



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

AVALIAÇÃO DO USO DE GARRAFAS PET COMO AGREGADO PARA TRATAMENTO SUPERFICIAL DE RODOVIAS

*Andressa Beatriz Almeida dos Santos¹; Wellington Lorrán Gaia Ferreira² &
Bruno Tiago Angelo da Silva³*

RESUMO

O Tratamento Superficial (TS) é um tipo de revestimento flexível que costuma ser utilizado em rodovias de baixo a médio volume de tráfego, sendo a perda de agregados no início da vida útil um de seus principais problemas. O volume de agregados utilizado no TS é elevado, estimulando a busca de alternativas mais sustentáveis que minimizem a desagregação entre os agregados e o ligante asfáltico. Nesse contexto, o Polietileno Tereftalato (PET), plástico mais reciclado em todo o país, pode ser reaproveitado em diversas indústrias, incluindo a pavimentação. O atual trabalho tem como principal objetivo verificar a viabilidade da incorporação do PET no TS. Para isso, foram preparadas em laboratório amostras de TS com 0%, 3%, 5% e 7% de PET em relação ao peso dos agregados a fim de se verificar a potencialidade de uso deste material. O desempenho do TS foi avaliado através do ensaio de desgaste por abrasão úmida (do inglês *Wet Track Abrasion Test - WTAT*). Os resultados indicaram que a amostra com 0% de PET apresentou desgaste baixo da ordem de 5,0%, enquanto as amostras com PET apresentaram valores de desgaste da ordem de 18,0%. No entanto, os valores de desgaste das amostras com PET estão próximos de outros estudos encontrados na literatura que utilizaram agregados convencionais. Acredita-se que a quantidade e a forma do agregado PET utilizado nesta pesquisa pode ter impactado no aumento do desgaste. Portanto, o uso do PET no TS ainda precisa ser mais investigado e pode ser uma alternativa sustentável viável.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento superficial duplo; sustentabilidade; PET; desgaste.

ABSTRACT

Surface Treatment (TS) is a type of flexible coating that is usually used on highways with low to medium traffic volumes, with the loss of aggregates at the beginning of their useful life being one of their main problems. The volume of aggregates used in TS is high, stimulating the search for more sustainable alternatives that minimize the disintegration between the aggregates and the asphalt binder. In this context, Polyethylene Terephthalate (PET), the most recycled plastic across the country, can be reused in several industries, including paving. The main objective of the current work is to verify the feasibility of incorporating PET into TS. To this end, TS samples were prepared in the laboratory with 0%, 3%, 5% and 7% PET in relation to the weight of the aggregates in order to verify the potential use of this material. The performance of the TS was evaluated using the Wet Track Abrasion Test - WTAT. The results indicated that the sample with 0% PET showed low wear of the order of 5.0%, while the samples with PET showed wear values of the order of 18.0%. However, the wear values of PET samples are close to other studies found in the literature that used conventional aggregates. It is believed that the quantity and shape of the PET aggregate used in this research may have impacted the increase in wear. Therefore, the use of PET in TS still needs to be further investigated and may be a viable sustainable alternative.

KEY WORDS: Double surface treatment; sustainable; PET; abrasion.

^{1,2,3} Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA), andressabeatriz1@hotmail.com;
wellington.ferreira@ufersa.edu.br; brunoangelo@ufersa.edu.br



1 INTRODUÇÃO

O revestimento asfáltico em geral visa garantir a segurança e o conforto do usuário, proteger as camadas inferiores dos agentes naturais, e transmitir as ações do tráfego para as camadas adjacentes. Entre os tipos de revestimento utilizados em pavimentos asfálticos, pode-se dividir aqueles usinados, isto é, preparados em usinas de asfalto e que costumam ser utilizados em vias de elevado volume de tráfego, um exemplo é o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ); e aqueles produzidos em campo, a exemplo do Tratamento Superficial (TS), o mais utilizado em vias de baixo volume de tráfego.

O TS é executado a partir da aplicação de uma ou mais camadas de ligante asfáltico (geralmente emulsão asfáltica) e agregados compactados. A adesão entre os agregados e a emulsão asfáltica é fundamental para garantir a qualidade do revestimento para evitar e/ou amenizar o deslocamento do agregado nos primeiros anos de sua vida útil, porém, com os efeitos do tráfego, da ação climática e do envelhecimento, o deslocamento dos materiais durante a vida útil é inevitável, fazendo com que surjam panelas e fissuras (BERNUCCI *et al.*, 2010).

O uso de recursos naturais como pedras, areias, cascalhos e petróleo é expressivamente elevado na construção de rodovias, estimulando esforços contínuos para encontrar alternativas mais sustentáveis, como o uso de materiais reciclados. Com isso, a aplicabilidade desses resíduos faz-se necessária para evitar o esgotamento dos aterros sanitários e principalmente para reduzir o uso de recursos naturais. Por esse motivo, a inclusão de materiais alternativos na pavimentação vem sendo objeto de estudo há décadas. Pesquisadores como Silva (2023) avaliaram o uso da borracha de pneus como agregado no CBUQ, Sousa (2021) avaliou o uso de resíduos sólidos nas camadas granulares do pavimento, ambos tendo como objetivo comum melhorar as características mecânicas dos materiais.

Nesse contexto, o PET é um dos resíduos mais gerados pelos brasileiros, com 23,5 toneladas coletadas no ano de 2019, sendo o tipo de plástico mais reciclado em todo o país (ABRELPE, 2021). Por conta da versatilidade na aplicação, o material PET está sendo explorado de diversas maneiras na construção civil, tais como na composição de blocos de concreto (CÂNDIDO *et al.*, 2014), como agregado miúdo em argamassas (CANELLAS; D'ABREU, 2005), e como modificador de ligante asfáltico (TAVARES, 2018). A maioria dos trabalhos investigam o uso do PET em misturas usinadas, porém ainda é restrito os estudos referentes a utilização desse material em misturas preparadas em campo, como o TS.

Dessa forma, a aplicação de garrafas PET fragmentadas, como agregado alternativo no TS, pode ser uma forma de reutilização desse material. Além disso, acredita-se que o material PET pode contribuir na adesão agregado-ligante. Devido à grande demanda de resíduos sólidos provenientes de garrafas PET, esse trabalho tem como principal objetivo verificar a viabilidade da incorporação do PET como agregado no TS.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) classifica e determina a sistemática da execução do TS como: Tratamento Superficial Simples (TSS), Tratamento Superficial Duplo (TSD) e Tratamento Superficial Triplo (TST). Essa divisão refere-se ao número de aplicações de camadas de ligante asfáltico e agregados. A Figura 1 mostra uma ilustração dos três tipos de TS.

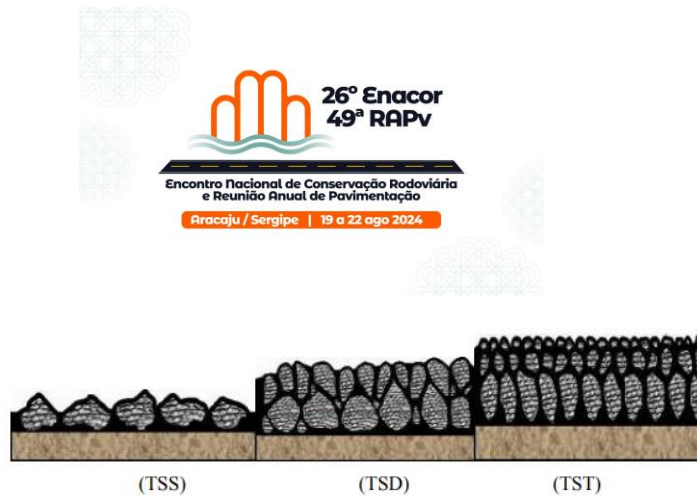


Figura 1. Tipos de Tratamento Superficial (Loiola, 2009).

O TSS é a camada do revestimento que recebe apenas uma aplicação de ligante e agregado, no TSD e no TST as camadas de agregados são de granulometrias distintas permitindo uma sinergia entre elas, uma vez que os agregados menores preenchem os espaços entre os agregados maiores. Portanto, a camada de agregado mais fino na superfície proporciona uma base sólida para a camada de agregado médio e a camada de agregado graúdo. A textura gerada pela última camada ajuda a reforçar a aderência e a proteção do pavimento otimizando o desempenho global do TS, prolongando a vida útil e garantindo a segurança dos usuários (PEREIRA, 2013).

No entanto, um dos principais defeitos desse revestimento se deve à perda de agregados, que no início da vida útil pode estar relacionada a fraca ligação agregado-emulsão que não é suficiente para resistir aos esforços do tráfego e/ou pode também estar atrelada a fatores característicos dos materiais que afetam essa particularidade, como: porosidade, capacidade de absorção, forma e textura do agregado e tipo de emulsão. Essa falta de adesão agregado-emulsão ao longo da vida útil do pavimento pode se dar também devido as quantidades inadequadas de agregados e ligante, ruptura precoce da emulsão, equipamentos inadequados na execução, e outros.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com área de aproximadamente 1.096 km², o município de Caraúbas, está localizado na microrregião da Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte (RN) e possui atualmente cerca de 19.577 habitantes (IBGE, 2022). O tráfego na região é baixo, o que justifica avaliar o uso de revestimentos com menor custo, caso do TS.

3.1 Materiais

A cidade de Caraúbas/RN conta com o apoio da Associação Caraubense de Reciclagem Serviços e Educação Ambiental (ACRESEA) para promover a participação da população na coleta e reciclagem dos resíduos sólidos gerados, além de oferecer educação ambiental e possibilitar a geração de renda através da coleta. Os últimos registros fornecidos pela ACRESEA, referentes a coleta de PET no primeiro semestre de 2023, apontam uma média mensal de aproximadamente 3.466 Kg desse material. Esse número implica em mais de 40 toneladas de resíduos sólidos somente do tipo PET, gerados anualmente na cidade.

O material que chega nas instalações da coletora é separado por cor e tipo, alguns são prensados e destinados às indústrias para a logística reversa e outros são beneficiados e transformados em vassouras pela própria empresa. Para o estudo em questão, foi utilizado o PET cortado manualmente em pequenas partículas, com auxílio de uma tesoura e dimensões médias de até 2cm de comprimento e 0,15cm de largura. Na Figura 2 é possível observar os processos citados.



- a) Como o material chega na coletora. b) Material prensado. c) Vassouras produzidas pela ACRESEA. d) PET beneficiado.



Figura 2. Processos logísticos da ACRESEA.

Os agregados minerais utilizados foram as britas 3/4''(19mm) e 3/8'' (9,5mm). O ligante asfáltico utilizado foi a Emulsão Asfáltica Catiônica de Ruptura Rápida (RR-2C). A Figura 3 ilustra os materiais mencionados.

- a) Brita 3/4''. b) Brita 3/8''. c) Emulsão RR-2C.



Figura 3. Materiais (agregados e emulsão).

3.2 Métodos

Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas/RN, exceto o de desgaste por abrasão úmida, realizado no Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizado em Fortaleza/CE.

3.2.1 Caracterização dos Agregados

A granulometria dos agregados foi analisada com base na norma DNER-ME 083/98, que estabelece a análise granulométrica através do ensaio de peneiramento. Para cada um dos agregados foi feito o peneiramento de duas amostras. A resistência ao desgaste das britas 3/4'' e 3/8'' foi avaliada a partir do ensaio de Abrasão "Los Angeles" como recomendado pela norma DNER – ME 035/98. O ensaio de absorção e densidade foi realizado conforme a norma DNIT 413/2019 – ME, que prescreve o processo para determinação de massa específica, densidade e absorção de



agregados graúdos para misturas asfálticas. Por fim, foram realizados os ensaios de índice de forma (ABNT NBR 6954/89) e adesividade ao ligante (DNER-ME 078/94).

3.2.2 Determinação da Taxa de Agregado e da Taxa de Ligante Asfáltico

Optou-se por avaliar um TSD utilizando a brita 3/4” (como primeira camada) e a brita 3/8” (como segunda camada). Para a determinação da taxa de agregado, foi utilizado o método do mosaico, que, segundo Loiola (2009), é o método que melhor representa a dinâmica de execução em campo. O método consiste em espalhar os agregados em uma placa ou bandeja de área conhecida (44cm × 30cm × 6cm), de modo a cobrir toda a superfície sem que fiquem falhas ou sobreposições, como mostra a Figura 4.



Figura 4. Execução do método do Mosaico.

Calculou-se a taxa de agregado graúdo (T_g) pela Equação (1). Onde: P_t é peso da bandeja com o agregado (kg); P_p é peso da bandeja (kg); e A é área da bandeja (m^2) (DNIT 147/2012-ES).

$$T_g = (P_t - P_p) / A \quad (1)$$

A taxa de emulsão foi calculada de acordo com Loiola (2009), a partir da Equação (2), onde: $T_{(RR-2C)}$ é a taxa da emulsão asfáltica catiônica RR-2C (L/m^2); e T_{ag} é a taxa do agregado.

$$T_{(RR-2C)} = 0,112 \times T_{ag} \quad (2)$$

3.2.3 Resistência ao Desgaste

O ensaio *Wet Track Abrasion Test* (WTAT) foi realizado conforme a norma ABNT NBR 14746. A norma define como avaliar a resistência ao desgaste de TS em condições de tráfego simuladas através de um ensaio de abrasão úmida, e fornece diretrizes para determinar a proporção ideal de emulsão para diferentes misturas de agregados e aditivos, cujo desgaste é calculado de acordo com a Equação (3), onde: A é abrasão ao desgaste úmido; P_1 é a massa inicial do revestimento e P_2 a massa final pós-ensaio.

$$A = ((P_1 - P_2) / P_1) \times 100 \quad (3)$$

Apresenta-se a seguir os processos utilizados para realização do ensaio WTAT, utilizando como referência os trabalhos de Loiola (2009) e Araújo (2019): a) colocou-se sobre uma placa



circular metálica uma manta asfáltica e um molde de ferro com diâmetro de 28cm e espessura de 1cm, esse conjunto foi pesado utilizando uma balança de precisão (Figura 5a); b) aplicaram-se as taxas de agregados e de emulsão referentes ao número de camadas (Figuras 5b e 5c); c) compactação feita com o auxílio de um cilindro de concreto (Figura 5d); d) em seguida o conjunto foi colocado na estufa a 60°C por 24h para que toda a água presente na emulsão evapore, acelerando seu processo de cura (Figura 5e); e) o revestimento foi removido da estufa e permaneceu em temperatura ambiente por 1h; f) fez-se a pesagem do revestimento seco antes de ser submetido aos ensaios; g) cobriu-se completamente a amostra com água durante 10 minutos (Figura 5f) e h) a amostra foi então submetida ao ensaio de WTAT (Figura 5g); i) lavou-se o revestimento pós-ensaio, foi colocado na estufa por 2h a 60°C e pesado novamente, para calcular o desgaste. A Figura 5h mostra o revestimento após o ensaio.



Figura 5. Procedimentos para realização dos ensaio WTAT.

Para comparação dos dados, foi produzida um TSD convencional (0% de PET), e as outras 3 substituindo uma parcela da brita 3/8" por porcentagens diferentes de PET, respectivamente 3%, 5% e 7%. Esse percentual de PET foi aplicado entre a segunda camada de emulsão e a segunda camada de agregado.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos Agregados

4.1.1 Análise Granulométrica

A Figura 6 mostra as faixas granulométricas para cada camada do TSD, determinadas pelo DNER-ME 083/98 e os resultados referentes aos ensaios de granulometria realizado em cada tipo de agregado. As britas possuem graduação uniforme, o que significa que as partículas que compõem o agregado são distribuídas em uma faixa de tamanhos específica, com limites superior e inferior bem definidos. As duas juntas são uma boa combinação para o TSD, usando a brita 3/4” na 1ª camada e a brita 3/8” na 2ª camada.

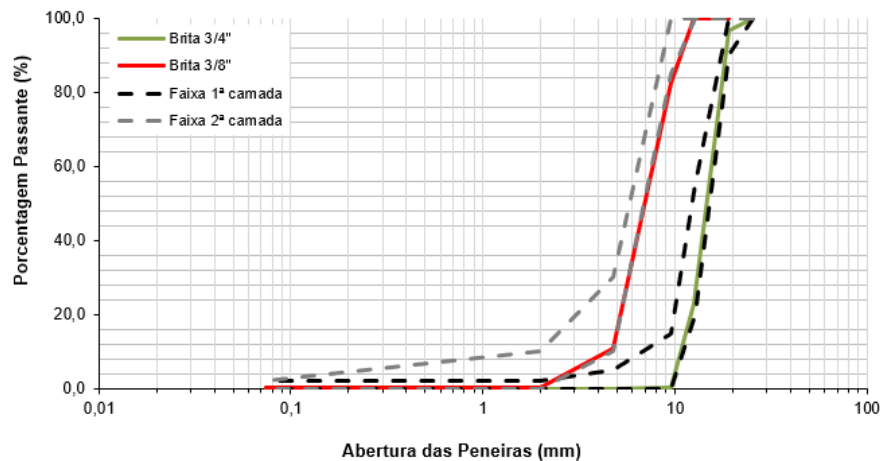


Figura 6. Representação dos resultados da granulometria em gráfico (Autor, 2023).

4.1.2 Índice de Forma e Adesividade

Segundo a norma do DNIT 031/2006, que determina especificações de serviço para os pavimentos flexíveis, o valor limite para o índice de forma de agregados graúdos usados em TSD não deve ser inferior a 0,5. A classificação de forma é dada a partir dos valores médios do comprimento (A), largura (B) e espessura (C) dos agregados. A Tabela 1 apresenta os resultados de índice de forma do agregado graúdo (brita 3/4”).

Tabela 1. Resultados do índice de forma.

Material	A médio (mm)	B médio (mm)	C médio (mm)	B/A	C/B	Classificação
Brita 3/4"	25	17	10	0,68	0,59	Cúbica

Os resultados da adesividade são obtidos visualmente. Na Figura 7, nota-se que os resultados não foram totalmente satisfatório, pois observou-se pontos brancos ao longo dos agregados indicando que não houve completo recobrimento ao término das 72 horas.



Figura 7. Resultado do ensaio de adesividade.

4.1.3 Absorção e Abrasão Los Angeles.

De acordo com a norma DNIT 031/2006 – ES, os valores limites para abrasão de um agregado usado em pavimentos flexíveis devem ser igual ou inferior a 50%. A partir dos resultados obtidos nos ensaios de abrasão como mostra a Tabela 2, observou-se que os materiais utilizados nesse estudo possuem boa resistência ao desgaste, dentro do limite indicando em norma. Ressalta-se a absorção maior da brita 3/8” que pode indicar maior consumo de ligante asfáltico.

Tabela 3. Resultados obtidos para os ensaios com as britas 3/4” e 3/8”.

Parâmetro	Brita 3/4”	Brita 3/8”
Absorção (%)	0,57	1,04
Abrasão Los Angeles (%)	24,34	28,62

4.2 Avaliação do Desgaste

No processo de produção das amostras de TSD, a partir de amostras experimentais, verificou-se que as taxas de agregado e ligante calculadas de acordo com as equações 1 e 2 geraram quantidade excessiva de material em relação a área de aplicação no formato circular como apresentado na Figura 5a. Então, optou-se por adotar taxas menores, que mais se assemelha à execução em campo. Outros autores, como Loiola (2009) e Araújo (2019) já alertaram sobre esse ponto, e também fizeram uso de adaptações nas taxas, por considerarem a ocorrência de variações durante as aplicações em campo, realizadas por processos mecanizados. A Tabela 3 mostra os resultados das taxas calculadas e adotadas pelo autor. Para fins de comparação, foram utilizados resultados obtidos por Araújo (2019).

Tabela 3. Taxas de agregado e emulsão.

Agregado	Araújo (2019)		Taxa Calculada (presente estudo)		Taxa Adotada (presente estudo)	
	Agregado (Kg/m ²)	Emulsão RR-2C (L/m ²)	Agregado (Kg/m ²)	Emulsão RR-2C (L/m ²)	Agregado (Kg/m ²)	Emulsão RR-2C (L/m ²)
Brita 3/4”	12,6	0,82	21,94	2,46	18	2,02
Brita 3/8”	5,8	1,23	8,85	0,99	7	0,78



Optou-se por manter as taxas de aplicação fixas, variando apenas as porcentagens de PET nas amostras, com o objetivo de eliminar essa variável na comparação e assim avaliar a quantidade ótima de PET a ser utilizada. Os resultados do ensaio WTAT apresentados na Figura 8.

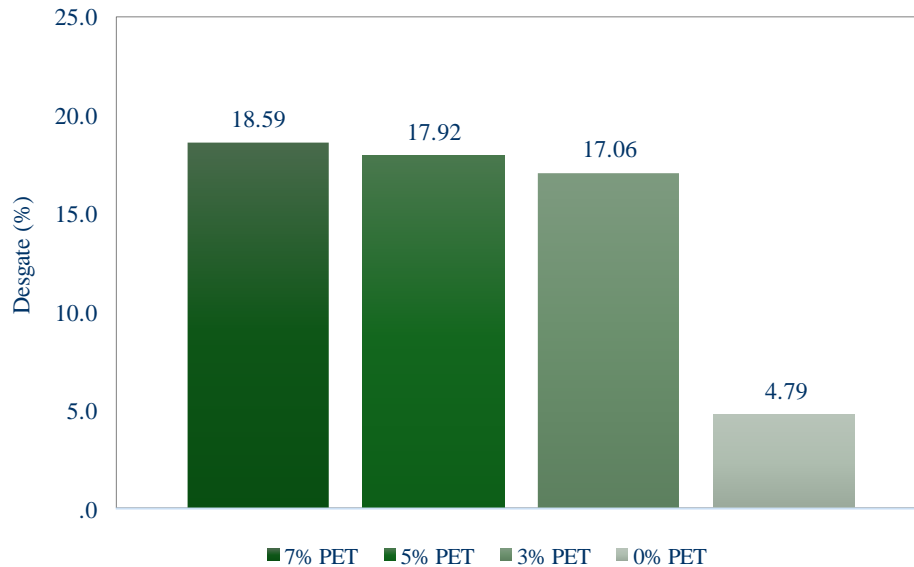


Figura 8. Resultados WTAT.

À vista dos resultados, nota-se que o TSD que melhor apresentou resultados é o que não possui PET, visto que possui um menor desgaste (4,79%). Este resultado já era esperado, pois não existe interferência de material alternativo. Entretanto, se observarmos apenas os 3 TSDs com PET, à medida que o teor de PET aumenta, o desgaste também ligeiramente aumenta.

Esperava-se que com o uso do PET no TSD, os resultados de WTAT fossem pelo menos similares aos resultados da amostra sem PET. Como isso não foi observado, acredita-se que esse resultado está diretamente ligado ao tratamento do PET anterior à sua aplicação, tais como: i) o tamanho das partículas do PET pode ter causado uma má adesão com os demais materiais, isto é, com dimensões menores e mais próximas de um pó, esse material poderia provocar uma melhor ligação entre os agregados e a emulsão, além de preencher os espaços vazios entre as britas e assim melhorar a capacidade de resistência da mistura; ii) a temperatura com que esse material se encontra, visto que na temperatura ambiente o PET não está totalmente amolecido para gerar uma melhor ligação com os agregados minerais e o ligante asfáltico. Todavia, foi feita a média do desgaste dos revestimentos com PET e foram comparados com resultados de trabalhos que utilizaram apenas os materiais convencionais, que são as britas 3/4" e 3/8" e a emulsão RR-2C, e o mesmo ensaio de WTAT.

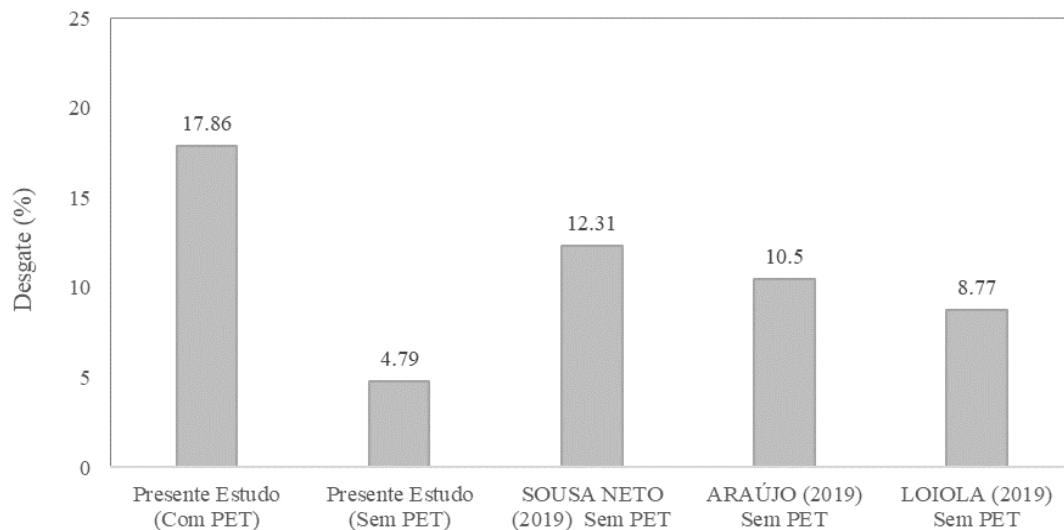


Figura 9. Comparação dos resultados de desgaste.

Dos resultados apresentados na Figura 9, é possível observar que a amostra com PET apresenta valor mais alto de desgaste, porém próximos aos resultados obtidos por Sousa Neto (2019), aproximadamente 5% de diferença. Já quando comparado com os resultados obtidos por Araújo (2019) e Loiola (2009), a diferença percentual é de 7,36% e 9,09%, respectivamente. De fato, as amostras de TSD que não contém PET são mais resistentes à abrasão, como inclusive os resultados do presente estudo apontam. No entanto, a diferença percentual do TSD com PET e dos outros estudos sem uso de PET é abaixo de 10%, valor considerado razoável para um material que usa agregado alternativo.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho foram avaliadas a aplicabilidade e a viabilidade da inserção do PET como agregado em um TSD, visando a sustentabilidade e a melhoria com relação a perda de agregados. Com isso, esperava-se que o uso do PET melhorasse a ligação entre os agregados e a emulsão, uma vez que o PET junto com a emulsão poderia aderir melhor à superfície do agregado, porém isso não foi observado nos resultados obtidos, possivelmente por conta da forma e do tamanho do agregado PET. Acredita-se que agregados PET menores podem proporcionar resultados melhores, além do aquecimento do PET antes da aplicação, o que pode melhorar a adesão. Entretanto, a partir da avaliação do desgaste nas amostras e por meio de comparações com outras pesquisas, foi possível constatar que o PET, apesar de não resultar no desempenho esperado, ainda é um material leve e volumoso, que pode ser empregado em pequenas quantidades, sem perda de adesão significativa, se comparado a outros TSD encontrados na literatura. O volume de agregados é tão grande no TS que qualquer redução de uso de agregados naturais é fundamental do ponto de vista ambiental.



REFERÊNCIAS

ABRELPE (2021). PANORAMA DO RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2021.

ARAÚJO, A. M. (2019) Estudo Laboratorial De Tratamento Superficial Duplo Utilizando Britas Convencionais. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís/MA, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14746/14: Microrrevestimento a frio e lama asfáltica – determinação de perda por abrasão úmida (WTAT). Rio de Janeiro, 2014.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.; CERATI, J.A.P.; SOARES, J.B. (2010) Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 3ª Edição. Rio de Janeiro, RJ.

CÂNDIDO, L.F.; BARRETO, José M. L.; CABRAL, A. E. B. (2014). Avaliação de Blocos de Concreto Produzidos Com PET Reciclado. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12-14 de Novembro, Maceió/AL, Brasil.

CANELLAS, S. S.; D'ABREU, J.C. (2005). Reciclagem de Pet, Visando d Substituição de Agregado Miúdo em Argamassa. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

DNER. DNER-ME 083/98: Agregados - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DNER. DNER-ME 078/94: Agregado Graúdo - Adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

DNER. DNER-ME 086/94: Agregados - Determinação do Índice de Forma. Rio de Janeiro, 1994.

DNER-ME 035/98: Agregados: Determinação da abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 1998.

DNIT. DNIT - 147/2012 ES: Pavimentação Asfáltica - Tratamento Superficial Duplo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DNIT – 413/2019 ME: Pavimentação - Misturas asfálticas – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

DNIT (2006). Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro: Publicação IPR – 729.

LOIOLA, P. R. R. (2009) Estudo de Agregados e Ligantes Alternativos para Emprego em Tratamentos Superficiais de Rodovias. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza/CE, Brasil.

PEREIRA, S. L.O (2013). Avaliação dos Tratamentos Superficiais Simples, Duplo e Triplo de Rodovias Através do Emprego de Diferentes Agregados de Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza/CE, Brasil.

SILVA, D.M.S. (2023). Uso da Borracha de Pneus Inersíveis na Pavimentação Asfáltica. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Alagoas. Maceió/AL, Brasil.

SOUSA NETO, A. P. (2019). Estudo Laboratorial de Tratamento Superficial Duplo Utilizando Seixo Rolado. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís/MA, Brasil.

TAVARES, A. L. N. R. (2018). Estudo das Propriedades Físicas e Químicas do Ligante Asfáltico Cap 50/70 Modificado por Adição De PET Triturado. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, Brasil.