



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A QUENTE COM A INCORPORAÇÃO DE LIGANTES CONVENCIONAL E MODIFICADO POR POLÍMERO

Performance evaluation in hot recycled asphalt mixtures with the incorporation of conventional and polymer-modified asphalt binders

Fábio César Maximiano Otaviano (1)

Universidade Federal de Juiz de Fora - Juiz de Fora, Minas Gerais – Email: fabio.otaviano@estudante.ufjf.br

Maria Teresa Gomes Barbosa (2)

Universidade Federal de Juiz de Fora - Juiz de Fora, Minas Gerais. Email: teresa.barbosa@engenharia.ufjf.br

Luis Alberto Herrmann do Nascimento (3)

CENPES/Petrobras - Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Email: luisnascimento@petrobras.com.br

RESUMO

A reciclagem dos revestimentos asfálticos é uma técnica incipiente e efetiva que vem sendo utilizada como alternativa na construção ou restauração de pavimentos asfálticos, de forma a tornar o processo mais sustentável e econômico. Nesse sentido, o objetivo principal do presente trabalho é contribuir para uma melhor compreensão das misturas asfálticas recicladas com a incorporação de RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) e seu comportamento mecânico. Para tanto, será estudado o emprego do RAP em substituição ao agregado usado na dosagem de misturas asfálticas com CAP 30/45 e CAP 65/90-E, desse modo, será confeccionado amostras de referência com os ligantes onde serão substituídos parte das amostras por 20% de RAP. Sendo assim, serão avaliadas as características dos constituintes, volumetria e os ensaios mecânicos das amostras. A partir dos resultados gerados, foi possível identificar uma importante economia do teor de ligante adicionado, além dos benefícios obtidos nos resultados de desempenho das misturas recicladas.

Palavra-Chave: Pavimentação; Material Fresado; Dosagem Asfáltica; Desempenho.

ABSTRACT

The recycling of asphalt coatings is an incipient and effective technique that has been used as an alternative in the construction or restoration of asphalt pavements, to make the process more sustainable and economical. In this sense, the main objective of this work is to contribute to a better understanding of asphalt mixtures recycled with the incorporation of RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) and their mechanical behavior. For this purpose, the use of RAP will be studied to replace the aggregate used in the dosage of asphalt mixtures with CAP 30/45 and CAP 65/90-E, in this way, reference samples will be made with the binders where part of the samples will be replaced by 20% RAP. Therefore, the characteristics of the constituents, volumetry, and mechanical tests of the samples will be evaluated. From the generated results, it was possible to identify an important saving in the added binder content, in addition to the benefits obtained in the performance results of the recycled mixtures.

Keywords: Paving; RAP; Asphalt Dosage; Performance.

1 INTRODUÇÃO

Uma maneira de mitigar o apelo ambiental, em especial na pavimentação asfáltica, é a reutilização do resíduo gerado no processo de fresagem de parte ou totalidade do revestimento asfáltico comum nas técnicas de revitalização de pavimentos. A reutilização do material fresado também chamado de RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) é uma alternativa auspiciosa ambientalmente. Nos Estados Unidos, por exemplo, este material possui alta taxa de reciclagem (COPELAND, 2011). Sendo assim, a reciclagem asfáltica, uma vez determinada como solução alternativa de restauração de pavimentos, pode gerar vantagem ambiental, econômica e social (SUZUKI, 2019).

Com relação ao comportamento das misturas recicladas, não há um consenso se a incorporação do RAP irá desencadear um desempenho diferente da convencional. Diversos pesquisadores têm apontado que o uso do RAP aumenta a rigidez e ocorre uma melhora da resistência à fadiga de misturas com RAP, outros estudos reportaram prejuízos e trincamento precoce (IZAKS *et al.*, 2015; AL-ROUSAN *et al.*, 2008; ZAUMANIS & MALLICK, 2015). Portanto, analisar o desempenho mecânico de misturas asfálticas com a incorporação de 20% RAP mais adição de ligantes convencional e modificado por polímero, será primordial para potencializar os benefícios da reciclagem a quente neste estudo.

Tendo como base o exposto, surge o seguinte problema a ser analisado: Quais as possibilidades de reaproveitar o material fresado como alternativa na implantação ou conservação de pavimentos asfálticos com a incorporação de diferentes ligantes, atendendo assim, uma prática mais sustentável e diminuindo os impactos ambientais gerados pelo descarte indevido desses materiais.

Sendo assim, o presente estudo busca analisar os efeitos do RAP em substituição ao agregado natural utilizados para dosagem em misturas asfálticas com ligantes convencional e modificado, a partir dos ensaios nos ligantes, associada aos ensaios de comportamento mecânico e de adesividade das misturas recicladas a quente, espera-se comprovar ou não a eficácia dessas misturas, além de se tornar uma provável solução para os engenheiros de infraestrutura.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de agregados e RAP estavam armazenados sobre uma base impermeável, protegido de intempéries e livre de contaminações, conforme ilustrado na figura 1. Este cuidado com as amostras, deve ser levado em conta, pois influenciam diretamente na qualidade do material.

Figura 1: Vista do galpão de armazenagem das amostras.



O RAP passou por um processo de classificação na peneira de 19 mm na usina da Pedreira Basalto 6, de maneira a eliminar materiais de grandes dimensões, sendo, portanto, empregada a porção passante na peneira de 19 mm. A amostra foi submetida a um procedimento de caracterização e extração de betume pelo método Soxhlet procedimento A (NBR 16208 (ABNT, 2013). Desta forma, o teor médio de betume encontrado nas amostras de RAP foi de 4,8%.

Para a realização deste estudo, foi prevista a seleção de materiais pétreos e ligantes, bem como a produção de dosagens asfálticas com substituição dos agregados naturais por 20% RAP. Neste contexto, foram selecionados aos seguintes materiais:

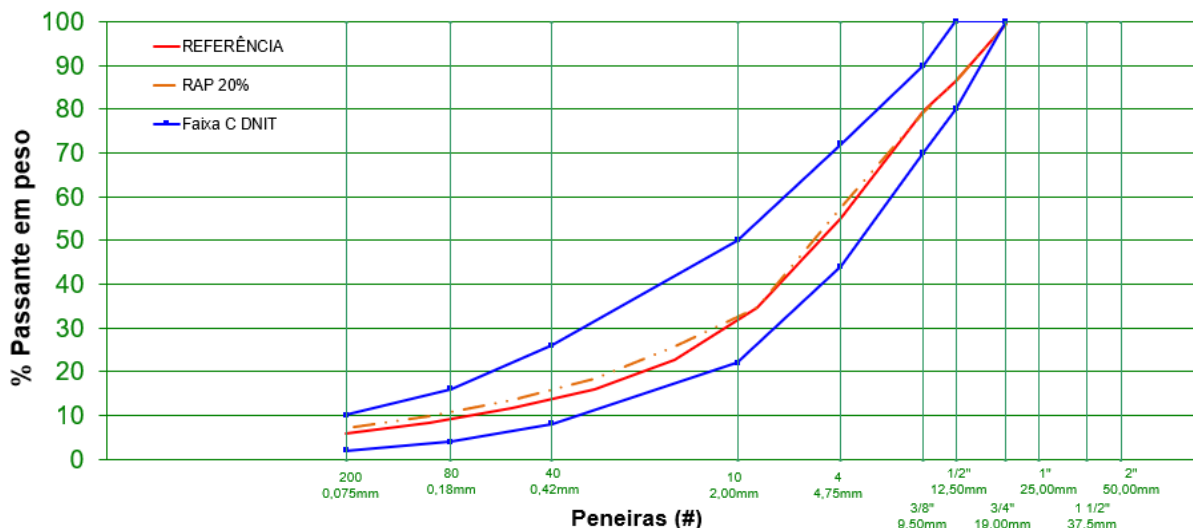
- Agregados: Brita 1, Pedrisco e Pó de pedra de origem basáltica e fornecida pela Pedreira Basalto 6, localizada em Campinas/SP;
- Material asfáltico fresado (RAP) utilizado no estudo foi recolhido na Pedreira Basalto 6 oriundo das rodovias Bandeirantes e Anhaguera no estado de São Paulo;
- Os ligantes asfálticos são provenientes da distribuidora Stratura Asfaltos e foram classificados de CAP 30/45 e CAP AMP 65/90-E conforme a especificação nacional da ANP e pelas suas características de desempenho para ligantes asfálticos pela especificação SUPERPAVE.

Realizou-se duas dosagens de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (C.A.U.Q.) com as curvas granulométricas idênticas, enquadrando na faixa “C” (DNIT ES 031/2006) e reproduzidas as 2 dosagens com substituição dos agregados naturais por 20% de RAP, vide Quadro 1 e Figura 2.

Quadro 1: Composição do traço das misturas C.A.U.Q Referência e com 20% RAP.

Materiais	C.A.U.Q.	C.A.U.Q.
RAP	0%	20%
Brita 1	21%	21%
Pedrisco	38%	26%
Pó de Pedra	41%	33%
Misturas	M0C e M0P	M20C e M20P

Figura 2: Curva Granulométrica de Referência e com 20% RAP – Faixa “C” DNIT.



O teor de ligante definido foi de 4,9% para as dosagens de referência (M0C e M0P), seguindo a proposta de manter o volume de vazios entre 3 e 5%, com maior aproximação possível do centro, 4%. Em seguida, substituiu-se os agregados por 20% RAP, mantendo o teor de ligante em 4,9%. Observa-se que praticamente todos os parâmetros enquadraram dentro da especificação do DNIT, exceto na característica da relação Betume/Vazio, conforme ilustra na Quadro 2.

Quadro 2: Curva Granulométrica de Referência e com substituição por 20% RAP – Faixa “C” DNIT.

MISTURAS	Teor CAP Adicionado (%)	Teor CAP proveniente RAP (%)	Gmm (g/cm ³)	Gmb (g/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (Kgf)
M0C	4,9	0,0	2,487	2,387	4,0	15,8	74,5	1025
M20C	3,9	1,0	2,509	2,416	3,7	15,5	76,1	1309
M0P	4,9	0,0	2,478	2,376	4,1	15,7	74,0	1227
M20P	3,9	1,0	2,502	2,398	4,2	15,8	74,1	1596

ESPECIFICAÇÃO DNIT 031/2006 ES 3 a 5 > 15 75 - 82 500 mín.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Os ligantes asfálticos foram classificados de acordo com a especificação Superpave, em graus de temperatura máxima e mínima em que apresentam determinadas propriedades, os tipos de classes fruto do efeito ao tráfego e a tolerância ao dano obtido a partir da determinação do tamanho da fissura na ruptura. Desta forma, foi possível caracterizar as propriedades reológicas dos cinco ligantes, vide Quadro 3.

Comparando o desempenho dos ligantes de acordo com a especificação SUPERPAVE, observa-se que a amostra M0C apresentou PG mais baixo, 64-16, em relação a amostra com o maior PG, 88-22. De acordo com AASHTO M 332, observa-se que a amostra mais suscetível à deformação permanente, resistindo ao tráfego padrão (H) é M0C. Já amostra M20C apresentou classificação para o tráfego (V) e as demais amostras RAP, M0P e M20P foram classificadas para tráfego extremamente pesado, ambos apresentam maior resistência à deformação permanente. O ensaio de LAS visa avaliar a tolerância ao dano e a previsão da curva de fadiga dos ligantes asfálticos, a amostra de RAP apresentou o valor mais baixo para o FFL,

classificando como insatisfatório. Já a amostra M0C obteve resultado médio, enquanto os ligantes M0P, M20C e M20P enquadraram como excelente.

Quadro 3: Resultados dos Ligantes asfálticos utilizando a metodologia SUPERPAVE.

CARACTERIZAÇÃO PERFORMANCE GRADE (PG)							
Ensaio - RTFOT	NORMA	Unid.	RAP	M0C	M0P	M20C	M20P
PGH (+)	ASTM D 7175	°C	88	64	76	70	76
PGH - TRUE		°C	89,6	69,8	77,5	72,8	77,1
PGH - G*/sen δ		KPa	2,6480	2,2100	2,3726	3,0682	2,4609
PGL (-)	ASTM D 6648	°C	-22	-16	-22	-22	-22
BBR - Rigidez Estática S		MPa	203	107	66,2	144	107
m-Value		MPa/s	0,327	0,367	0,362	0,315	0,328
CARACTERIZAÇÃO - MSCR							
Ensaio	NORMA	Unid.	RAP	M0C	M0P	M20C	M20P
MSCR Jnr (3,2 KPa)	DNIT 423	1/KPa	0,05	1,8918	0,1127	0,6659	0,1699
% Rec. Média (3,2 KPa)		%	38,47	1,05	86,62	9,51	57,75
CARACTERIZAÇÃO - LAS							
Ensaio	NORMA	Unid.	RAP	M0C	M0P	M20C	M20P
LAS	DNIT 439	FFL	1,024	1,320	1,989	1,637	1,916
CLASSIFICAÇÃO REOLOGICAS DOS LIGANTES ASFALTICOS							
Determinação		Unid.	RAP	M0C	M0P	M20C	M20P
Performance Grade (PG)		°C	88-22	64-16	76-22	70-22	76-22
MSCR (70°C)		Classe	E	H	E	V	E
LAS (19°C)		FFL	1,024	1,320	1,989	1,637	1,916

Buscando uma abordagem mais aprofundada (BERNUCCI *et al.*, 2008), foram avaliados os principais tipos de defeitos como adesividade, rigidez e deformação permanente, conforme apresentado no Quadro 4. Desse modo, verificou-se que as misturas apresentaram resultados satisfatórios. Em relação as amostras M0P e M20P, ambas tiveram a incorporação do asfalto modificado por polímero, demonstrando o potencial de adesão aos agregados virgem e ao RAP.

No Brasil, o ensaio uniaxial de carga repetida (FN) tem sido usado como requisito de desempenho quanto à deformação permanente das misturas asfálticas adotada pelo novo método de dimensionamento Brasileiro MeDiNa. Analisando o Quadro 4 verifica-se que as amostras M0C e M20C apresentaram resultados adequados para a classe 3. Já a amostra M20P atendeu a classe 4 e amostra M0P a classe 5, indicando o melhor desempenho dentre as misturas asfálticas analisadas.

Quadro 4: Resultados de desempenho das amostras.

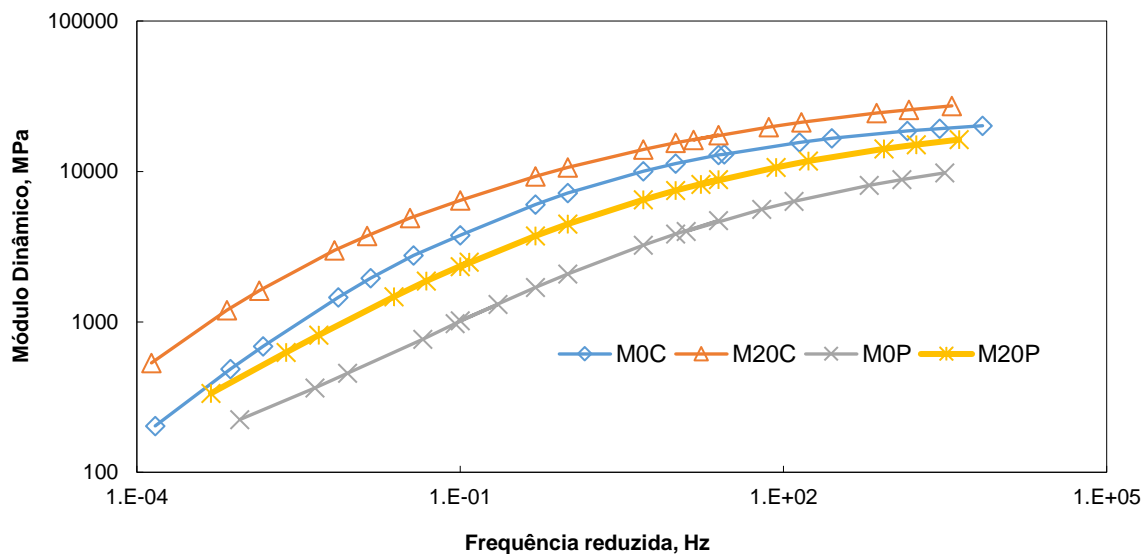
ENSAIOS	MÉTODO	UNIDADE	ESPEC.	AMOSTRAS			
				M0C	M20C	M0P	M20P
Dano por Umidade Induzida (DUI)	DNIT 180	%	> 70	77	72	97	95
Flow Number (FN)	DNIT 184	Ciclos	DNIT MeDiNa	638	640	2472	1243
Módulo de Resiliência (MR)	DNIT 135	MPa	-	12.867	15.433	6.137	8.353
Ruptura por Tração (RT)	DNIT 136	MPa	> 0,65	2,1	2,5	1,0	1,5
MR/RT	Relação	Admissional	-	6.127	6.173	6.137	5.569

Indicativo para o grau de rigidez de uma mistura asfáltica, o ensaio de Módulo de Resiliência (MR) é similar ao módulo de elasticidade, sendo a razão entre a tensão aplicada e a deformação específica recuperável. (PIMENTEL *et al.*, 2022). Verifica-se que os valores de MR, aumentam quando da incorporação de CAP 30/45 na amostra M0C e potencializam o valor com a inserção do material reciclado amostra M20C. Este comportamento era inicialmente esperado, pois o ligante asfáltico envelhecido nas amostras com RAP possui módulo de rigidez mais elevado contribuindo para esta característica na mistura final. Ademais, as amostras M0P e M20P apresentaram os menores resultados.

Além disto, a relação entre Módulo de Resiliência e Resistência à Tração (MR/RT) pode ser um indicador da resistência ao aparecimento e propagação de trincas por fadiga, sendo tanto melhor quanto menor o valor dessa relação, ou seja, quanto menor for a rigidez, para evitar elevada absorção de tensões, e quanto maior for a resistência à tração (Santos, 2020). Deste modo, verifica-se que a mistura que apresentou menor valor de MR/RT foi a amostra M20P, obtendo valores associada ao bom desempenho. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os resultados apresentados sobre módulo dinâmico, vide na Figura 3, indicam que as amostras M0P e M20P apresentaram resultados satisfatórios, isto pode ser reflexo do CAP 65/90-E ter mitigado a redução na rigidez das amostras e conseqüente na diminuição de seus módulos. Vale ressaltar que misturas asfálticas com a incorporação de RAP tendem a elevar a rigidez da mistura asfáltica, tendo como conseqüência uma diminuição na vida útil do pavimento.

Figura 3: Curva mestras das amostras estudadas.



4 CONCLUSÃO

A partir do estudo laboratorial, foi possível concluir que a amostra M20P com a incorporação de 20% RAP é uma alternativa viável e sustentável na construção de estradas recicladas, pois o uso do RAP contribuiu para o bom desempenho da mistura. Além disso, o teor de ligante das dosagens e o tipo de ligante virgem utilizado são os fatores que apresentaram maior influência no desempenho das dosagens.

No que diz respeito a redução de incorporação de CAP novo nas misturas asfálticas. Foi possível identificar uma economia em ligante asfáltico em torno de 20%, desse modo, podemos afirmar que as utilizações de RAP promovem ganhos financeiros sem a perda de qualidade técnica.

5 AGRADECIMENTOS

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. EMPRESA STRATURA ASFALTOS, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para a realização da pesquisa, em especial ao Gerente Emerson Maciel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - **AASHTO M 320**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder, 2017.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - **AASHTO M 332**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep and Recovery Test, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 16208**. Misturas asfálticas — Determinação do teor de betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex e pelo refluxo duplo. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D 6648**. Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR), 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D 7175**. Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, 2015.

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D 1856**. Método de Teste Padrão para Recuperação de Asfalto a partir de Solução pelo Método Abson, 2021.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro – RJ, 2008.
- COPELAND, A. **Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice**. Report No. FHWA-HRT-11-021, n. FHWA, p. McLean, VA, 2011.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER ME 083**. Agregados – Análise granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro/RJ, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 031 ES**. Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico - Especificação de serviço. Brasília/DF, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 135 ME**. Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 180 ME**. Pavimentação - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 184 ME**. Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 415 ME**. Pavimentação – Mistura asfáltica – Teor de vazios de agregados miúdos não compactados – Método de ensaio. Brasília/DF, 2019.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 416 ME**. Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo dinâmico - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2019.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 423 ME**. Pavimentação – Ligante asfáltico – Fluência e recuperação de ligantes asfálticos determinados sob tensões múltiplas (MSCR) - Método de ensaio. Brasília/DF, 2020.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - **DNIT 439 ME**. Pavimentação – Ligante asfáltico – Avaliação da resistência à fadiga de ligantes asfálticos usando varredura de amplitude linear (LAS – Linear Amplitude Sweep) - Método de ensaio. Brasília/DF, 2022.
- IZAKS, R.; HARITONOV, V.; KLASA, I. & ZAUMANIS, M. **Hot mix asphalt with high RAP contents**. 1st International Conference on Structural Integrity. Procedia Engineering 114, p. 676-684, 2015.
- PIMENTEL R.; MIGUEL A.; TRILLO I.; MACIEL E.; MAXIMIANO F.; MOREIRA M.; BARROS M.; VILLELA A.; ALVES D.; HENRIQUE P.; CASTILHO W. **Rodovia de alta performance desenvolvida com adição de polímeros reciclados pós consumo e elvaloy (RET)**. XXI CILA Congresso IberolatinoAmericano del asfalto, 2022.
- RELATÓRIO INTERNO PETROBRÁS DISTRIBUIDORA S.A (2017) – **Boletim Técnico de Pavimentação**. Rio de Janeiro/RJ, 2017.
- SUZUKI, K. Y. **Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com diferentes teores de material fresado**. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo/SP, 2019.
- Stratura Asfaltos S.A. **Dano por umidade induzida** <<https://stratura.com.br/ensaio-de-danos-por-umidade-induzida-dui/>> Acessado 27.11.2022.
- SANTOS, E. F. ET AL. **Avaliação do módulo de resiliência de misturas asfálticas com granulometria definida pela faixa de agregados dominantes**. 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET 100% DIGITAL, 2020.
- WITZACK, M. W. **Simple performance tests: Summary of recommended methods and database**. Transportation Research Board, 2005.