiente, de acordo com o item 4.2 da norma brasileira NBR 10004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tais materiais são classificados em: Classe I - Resíduos perigosos e Classe II - Resíduos não-perigosos, sendo esta subdividida em classe II A - não inerte e classe II B inertes. Nesse contexto, tem-se os resíduos de vidros, pertencentes a classe IIB inertes. Segundo Callister e Rethwisch (2016), o material vidro possui propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e ópticas por apresentar uma diversificada composição química. Citam ainda que grande parte dos vidros produzidos para fins comerciais apresentam variedade sodocálcica, podendo a sílica advir do quartzo presente na areia. Callister e Rethwisch (2016) e Shackelford

(2008) explicam que os vidros comuns contêm 72% em peso de sílica (SiO_2), sendo o restante formado por óxido de sódio (Na_2O) e óxido de cálcio (CaO), compondo um material sólido não-cristalino. Alves e Sgobero (2015) estudaram a adição de agregados finos, provenientes de vidro reciclável passando na peneira 4,75 mm, em concreto asfáltico. Os autores utilizaram ligante asfáltico CAP 50/70 nos teores de 4%, 4,5%, 5%, 5,5% e 6% com 1% de cal hidratada. Determinaram as propriedades físicas e mecânicas, cujos resultados mostraram-se dentro do estabelecido de acordo com a metodologia Marshall. Consoante a pesquisa de Bohn Junior *et al.* (2019), tem-se análises sobre a influência da adição de 1% de pó de vidro, proveniente de resíduos da construção civil, em uma mistura asfáltica. Os resultados foram comparados com a dosagem referência (Faixa C-DNIT). Os autores verificaram que não houve alteração do ligante asfáltico pela incorporação do citado material. Porém, pontuam ganhos mecânicos medidos por meio da estabilidade Marshall e resistência à tração. No caso do trabalho de Moreno-Navarro *et al.* (2015), estes examinaram o comportamento mecânico do concreto asfáltico, tendo a presença de resíduos de vidros nos teores de 8% e 15%.

formando a mistura alternativa (CA-VID). Excetuando o vidro, todos os materiais foram doados pela Construtora e Pavimentação LTDA (ARDO). Concernente ao resíduo de vidro, foi proveniente de garrafas de refrigerantes, inicialmente higienizadas, secas, e, em seguida, fragmentados no equipamento "Los Angeles" com 12 esferas de aço, operando 3500 ciclos. Após essa etapa, tendo como motivação a obtenção de grãos que passem integralmente na peneira nº 200 (0,075 mm), atendendo os requisitos para uso como filler (ASTM C117/17), bem como, potencializar as propriedades do material (JACKSON & SHERMAN, 1953; DAS, 2014), foi amorfizado por 15 minutos em um moinho de alta energia (MAE) (Figura 1a), modelo Mixer/Mill® da Spex Sample. Tendo-se, assim, ao final do processo, o material com granulometria 100% abaixo de 0,075 mm (nº 200) (Figura 1b). Na Tabela 1 são mostradas as distribuições granulométricas dos agregados minerais empregados na pesquisa, segundo ensaio acompanhando a norma americana ASTM C136:2006. Referente ao cimento asfáltico de petróleo, CAP 50/70, este foi caracterizado de acordo com o que prescreve a Agência Nacional de Petróleo (ANP), cujos resultados constam na Tabela 2.

Tabela 1. Distribuição granulométrica de materiais

Peneiras - ASTM	Peneiras (mm)	% que passa da amostra total					
		Brita 1	Brita 0	Areia	Pó de pedra	Cimento Portland	Vidro
3"	75	100	100	100	100	100	100
2"	50	100	100	100	100	100	100
1 1/2"	37.5	100	100	100	100	100	100
1"	25	100	100	100	100	100	100
3/4"	19	95.44	100	100	100	100	100
1/2"	12.5	30.95	95.8	100	100	100	100
3/8"	9.5	12.59	79.07	100	100	100	100
Nº 04	4.75	0.225	17.12	100	79.4	100	100
Nº 08	2.36	-	2.075	97.47	54.38	100	100
Nº 16	1.18	-	0.55	89.77	32.28	100	100
Nº 30	0.600	-	0.15	61.6	19.95	100	100
Nº 50	0.300	-	0.04	28.07	11.37	100	100
Nº 100	0.150	-	0.025	7.6	2.78	100	100
Nº 200	0.075	-	-	-	-	100	100

Tabela 2. Propriedades do ligante asfáltico

Características	Unidade	Resultados	Limites	Métodos
				ASTM
Penetração -5s, 25 °C	0,1 mm	69	50-70	D5
Ponto de Amolecimento, min	°C	49,7	> 46	D 36
Viscosidade Saybolt Furol a 135 °C	s	283	> 141	E 102
Viscosidade Saybolt Furol a 150 °C	s	140,7	> 50	E 102
Viscosidade Saybolt Furol a 177 °C	s	50,8	30-150	E 102
Viscosidade Brookfield a 135 °C	cP	539	> 274	D 4402
Viscosidade Brookfield a 150 °C	cP	279,8	> 112	D 4402
Viscosidade Brookfield a 177 °C	cP	96,8	57-285	D 4402
Ponto de fulgor, min	°C	318	> 235	D 92
Solubilidade em tricloroetileno	% massa	99,5	> 99,5	D 2042
RTFOT Variação em massa	% massa	0,04	< 0,5	D 2872
Ductilidade a 25 °C	cm	> 100	60	D 113
RTFOT aumento do ponto de amolecimento	°C	7,1	< 8	D 36
RTFOT penetração retida	%	63	> 55	D 5

ambiental, minimizando a utilização de recursos naturais e sugerindo uma destinação final ao citado passivo ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção dos materiais: Para a produção das composições asfálticas participaram os seguintes materiais: brita 1, brita 0, pó de pedra, areia, o cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70), dois fileres, sendo o cimento Portland compondo a mistura de referência (CA-REF) e o vidro pulverizado

Caracterização física, química e mecânica: Obteve-se por meio de espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX) a composição química do vidro moído, usando o equipamento espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL (Figura 2), pertencente ao Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos (LAMAC), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Na sequência caracterizaram-se os agregados graúdos (brita 1 e brita 0), por meio da Gsb (Bulk Specific Gravity - ASTM C127) e absorção (ASTM C127), e os miúdos (pó de pedra e areia), conforme a Gsb (Bulk Specific Gravity - ASTM

C128) e absorption (ASTM C128), eos fileres (cimento Portland e vidro pulverizado) quanto a Gsa (Apparent Specific Gravity - ASTM C188). Tais parâmetros físicos foram determinados no Laboratório de Solos do Grupo de Pesquisa em Geotecnia (GEOTEC/UFAM).



Figura 1. a) vidro triturado; b) vidro cominuído



Figura 2. Espectrômetro de fluorescência de Raios X

Os ensaios mecânicos realizaram-se no Laboratório de Misturas Asfálticas do Grupo de Pesquisa em Geotecnia (GEOTEC/UFAM), sendo utilizado uma *Universal Technical Machine*, constituído de um sistema pneumático e unidade de controle interligada a um computador que permite a configuração e registro de dados, associada a uma câmara climática. Avaliou-se o comportamento mecânico das composições pelos ensaios de resistência à tração (RT) por compressão diametral e módulo de resiliência (MR). No caso da RT, seguiu-se o preconizado pela norma brasileira DNIT ME - 136/2018. Tendo sido aplicado uma carga estática com velocidade de 0,8 mm/s até o rompimento do corpo de prova. Na determinação do MR acompanharam-se as recomendações da norma brasileira DNIT-ME 135/2010. Neste ensaio os corpos de prova foram submetidos aos valores de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% da resistência à tração, mediante frequência de 1 Hz, período de carregamento de 0,1 s e 0,9 de repouso. Considerou-se, para ambos os experimentos, como resultado final, a média aritmética de cinco valores correspondentes a cada temperatura, 25 °C e 40 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características físicas e químicas: Os ensaios físicos realizados consoante a normalização da ASTM, resultaram nos valores presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização dos agregados

Parâmetros	Resultado
Massa específica real do agregado graúdo (brita 1)	2,58 g/cm ³
Absorção do agregado graúdo (brita 1)	0,51 g/cm ³
Massa específica real do agregado graúdo (brita 0)	2,74 g/cm ³
Absorção do agregado graúdo (brita 0)	1,66 g/cm ³
Massa específica real do agregado miúdo (areia)	2,21 g/cm ³
Massa específica real do agregado miúdo (pó de pedra)	2,75 g/cm ³
Massa específica real do material pulverizado (cimento Portland)	2,94 g/cm ³
Massa específica real do material pulverizado (vidro pulverizado)	2,46 g/cm ³

Analisando os resultados constantes na Tabela 3, tem-se que: as massas específicas da brita 1 e brita 0 alcançaram 2,58 g/cm³ e 2,74 g/cm³, respectivamente. A absorção das amostras brita 1 e brita 0, mostraram baixos valores de absorção d'água (menores que 2%), ou seja, este resultado demonstra que as misturas necessitarão de uma menor quantidade de ligante asfáltico. Os grãos da areia residual apresentaram massa específica real de 2,21 g/cm³. Quanto ao pó de pedra obteve-se um valor igual a 2,75 g/cm³. A caracterização do cimento Portland e vidro moído denotaram massas específicas reais de 2,94 g/cm³ e 2,64 g/cm³, respectivamente. A Tabela 4 mostra a composição química formada da amostra do vidro cominuído, proveniente do resíduo de garrafas. O resultado de fluorescência de raio-x identificou como principais constituintes: dióxido de silício (78,175%), óxido de cálcio (15,911%), óxido de alumínio (1,805%) e óxido de ferro (1,570%). Deste modo, com base nesses valores, e segundo Galvão, Farias e Souza (2013), os resultados indicam o alto grau de pureza do resíduo de vidro.

Tabela 4. Composição química do vidro pulverizado

Oxídeos	
Dióxido de silício (SiO ₂)	78,175
Óxido de cálcio (CaO)	15,911
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	1,805
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	1,570
Óxido de potássio (K ₂ O)	1,066
Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,845
Prata (Ag)	0,142
Óxido de magnésio (MgO)	0,121
Estrôncio (Sr)	0,077
Zinco (Zn)	0,073
Cloro (Cl)	0,057
Titânio (Ti)	0,052
Zircônio (Zr)	0,035

Comportamento Mecânico: Na Figura 3 são comparados, graficamente, a média aritmética dos resultados dos ensaios de RT dos concretos asfálticos produzidos com vidro (CA-VID) e cimento Portland (CA-REF). Pelos dados da Figura 3, nota-se que, a composição asfáltica de referência (CA-REF) atingiu, em média, a resistência à tração por compressão diametral de 0,77 MPa para a temperatura de 25°C e 0,62 MPa para a temperatura de 40°C, enquanto a substituição do filler tradicional (cimento Portland) por filler alternativo (vidro pulverizado) aumentou a resistência para aproximadamente 0,90 MPa e 0,68 MPa nas aludidas temperaturas, ou seja, inserção do vidro cominuído nas misturas asfálticas é favorável ao ensaio de resistência à tração. Corroborando a assertiva de que a redução do tamanho das partículas promove o aumento da área superficial específica e, conseqüentemente, acresce o seu poder coesivo em uma composição, melhorando as propriedades do material (JACKSON & SHERMAN, 1953; DAS (2014). O vidro pulverizado, por apresentar forma e superfície que melhora o atrito entre as partículas, imprime maior resistência às misturas, propriedade fundamental para que o pavimento mantenha seu desempenho diante da intensidade de aplicação de cargas resultantes de inúmeras combinações de carregamento provenientes do tráfego. Além disso, é possível comprovar que os valores do concreto asfáltico alternativo atenderam à norma DNIT ES 031/2006 (Departamento Nacional de Infraestrutura De Transportes, 2010), o qual preconiza que o valor mínimo seja de 0,65 MPa, logo, por meio da Figura 3, verifica-se que os resultados da referida composição se mostraram acima deste valor, atendendo, assim, o limite imposto pela citada norma.

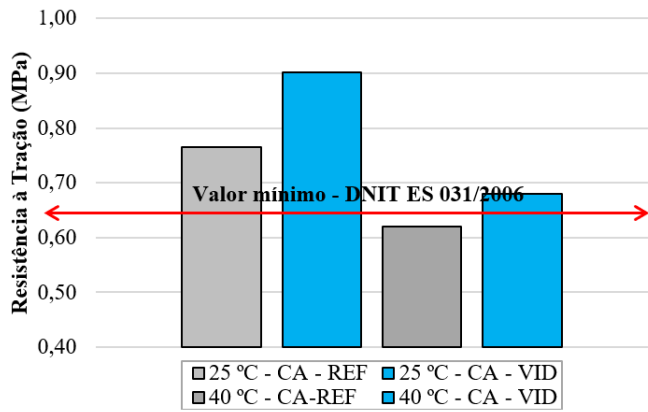


Figura 3. Resistência à Tração dos concretos asfálticos

Módulo de Resiliência (MR): Na Figura 4 mostram-se os valores de módulo de resiliência (MR) correspondentes às médias aritméticas obtidas para cinco corpos de prova. Confrontando-se estas misturas, novamente, nestes resultados foram observadas variações significativas entre os valores de MR dos concretos CA-VID e CA-REF, no geral, quando analisa o desempenho das composições às diferentes porcentagens, verifica-se que, independentemente do valor, a mistura CA-VID efetivamente demonstra superioridade. Enfatiza-se que, na prática, o aumento da rigidez, retrata um maior coeficiente angular na curva tensão-deformação (MELO, 2014). Isso indica que a rigidez da mistura CA-VID, em campo, sob um mesmo estado de tensões, seriam menos sensíveis às deformações de tração na fibra inferior da camada de revestimento asfáltico.

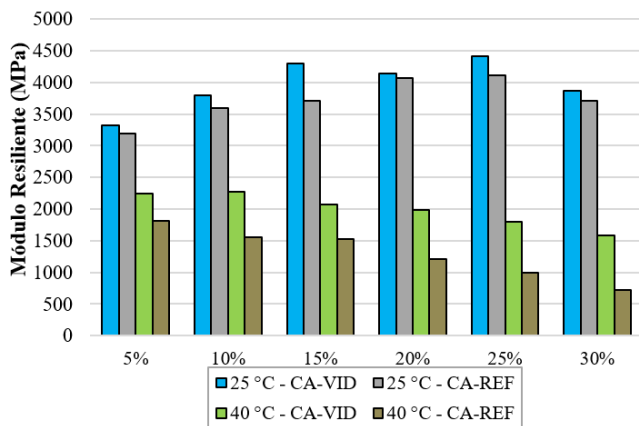


Figura 4. Módulo de Resiliência dos concretos asfálticos

Consolidando-se os aumentos de rigidez ocasionados pela incorporação do resíduo de vidro pulverizado nas amostras asfálticas, assim como obter uma descrição mais detalhada do desempenho mecânico das formulações estudadas, têm-se os gráficos dispostos na Figura 6. Na Figura 5 é possível observar que a mistura CA-VID apresentou, em geral, um aumento de rigidez, devido a presença do material mais fino, visto que, esta é a única diferença entre as duas formulações. É importante também ressaltar que, devido à presença do material viscoso (ligante asfáltico), para a temperatura de 25°C, as misturas CA-REF e CA-VID não seguiram exatamente o padrão (inclinação crescente), sendo que as porcentagens 20% e 30% para CA-VID e 15% e 30% para CA-REF deveriam apresentar maior rigidez quando comparada com as porcentagens menores, o que pode ser constatado por

meio da Figura 6, no qual ambas composições apresentam, nas respectivas porcentagens, menores ganhos de rigidez.

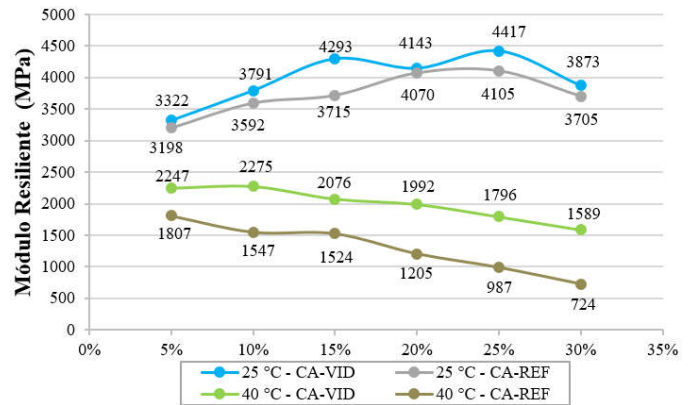


Figura 5. Módulo de Resiliência das misturas CA-REF e CA-VID a 25°C e 40°C

Constata-se, ainda, que para a temperatura de 40°C, um descolamento vertical decrescente para ambas misturas. Isto indicaria que, em campo, em temperaturas elevadas, além de diminuir consideravelmente a resistência mecânica dos compostos asfálticos, retratada pela redução de rigidez, o torna mais suscetível às deformações permanentes, por aumentar a resposta viscosa do material, demonstrada pela diminuição de rigidez. Contudo, conforme os resultados apresentados, a composição alternativa se apresentaria menos susceptível à variação de temperatura. Assim, considerando-se os valores para a composição CA-VID, e tomando como exemplo a porcentagem de 10% da RT, tem-se uma variação de 3791 MPa (25°C) para 2275 MPa (40°C), que corresponde uma redução da rigidez de 39,98%.

Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo estudar, por meio de experimentos laboratoriais, o desempenho do resíduo de vidro pulverizado no MAE em substituição ao filer tradicional, em concretos asfálticos. No tocante ao comportamento mecânico, as amostras asfálticas CA-VID foram significativamente superiores as amostras de referência. Com relação à análise da rigidez, por meio do MR, as composições asfálticas alternativas mostraram resultados superiores, quando comparado com os valores obtidos para as amostras de referência. Acredita-se que estes resultados tenham sido motivados pela presença do material mais fino, que, por sua vez, age melhorando as propriedades das amostras as quais contém esse material na composição, segundo corrobora a literatura. Em vista do exposto, ao realizar uma análise geral dos presentes resultados, é possível concluir a viabilidade da utilização do resíduo de vidro em pavimentos asfálticos, dado que os experimentos de laboratório mostraram melhora no desempenho destas misturas em comparação as misturas convencionais.

Agradecimentos

À empresa Construtora e Pavimentação LTDA (ARDO) pela doação dos materiais utilizados nesta pesquisa. Os autores também agradecem ao Grupo de pesquisa em Geotecnia (GEOTEC/UFAM), onde foram realizados a totalidade dos ensaios físicos e mecânicos.

REFERÊNCIAS

- ALHSAN, H.M.; YUNUSA, G. H.; SANUSI, D. Potential of Glass Cullet as Aggregate in Hot Mix. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, Nsukka, v. 37, n. 2, p. 338-345, abr, 2018.
- ALMEIDA, R. N.; BITENCOURT, D. V.; PEDROTTI, A.; PEREIRA SANTOS, L. C. A Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos. *Revista Interfaces Científicas Saúde e Ambiente*, Aracaju, v.2, n.1, p. 25-36, out., 2013.
- ALTAFIN, V. F.; POLONIO, W.; MEDEIROS, G. A.; BRANDÃO, M. F.; ZUIN, F. D.; BUSCARATO, E. A.; MENEZES, M. O. Utilização de Lodo de Fosfatização na Produção de Mudanças de Espécies Nativas. *Revista Engenharia Ambiental*, v.1, n.1, p.45-50, jan./dez., 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM C117: Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. USA, 2017.
- _____. ASTM C 127: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. USA, 2015.
- _____. ASTM C 128: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. USA, 2015.
- _____. ASTM C 136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. USA, 2006.
- _____. ASTM C 188: Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. USA, 2017.
- _____. ASTM D 5: Standard test method for penetration of bituminous materials. USA, 2013.
- _____. ASTM D 36: Standard test method for softening point of bitumen (ring-and-ball apparatus). USA, 2014.
- _____. ASTM D 4402: Standard test method for viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer. USA, 2013.
- _____. ASTM D 92: Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. USA, 2018.
- _____. ASTM D 2042: Standard Test Method for Solubility of Asphalt Materials in Trichloroethylene. USA, 2015.
- _____. ASTM D 113: Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials. USA, 2017.
- _____. ASTM D 2872: Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). USA, 2012.
- _____. ASTM D6926: Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus. USA, 2016.
- _____. ASTM E 102: Standard Test Method for Saybolt Furol Viscosity of Bituminous Materials at High Temperatures. USA, 2016.
- BOHN JUNIOR, A.; QUADROS, B.; VARGAS, R. N. D.; MUNIZ, S. A.; MATTOS, J. R. G. Comportamento mecânico de concreto asfáltico com Incorporação de vidro moído. In: X Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul GEORS 2019, 2019, Santa Maria. Anais eletrônicos...Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2019. Disponível em: <<https://www.geors2019.com.br>> Acesso em: 06 dez. 2019.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, DF, ago. 2010.
- CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- DAS, B.M. Fundamentos de engenharia geotécnica. Cengage Learning, 2015.
- _____. DNIT-ES 031/2006: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT-ME 135/2010: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2010
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT-ME 136/2010: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2010.
- GALVÃO, Á. C. P.; FARIAS, A. C. M.; SOUZA, L. G. M. Viabilização de Rejeitos de Vidro para Produção de Tijolos Cerâmicos. *HOLOS*, [S.l.], v. 4, p. 59-65, set. 2013.
- JACKSON, M. L.; SHERMAN, G. D. Chemical weathering of minerals in soil. *Adv. Agron*, p. 211-318, 1953.
- MELO, J. V. S. Desenvolvimento e estudo do comportamento reológico e desempenho mecânico de concretos asfálticos modificados com nanocompósitos. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- MORENO-NAVARRO, F.; PÉREZ-MARTÍNEZ, M.; MARTÍN-MARÍN, J.; SOL-SÁNCHEZ, M.; RUBIO-GÁMEZ, M. C. Mechanical Performance of Asphalt Mixes Incorporating Waste Glass. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, v. 10, p. 255-261, 2015
- SGOBERO, J. B.; ALVES, P. R. C. Análise do estudo com mistura de concreto asfáltico denso com resíduos de vidro. In: IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar, 9., 2015, Maringá. Anais...Maringá: Centro Universitário Cesumar, 2015.
- SHACKELFORD, J. F. Ciência dos Materiais. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
