

TÉCNICAS DE MICROANÁLISE PARA A CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MANTAS ASFÁLTICAS E MEMBRANAS POLIMÉRICAS EM SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Jorge Luiz Monteiro Rodrigues¹
Andrielli Moraes de Oliveira¹

Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil –
PPGGCON – Universidade Federal de Goiás – UFG¹

RESUMO

Mantas asfálticas e membranas poliméricas são amplamente utilizadas em sistemas de impermeabilização, desempenhando papel essencial na estanqueidade das construções e na ampliação de sua vida útil. A eficiência desses materiais está diretamente relacionada à microestrutura, a qual influencia propriedades críticas como adesão, hidrofobicidade, estabilidade térmica e durabilidade. Este estudo exploratório revisa o estado da arte do uso de técnicas de microanálise e caracterização aplicadas ao desempenho de materiais de impermeabilização de base polimérica e asfáltica. Foram analisados trabalhos publicados entre os anos de 2020 a 2025 que aplicaram diferentes métodos de investigação, desde a observação da morfologia superficial até a avaliação de alterações moleculares e microestruturais. A análise qualitativa permitiu identificar tendências, técnicas mais recorrentes e contribuições relevantes para o setor. Observou-se que a microscopia eletrônica de varredura (MEV) tem sido fundamental para examinar mudanças microestruturais. Outras abordagens, como a técnica do perfilômetro óptico 3D, deu informações sobre a quantificação da rugosidade e análise de superfícies das amostras. Essas técnicas permitiram visualização em duas e três dimensões dos corpos de prova, os processos de envelhecimento, formação de trincas e erosão, além de avaliação da incorporação de resíduos reciclados para aprimorar o desempenho de impermeabilizantes, alinhando inovação tecnológica e sustentabilidade. Alguns desafios ainda persistem, como o baixo contraste de imagens em polímeros e a vulnerabilidade as radiações ultravioletas. No contexto brasileiro, observa-se que poucos estudos empregam tais técnicas avançadas, o que evidencia uma lacuna relevante a ser explorada em futuras pesquisas científicas.

Palavras-chave: Manta Asfáltica; Membrana Polimérica; Caracterização de materiais; Microestrutura.

INTRODUÇÃO

A durabilidade e a eficiência de edificações e infraestruturas dependem, em grande medida, da qualidade dos sistemas de impermeabilização aplicados para proteger as estruturas contra a ação da água e da umidade. Entre as soluções difundidas no setor da construção civil destacam-se as mantas asfálticas e as membranas poliméricas, materiais que, apesar de consolidados, ainda enfrentam desafios relacionados a degradação precoce e limitações de desempenho em condições ambientais adversas (Chen *et al.*, 2025). Ademais, o trabalho de Mazzotta *et al.*, (2017) abordou o potencial de novas formulações de membranas betuminosas, reforçadas com borracha reciclada, por exemplo. Resultando em materiais com maior elasticidade e resistência a deformação, enquanto mitiga impactos ambientais.

No contexto brasileiro, identifica-se um avanço significativo na comparação de métodos tradicionais de impermeabilização, como emulsões asfálticas, mantas, membranas e hidrorrepelentes, com enfoque em testes normativos de estanqueidade, absorção por capilaridade, absorção por imersão, eficiência de aplicação e imagens de câmeras termográficas (Capraro *et al.*, 2020; Kimick *et al.*, 2021; Herrmann *et al.*, 2019; Westrup e Antunes, 2018). Ainda, os trabalhos destacam a necessidade de estudos para verificar o comportamento dos materiais ao longo de sua utilização, de modo a analisar a vida útil e correlacionar com as operações e custos de manutenção ao longo de seu uso (Capraro *et al.*, 2020; Kimick *et al.*, 2021).

Diante desse cenário, este estudo propõe uma revisão exploratória do estado da arte sobre o uso de técnicas avançadas de caracterização aplicadas à análise da microestrutura e do desempenho de materiais de impermeabilização de base asfáltica e polimérica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho adota uma abordagem exploratória e integrativa, reunindo artigos nacionais e internacionais para mapear o estado da arte sobre o uso de técnicas de microanálise e caracterização de materiais de impermeabilização de base asfáltica e polimérica. A coleta de dados foi realizada em bases como *ScienceDirect* e Portal de Periódicos da CAPES, com recorte de publicações entre 2020 e 2025. As buscas combinaram descritores como “*bituminous sheets*”, “*polymeric membranes*”, “*microstructure characterization*”, “*waterproofing materials*” e seus equivalentes em português. Foram incluídos estudos que aplicaram técnicas de caracterização física, química ou morfológica, como microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de infravermelho (FTIR), ensaios mecânicos e, quando disponíveis, reconstruções tridimensionais. As informações foram organizadas e a análise crítica buscou identificar limitações e potenciais contribuições das técnicas avançadas para o aprimoramento dos sistemas de impermeabilização na construção civil.

RESULTADOS

A análise dos trabalhos selecionados permitiu identificar que os diferentes materiais e sistemas de base asfáltica e polimérica são submetidos a uma variedade de testes laboratoriais e de campo para determinar suas propriedades e desempenho

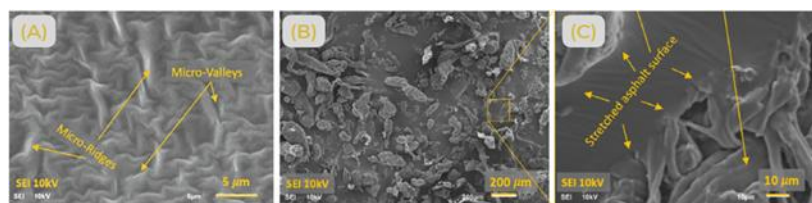
ao longo do tempo. As seções a seguir abordam as técnicas de microanálise utilizadas e os principais resultados obtidos para esses materiais.

Microscopia Eletrônica de Varredura

Dalhat (2021) estudou o potencial da utilização de resíduos de polipropileno reciclado (RPP) para transformar superfícies de asfalto, que são naturalmente hidrofóbicas, em super-hidrofóbicas. Para isso, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi utilizada para investigar a morfologia e microestrutura das superfícies dos materiais asfálticos, além de analisar a interface de ligação entre eles.

As imagens da microestrutura permitiram observar uma transformação da textura original do substrato asfáltico não tratado (micro-cristas e vales em ziguezague) (Figura 1-A) para marcas mais suaves e finas, linearmente orientadas em direção às partículas de RPP após o tratamento (Figuras 1-B e 1-C). Esta transformação foi um fator significativo para o aumento do ângulo de contato com a água (WCA) das superfícies tratadas com RPP (Dalhat, 2021).

Figura 1. Imagens MEV, (A) substrato asfáltico não tratado, e (B e C) superfícies asfálticas tratadas com RPP.



Fonte: Dalhat (2021).

Perfilômetro Óptico 3D

O Perfilômetro Óptico 3D foi empregado por Dalhat (2021) para analisar o perfil da superfície e quantificar a rugosidade das superfícies asfálticas tratadas com RPP. O principal ganho foi na visualização das alterações na topografia por meio dos perfis de superfície 3D gerados. Além disso, o uso desta técnica permitiu a obtenção de parâmetros de rugosidade e confirmaram que tanto a duração da cura do substrato quanto o tamanho das partículas de RPP tiveram uma influência significativa na rugosidade da superfície dos substratos asfálticos tratados, o que, por sua vez, contribuiu para as melhorias observadas no WCA e na hidrofobicidade.

Técnicas de Caracterização Tridimensional

As técnicas de caracterização 3D oferecem uma visão detalhada da morfologia interna dos materiais, permitindo a localização precisa e a visualização das mudanças em níveis micro e nano estruturais. Além de fornecer informações espaciais importantes para o estudo de mecanismos de degradação e a otimização de materiais (Tian *et al.*, 2023).

As técnicas de reconstrução 3D são divididas em três categorias com base em sua estratégia de aquisição de imagens. As técnicas destrutivas envolvem a remoção repetida da camada superior de uma amostra e a aquisição de imagens de cada superfície exposta, como a microscopia eletrônica de varredura por feixe de íons focados (FIB-SEM). Por sua vez, nas técnicas não invasivas as fontes de imagem devem ser capazes de penetrar nas regiões de interesse, não sendo necessário cortar as amostras, a exemplo da tomografia de coerência óptica (OCT). Já as técnicas não destrutivas trabalham com a rotação da amostra e a aquisição de múltiplas projeções em diferentes ângulos para reconstruir a estrutura 3D, a exemplo da tomografia computadorizada de raios X (μ -CT) (Li *et al.*, 2025).

CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada, conclui-se que:

- os estudos apontam para a utilização combinada de diversas técnicas de microanálise e caracterização de materiais como fator importante para se obter melhores análises. Além disso, eles detalharam como as técnicas podem ser usadas para investigar as propriedades, o desempenho e os mecanismos de degradação de materiais poliméricos e asfálticos. Destaca-se a utilização das técnicas para avaliar o potencial de utilização de resíduos reciclados, como o polipropileno e borracha de pneu para aprimorar as propriedades do asfalto em aplicações de impermeabilização, contribuindo para a gestão de resíduos e desenvolvimento de materiais de construção sustentáveis;
- as limitações e desafios para utilização das técnicas mencionadas incluem a necessidade de otimização da preparação de amostras (coloração, marcadores fiduciais e revestimento condutivo) e a adaptação de técnicas para as diferentes condições operacionais;
- são desafios o baixo contraste de imagens de polímeros, devido à sua composição de elementos leves e, a suscetibilidade à degradação das amostras

por radiação ultravioleta; ademais, foi possível verificar que os estudos realizados no Brasil na área de materiais de impermeabilização de base asfáltica e polimérica pouco utilizam as técnicas de microanálise apresentadas, sendo um campo a se explorar e desenvolver em pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPRARO, Ana Paula Brandão et al. Análise de Eficiência, Aplicação e Custo de Três Impermeabilizantes Comerciais. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 64-72, 6 dez. 2020. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**.
<http://dx.doi.org/10.25286/rep.v6i1.1426>. Disponível em:
<http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/1426>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- CHEN, Xiaowen et al. Preparation and properties of synergistic activated rubber powder/SBS composite modified asphalt for waterproof coatings. **Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 22, jul. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04786>. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04786>. Acesso em: 03 jul. 2025.
- DALHAT, M. A. Water resistance and characteristics of asphalt surfaces treated with micronized-recycled-polypropylene waste: super-hydrophobicity. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 285, p. 122870, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122870>. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122870>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- HERRMANN, Thiana Dias et al. Avaliação do comportamento de estanqueidade à água de argamassas e hidrorrepelentes – Parte II. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 24, n. 4, maio 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190004.0842>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/PsJJbDyqfH5wR3zSrmwktXp/?lang=pt>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- KIMICK, Renata dos Santos et al. Análise comparativa da eficácia e eficiência de três sistemas impermeabilizantes. **Revista Alconpat**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 34-47, 1 jan. 2021. Alconpat Internacional. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v11i1.509>. Disponível em:
<https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/509>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- LI, Danyang et al. Three-Dimensional Reconstruction-Characterization of Polymeric Membranes: a review. **Environmental Science & Technology**, [S.L.], v. 59, n. 6, p. 2891-2916, 6 fev. 2025. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.4c09734>. Disponível em:
<https://doi.org/10.1021/acs.est.4c09734>. Acesso em: 08 maio 2025.
- MAZZOTTA, Francesco et al. Performance evaluation of recycled rubber waterproofing bituminous membranes for concrete bridge decks and other surfaces. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 136, p. 524-532, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.058>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181730082X>. Acesso em: 04 jul. 2025.
- TIAN, Rui et al. Characterization Techniques of Polymer Aging: from beginning to end. **Chemical Reviews**, [S.L.], v. 123, n. 6, p. 3007-3088, 20 fev. 2023. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00750>. Disponível em:
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00750>. Acesso em: 08 maio 2025.
- WESTRUP, Flávia Maria; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. **Estudo da Influência de Incorporação de Distintos Aditivos Impermeabilizantes em Placas de Concreto Expostas a Ciclos Higrotérmicos**. 2018. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017. Disponível em:
<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5889/1/FlaviaMariaWestrup.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2025.