VARIABILIDADE DO COMPORTAMENTO DE MANTAS ASFÁLTICAS NO ENSAIO DE TRAÇÃO E ALONGAMENTO

Resumo:

Este estudo avaliou a variabilidade mecânica de mantas asfálticas Tipo III, classe B (4 mm PP), provenientes de dois fornecedores. O objetivo central foi avaliar as diferenças nos resultados de desempenho mecânico entre as regiões das mantas (lado direito, centro e lado esquerdo) e entre os sentidos de fabricação (longitudinal e transversal). Os resultados evidenciaram comportamento anisotrópico em ambos os materiais, além de variações nas médias dos resultados entre as diferentes regiões avaliadas. Para a Manta A, foi observada uma diferença da ordem de 18% entre a região do Lado Direito e o Centro, correspondendo a uma diferença de 101 N entre as médias de força máxima, de 676 N e 575 N, respectivamente. Esses resultados reforçam a importância de uma amostragem representativa das diferentes regiões da manta para o controle tecnológico, uma vez que a avaliação de apenas um ponto do material pode não representar adequadamente sua variabilidade e pode não evidenciar possíveis heterogeneidades decorrentes do processo de laminação industrial.

Palavras-chave: Mantas asfálticas; Resistência à tração; Alongamento; Coeficiente de variação.

Abstract:

This study evaluated the mechanical variability of Type III, Class B (4 mm PP) asphalt membranes obtained from two suppliers. The main objective was to assess differences in mechanical performance results among different regions of the membranes (right side, center, and left side) and between the manufacturing directions (longitudinal and transverse). The results demonstrated anisotropic behavior in both materials, as well as variations in the mean values among the different regions evaluated. For Membrane A, a difference of approximately 18% was observed between the Right Side and Center regions, corresponding to a difference of 101 N between the mean maximum force values of 676 N and 575 N, respectively. These results reinforce the importance of representative sampling of different regions of the membrane for quality control, since evaluating only a single point of the material may not adequately represent its variability and may fail to reveal potential heterogeneities resulting from the industrial lamination process.

Keywords: *Bituminous membranes; Tensile strength; Elongation at break; Coefficient of variation.*

1. Introdução

As mantas asfálticas constituem um dos sistemas de impermeabilização mais utilizados na construção civil, sendo amplamente empregadas em coberturas, lajes, reservatórios, fundações, túneis e obras de infraestrutura devido à sua capacidade de impedir a passagem de água e proteger os elementos construtivos contra processos de degradação associados à umidade. O desempenho desses sistemas está diretamente relacionado às propriedades mecânicas da manta, uma vez que durante sua vida útil o material é submetido a deformações provenientes de movimentações estruturais, variações térmicas, retrações do substrato e solicitações mecânicas diversas (Francke *et al.*, 2025; Rupal, Sharma e Tyagi, 2020; Petrícek e Kacálek, 2018; Marijs e Bonafont, 1970).

O desenvolvimento de composições betuminosas modificadas por polímeros representou um avanço relevante em relação às mantas produzidas com asfaltos oxidados convencionais, uma evolução expressiva para os sistemas de impermeabilização, especialmente em aplicações de coberturas e selagem de juntas. A incorporação de polímeros ao ligante asfáltico proporciona melhorias consideráveis nas propriedades mecânicas e de durabilidade das membranas impermeabilizantes, ampliando sua capacidade de suportar solicitações mecânicas e variações ambientais ao longo da vida útil. Dentre os polímeros empregados, destacam-se materiais capazes de conferir elevada capacidade de deformação, estabilidade térmica, resistência química e maior absorção de energia, características fundamentais para o desempenho de sistemas submetidos a movimentações estruturais e ciclos de envelhecimento.

Atualmente, os sistemas mais difundidos são aqueles modificados com polipropileno atático (APP) e copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS), que apresentam melhorias substanciais nas propriedades. Essas modificações resultam em produtos mais versáteis, com maior resistência às condições de serviço e potencial para aumentar a durabilidade e a sustentabilidade dos sistemas impermeabilizantes (Rupal, Sharma e Tyagi, 2020; Garrido *et al.*, 2018).

Diversos estudos demonstram que as propriedades mecânicas das membranas asfálticas são influenciadas não apenas pela composição do ligante asfáltico, mas também pelo tipo de reforço estrutural empregado, pelas condições de envelhecimento e pelas solicitações ambientais às quais o material é submetido. Processos de envelhecimento térmico, radiação ultravioleta e ciclos de congelamento e degelo podem promover alterações microestruturais capazes de reduzir a resistência à tração, a flexibilidade e a capacidade de deformação do sistema impermeabilizante (Francke *et al.*, 2025; Pasetto *et al.*, 2025; Garrido *et al.*, 2018).

A resistência à tração e o alongamento na ruptura figuram entre os principais parâmetros utilizados para caracterizar o desempenho mecânico das mantas asfálticas. Esses parâmetros fornecem informações fundamentais sobre a capacidade do material em absorver deformações sem perda de integridade, sendo amplamente empregados em especificações normativas e programas de controle de qualidade. Entretanto, estudos clássicos demonstram que a avaliação isolada da resistência máxima pode não representar adequadamente o comportamento mecânico global das membranas, uma vez que materiais com resistências semelhantes podem apresentar capacidades de deformação e absorção de energia significativamente distintas (Rossiter e Bentz, 1986).

Embora existam numerosos trabalhos dedicados ao estudo do envelhecimento, desempenho em serviço e comportamento mecânico, observa-se que os resultados de ensaios de tração podem apresentar variabilidade significativa devido a inconsistências intrínsecas ao material ou ao processo de preparo dos corpos de prova. Em geral, os estudos se concentram na verificação do atendimento aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas técnicas, enquanto aspectos relacionados à dispersão dos resultados, homogeneidade da produção, anisotropia decorrente do sistema de reforço e uniformidade ao longo da largura da manta permanecem pouco explorados.

Considerando que as mantas asfálticas são materiais compósitos reforçados por estruturantes têxteis, ocorre a existência de diferenças de comportamento entre as direções longitudinal e transversal, sendo esta última geralmente a direção mais frágil devido à orientação preferencial das fibras durante a fabricação (Sushinsky e Mathey, 1975). Tais diferenças, bem como variações associadas à posição de retirada dos corpos de prova, podem influenciar diretamente a representatividade dos ensaios laboratoriais e a confiabilidade dos parâmetros utilizados para especificação e controle tecnológico, tornando essencial o conhecimento das propriedades em ambas as direções para uma aplicação segura no campo.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade das propriedades mecânicas de mantas asfálticas estruturadas com não tecido de poliéster, por meio de ensaios de resistência à tração e alongamento na ruptura realizados conforme NBR 9952 (ABNT, 2024). Para isso, foram analisados corpos de prova obtidos em diferentes regiões da manta (lado direito, centro e lado esquerdo), nos sentidos longitudinal e transversal, abrangendo produtos de fabricantes diferentes. Os resultados foram tratados estatisticamente por meio de análise descritiva e coeficientes de variação, visando identificar as diferenças associadas à direção de ensaio e à posição de amostragem, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da uniformidade e da confiabilidade mecânica desses sistemas impermeabilizantes.

2. Metodologia

2.1 Materiais e amostragem

Para este estudo, foram selecionadas duas mantas asfálticas comerciais de fornecedores distintos, denominadas A e B. Ambos os materiais correspondem a

mantas asfálticas Tipo III Classe B, com espessura nominal de 4 mm, modificadas por polímeros plastoméricos (PP) e estruturadas com não tecido de poliéster.

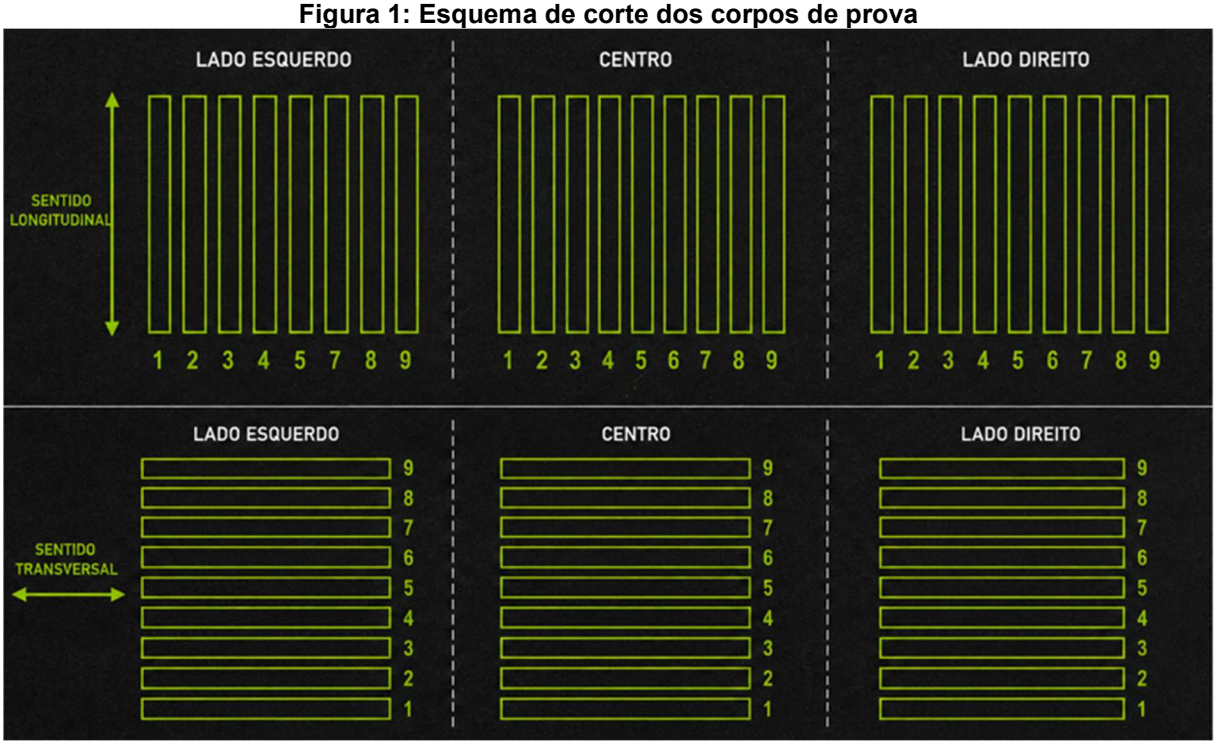
A coleta das amostras segue critérios estabelecidos na NBR 9952 (ABNT, 2024), sendo retirados 3 metros lineares de cada rolo de manta asfáltica. O planejamento amostral é desenhado para avaliar a homogeneidade da produção ao longo da largura da manta, destacando suas variações.

2.2 Preparo dos corpos de prova

Conforme ilustrado na Figura 1, de cada trecho de 3 metros foram extraídos corpos de prova subdivididos em lado esquerdo, centro e lado direito.

Em cada uma dessas sessões, foram cortados 9 corpos de prova no sentido longitudinal (sentido da máquina) e 9 corpos de prova no sentido transversal.

Figura 1: Esquema de corte dos corpos de prova



Legenda:

- Corpo de prova;
- Manta asfáltica.

Totalizou-se, portanto, 54 corpos de prova por manta analisada, sendo 27 para cada direção de ensaio, os quais foram utilizados para a avaliação da variabilidade dos resultados.

2.3 Condicionamento e caracterização dos corpos de prova

Após o corte, todos os corpos de prova foram acondicionados em ambiente com temperatura de (23 ± 2) °C por 2 h, conforme estabelecido pela ABNT NBR 9952:2024.

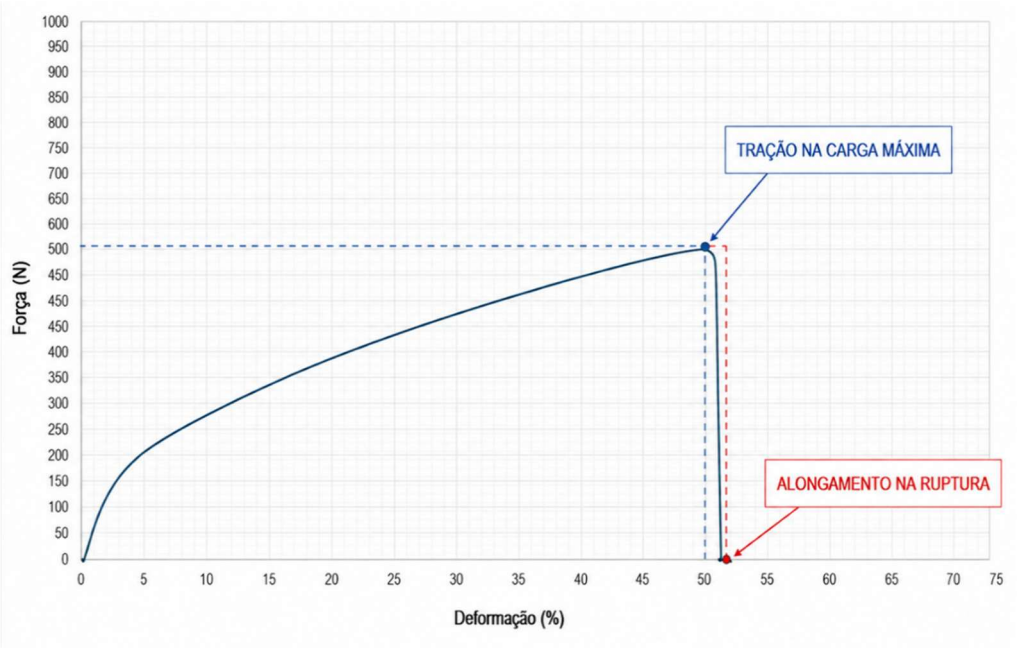
A caracterização individual dos corpos de prova, consiste no registro da espessura, largura, altura (comprimento) e peso, a fim de verificar a uniformidade dimensional do produto e servir de base para as análises de correlação com o desempenho mecânico.

2.4 Ensaio de tração e alongamento

Os ensaios mecânicos foram realizados no equipamento dinamômetro equipado com célula de carga de 2.000 N e garras de rolo excêntrico com distância inicial de 200 mm. O padrão de velocidade durante os ensaios manteve-se em 100 mm/min, sendo automaticamente registrados a força máxima e o alongamento na ruptura de cada corpo de prova, conforme as diretrizes da NBR 9952 (ABNT, 2024).

No processo de ensaio, são registrados a força máxima e a deformação do corpo de prova até a ruptura, permitindo a obtenção da curva força (N) × deformação (%). A partir dessa curva, determina-se a resistência à tração e o alongamento na ruptura, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Representação esquemática da curva força versus deformação do ensaio.



A Equação 1 evidencia a forma em que se calcula o alongamento:

$$A = \frac{(L - L_0)}{L_0} X\ 100 \qquad (1)$$

Onde,

A: É o alongamento no momento da ruptura;

L_0: É a distância inicial entre as garras;

L: a distância final entre as garras, no momento da ruptura.

3. Resultados e discussões

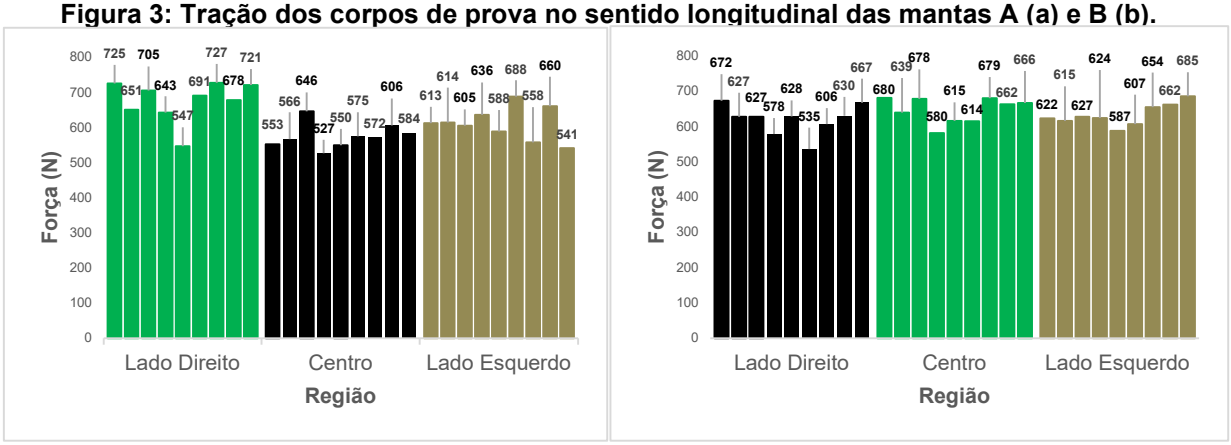
3.1 Análise da Resistência à Tração

Os resultados dos ensaios de tração revelam um comportamento anisotrópico marcante em ambos os materiais, característica intrínseca de mantas estruturadas com não tecido de poliéster.

Relacionado ao comportamento no sentido longitudinal, conforme apresentado na Figura 3a, a Manta A apresentou os maiores valores de resistência à tração no lado direito, alcançando até 727 N. Em contrapartida, observou-se redução de desempenho na região central, na qual foram registrados valores de aproximadamente 527 N para alguns corpos de prova.

A Manta B demonstrou maior consistência e valores ligeiramente superiores na região central alcançando valores de 680 N e lado esquerdo com corpos de prova apresentando 685 N em comparação à Manta A nessas mesmas posições (Figura 3b).

Figura 3: Tração dos corpos de prova no sentido longitudinal das mantas A (a) e B (b).



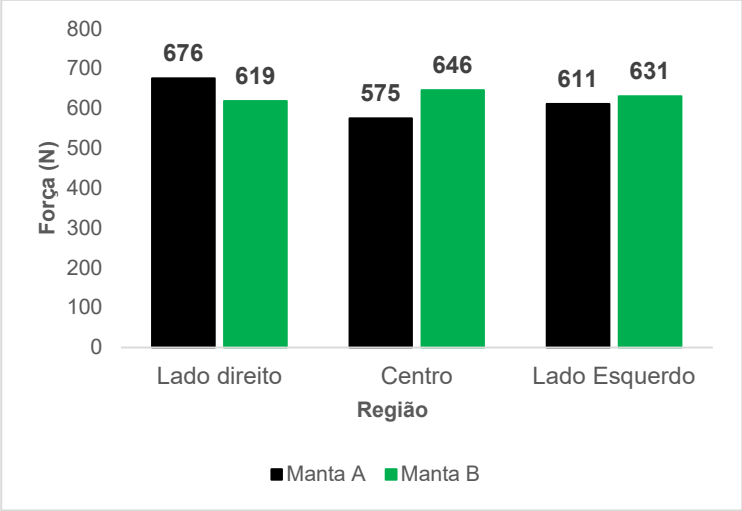
(a) (b)

A avaliação das médias de cada direção no sentido longitudinal, indica que a manta A apresenta sua maior média de resistência no lado direito, mas demonstra uma tendência de queda em direção ao centro e ao lado esquerdo.

Relacionado ao lado direito, a Manta A (com média de 676 N) supera a Manta B (619 N) em 9%. Em contrapartida, no centro, a Manta B (646 N) é 12% superior à Manta A (575 N), mantendo essa vantagem também no lado esquerdo, onde supera a Manta A (612 N) em 3% (631 N).

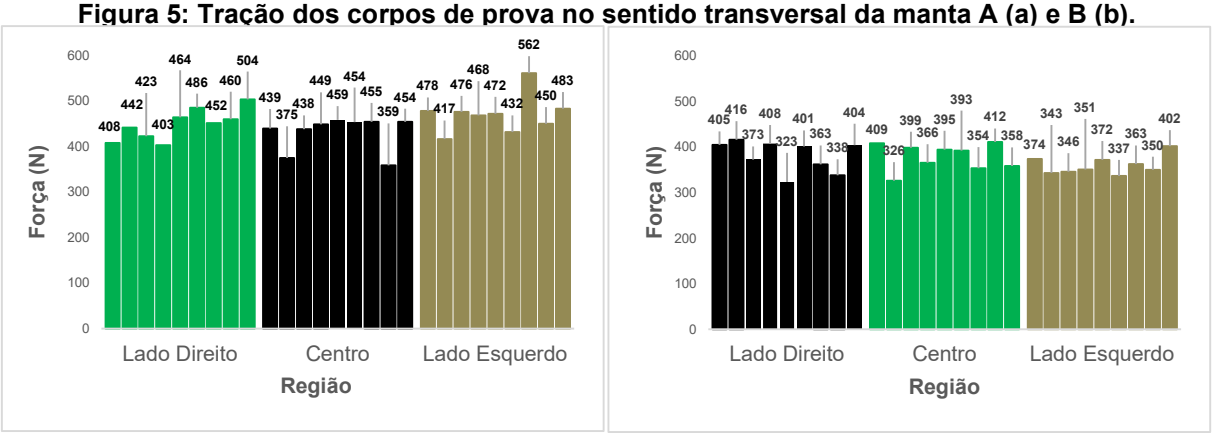
Apesar da manta A apresentar maiores valores nos corpos de prova, em termos de uniformidade, a Manta B demonstra maior estabilidade entre as três regiões, enquanto a Manta A apresenta uma oscilação mais acentuada de carga máxima ao longo da largura da peça (Figura 4).

Figura 4: Valores médios de tração no sentido longitudinal das mantas A e B.



No sentido transversal, é possível identificar que a Manta A superou a Manta B de forma constante em todas as zonas de amostragem. A partir da Figura 5a, é possível verificar que a Manta A manteve valores entre 359 N e 562 N, a Manta B (Figura 5b) apresentou valores mais baixos, variando de 323 N a 416 N. Essa diferença indica que a estruturação da Manta A possui uma distribuição de fibras mais equilibrada ou uma gramatura superior no sentido transversal.

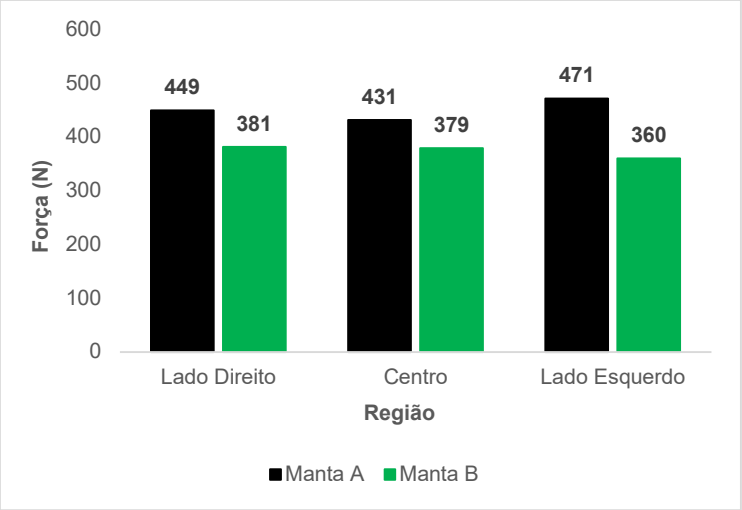
Figura 5: Tração dos corpos de prova no sentido transversal da manta A (a) e B (b).



(a) (b)

As relações das médias no sentido transversal para as mantas A e B revelam um comportamento inverso ao observado no sentido longitudinal, com a Manta A apresentando maior resistência mecânica, enquanto a Manta B mantém uma uniformidade entre as três regiões (Figura 6).

Figura 6: Valores médios de tração no sentido transversal das mantas A e B.



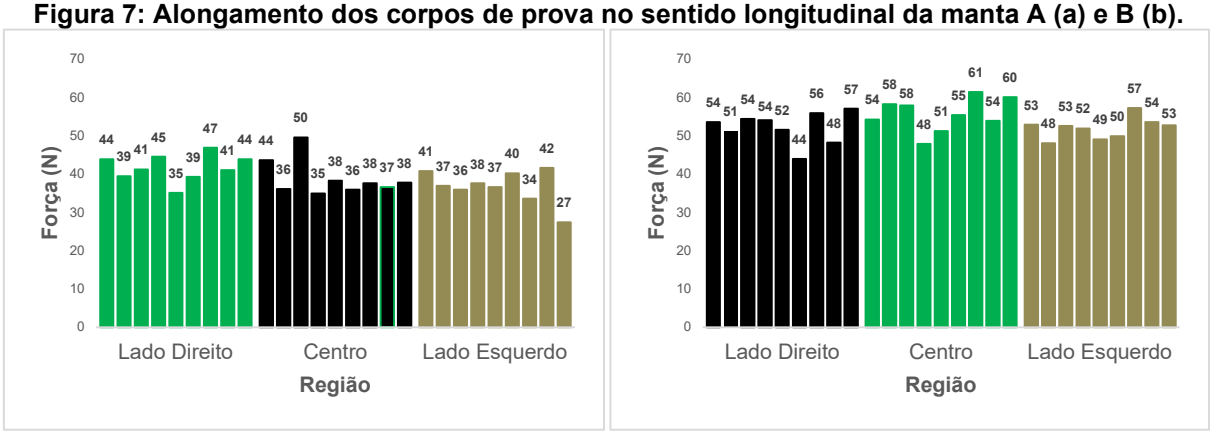
No sentido transversal, a Manta A supera a Manta B de forma consistente em todas as regiões da largura da manta. No lado esquerdo a Manta A atingiu maior valor médio (471 N), enquanto a Manta B apresentou seu valor mais baixo (360 N). No centro, observou-se uma leve redução na Manta A (431 N), mas ela ainda permaneceu acima do valor médio da Manta B (379 N). No lado direito a Manta A apresentou média de 449 N, comparada aos 381 N da Manta B.

Essa superioridade identificada no sentido transversal na Manta A nas três regiões, sugere que seu reforço de poliéster possui uma distribuição de fibras mais robusta ou equilibrada nessa direção, conferindo maior resistência ao sistema contra tensões perpendiculares ao sentido da máquina (Sushinsky e Mathey, 1975).

3.2 Análise do Alongamento na Ruptura

Relacionado ao sentido longitudinal, os corpos de prova da Manta A apresentaram valores de alongamento mais baixos em comparação à Manta B, variando entre aproximadamente 27% e 50% nas regiões do lado esquerdo e centro. A Manta B demonstrou uma maior capacidade de deformação, com a maioria dos corpos de prova registrando alongamentos superiores a 50% em todas as regiões (Figura 7).

Figura 7: Alongamento dos corpos de prova no sentido longitudinal da manta A (a) e B (b).

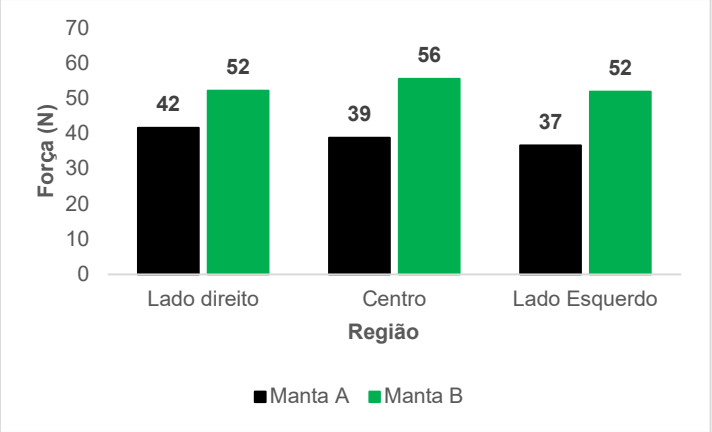


(a) (b)

Enquanto os valores médios da Manta A oscilaram em torno de 37% a 42% (lado esquerdo e lado direito), os da Manta B mantiveram-se consistentes e mais altos, com médias entre 52% e 56% (Figura 8). Essa diferença evidencia que a Manta B possui

uma melhor homogeneidade no sentido de fabricação (longitudinal) do material, quando comparado a Manta A.

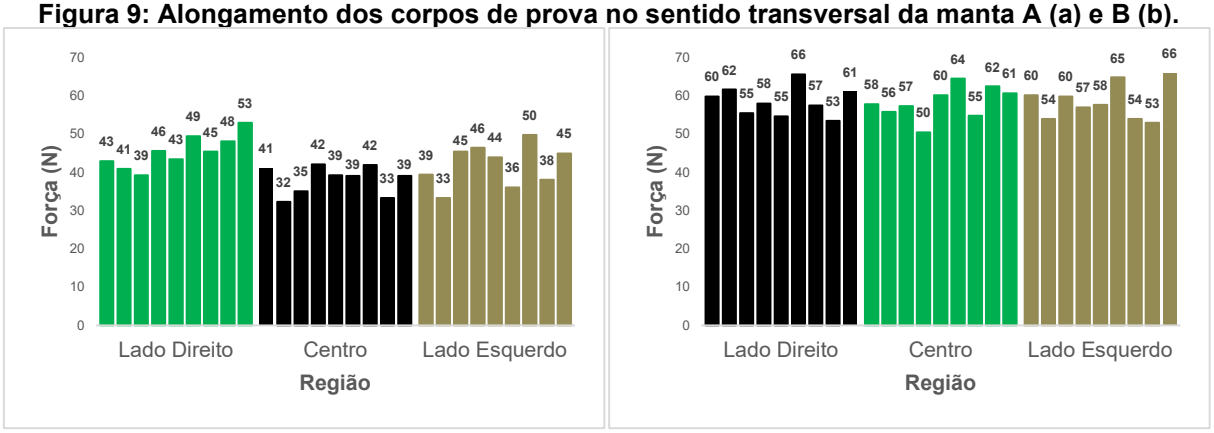
Figura 8: Valores médios de alongamento no sentido longitudinal das mantas A e B.



Quanto à capacidade de deformação, no sentido transversal, a Manta B demonstra ser significativamente mais elástica que a Manta A, apresentando valores mais estáveis entre as regiões (Figura 9). Os corpos de prova da Manta A apresentaram alongamentos variando entre aproximadamente 32% e 53% (centro e lado direito), com maior oscilação entre as regiões.

A Manta B demonstrou uma capacidade de deformação superior e mais homogênea, com a grande maioria dos valores individuais situando-se acima de 50% em todas as regiões.

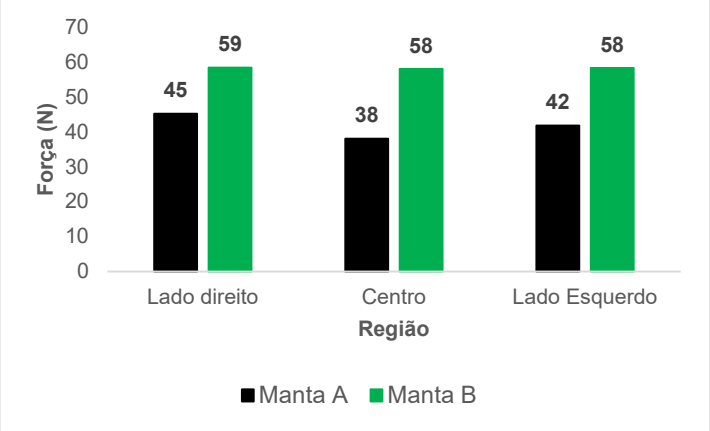
Figura 9: Alongamento dos corpos de prova no sentido transversal da manta A (a) e B (b).



(a) (b)

Analisando os valores das médias no sentido transversal (Figura 10), a Manta B permaneceu praticamente constante em torno de 58% (58% no lado esquerdo, 58% no centro e 59% no lado direito), já a Manta A apresentou médias inferiores e mais oscilantes, variando de 38% (centro) a 45% (lado direito).

Figura 10: Valores médios de alongamento no sentido transversal das mantas A e B.



As diferenças de alongamento encontradas indicam que embora a Manta A suporte cargas transversais maiores, a Manta B oferece uma maior margem de segurança contra rupturas por movimentação estrutural perpendicular ao sentido da máquina.

Segundo Rossiter e Bentz (1986), materiais com menor resistência à tração que apresentam maiores valores de alongamento (caso da Manta B no sentido transversal), podem apresentar uma capacidade de absorção de energia antes do processo de rompimento, suportando cargas elevadas, apresentando deformação significativa antes da ruptura e não rompendo de maneira “frágil”, podendo ser comparado com materiais de alto desempenho.

3.3 Coeficiente de Variação

Com o objetivo de avaliar a homogeneidade dos materiais analisados, foram avaliadas as variações do comportamento mecânico das mantas asfálticas nos sentidos longitudinal e transversal e nas regiões do lado direito, centro e lado esquerdo. Segundo Petrícek e Kacálek (2018), valores de Coeficiente de variação abaixo de 10% são indicativos de bom controle de qualidade para materiais betuminosos.

A Tabela 1 apresenta-se uma síntese das médias e coeficientes de variação obtidos, permitindo uma comparação geral do desempenho das mantas asfálticas avaliadas, evidenciando as variações a partir de cada região e sentido.

Tabela 1: Médias e coeficientes de variação.

Região	Sentido	MANTA A				MANTA B			
		Tração		Alongamento		Tração		Alongamento	
		Média (N)	CV (%)	Média (N)	CV (%)	Média (N)	CV (%)	Média (N)	CV (%)
Lado direito	Longitudinal	676	8,5	42	8,5	619	6,8	52	7,8
	Transversal	449	7,6	45	9,5	381	8,8	58	6,6
Centro	Longitudinal	575	6,0	39	12,1	646	5,5	56	7,8
	Transversal	431	8,7	38	9,7	379	7,7	58	7,3
Lado esquerdo	Longitudinal	611	7,6	37	11,8	631	4,8	52	5,3
	Transversal	471	8,7	42	13,0	360	5,7	58	8,0

A Manta B destacou-se pela alta confiabilidade, apresentando os menores índices de dispersão. Na região do lado esquerdo no sentido longitudinal, atingiu um coeficiente

de variação de apenas 4,8% para tração e 5,3% para alongamento. Sua maior dispersão foi de 8,8% para tração no sentido transversal na região do lado direito, permanecendo dentro de limites excelentes, quando comparado a literatura.

A Manta A demonstrou maior instabilidade, especialmente no parâmetro de alongamento. Registrou coeficientes de variação de 12,1% na região do centro no sentido longitudinal e 13,0% na região do lado esquerdo no sentido transversal. Essa variabilidade sugere inconsistências pontuais na distribuição das fibras de poliéster ou na impregnação asfáltica durante a fabricação, o que pode afetar a representatividade de ensaios laboratoriais isolados (Rossiter e Bentz, 1986).

Fazendo uma comparação entre as três regiões, é possível identificar que as propriedades mecânicas não são perfeitamente uniformes ao longo da largura da manta. Na Manta A, a resistência longitudinal é maior na borda direita e menor no centro. Na Manta B, os valores de alongamento transversal são notavelmente constantes (em torno de 58%), sugerindo um processo de calandragem muito homogêneo.

A falta de uniformidade nas propriedades mecânicas ao longo da largura da manta asfáltica aplicada tem implicações diretas no surgimento de falhas prematuras em serviço, sobretudo o fendilhamento (splitting)**.** Quando a manta é instalada em obra, ela passa a atuar como um sistema compósito exposto a solicitações dinâmicas contínuas, incluindo retrações de substrato, deformações estruturais e ciclos de dilatação e contração térmica. Nesse cenário prático, regiões com menor resistência mecânica ou menor espessura — como a zona central da Manta A — convertem-se em pontos de concentração de tensões. Durante uma movimentação térmica severa em período de inverno ou sob pressão de sucção do vento, a energia de deformação acumulada não se distribui de maneira uniforme, propagando-se preferencialmente por essas linhas de menor resistência e culminando na ruptura localizada do material e na perda de estanqueidade do sistema.

A alta regularidade de alongamento observada na Manta B (58%) indica um processo industrial altamente homogêneo, essencial para a durabilidade da barreira. Essa uniformidade mecânica confere ao sistema uma capacidade previsível e constante de ponteamento de fissuras (crack bridging). Sobretudo em áreas críticas como as juntas de sobreposição (overlapping joints), que já são naturalmente submetidas a severos esforços combinados de cisalhamento e descascamento (peeling), a homogeneidade do reforço assegura que nenhuma seção do rolo atuará como um elo frágil indutor de patologias, mitigando o risco de infiltrações pontuais causadas pela variação de rigidez da armadura (Garrido *et al.*, 2018).

4. Conclusão

Os resultados experimentais evidenciam que as propriedades mecânicas do material não são homogêneas ao longo de sua seção transversal, revelando uma variação sistemática e estatisticamente significativa entre as regiões amostradas. Embora a resistência à tração longitudinal tenha atingido seu pico de desempenho no lado direito, registrando uma média de 676 N, observou-se uma redução de 15% (uma perda de 101 N) ao analisar os corpos de prova extraídos da região central, cuja média limitou-se a 575 N.

Uma membrana asfáltica aplicada atua como um sistema contínuo sujeito a tensões térmicas e mecânicas distribuídas. De acordo com a teoria do 'elo mais fraco', a capacidade global do sistema de impermeabilização de resistir a fenômenos como o fendilhamento (*splitting*) ou deformações decorrentes de movimentações estruturais é governada pela sua zona de menor desempenho. Portanto, a presença de uma faixa central substancialmente menos resistente atua como um indutor de concentração de tensões, elevando drasticamente o risco de ruptura prematura e falha de estanqueidade do sistema.

As características da laminação e do processo produtivo exercem influência direta na anisotropia e na confiabilidade do material, já que a orientação preferencial das fibras do estruturante durante a fabricação (sentido longitudinal) faz com que a resistência à tração seja sistematicamente superior à transversal em ambos os materiais estudados.

É notório a importância da amostragem representativa das três regiões (lado direito, centro e lado esquerdo). Os resultados obtidos evidenciam que corpos de prova retirados em apenas uma extremidade podem gerar uma falsa percepção de qualidade ou falha. Se o controle tecnológico da Manta A fosse baseado apenas no lado direito, a perda de 15% de resistência à tração no centro passaria despercebida, comprometendo a integridade de forma geral.

Sob a perspectiva do processo de análise do material, uma amostragem abrangente, caracterizada na avaliação de múltiplos pontos (lado esquerdo, centro e lado direito) é essencial e deve ser fundamentada na busca por precisão científica e reprodutibilidade nos ensaios laboratoriais.

5. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9952**. Manta asfáltica para impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

FRANCKE, B. et.al. **The durability of mechanical properties of flexible waterproofing membranes used on ventilated terraces under long term exposure to high temperatures**. Scientific Reports, v. 15, n. 19434, 2025.

GARRIDO, M. et.al. **Performance of different joining techniques used in the repair of bituminous waterproofing membranes**. Construction and Building Materials, v. 158, p.346-358, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.180.

MARIJS, P. D.; BONAFONT, R. L. **Mechanical Behaviour of bituminous waterproofing membrane systems**. J. appl. Chem., v. 20, 1970.

PASETTO, M. et.al. **Recycling End-of-Life Bituminous Membranes in Asphalt Mixtures: A Laboratory Study**. Materials, v.18, n. 2035, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/ma18092035.

PETRÍCEK, T.; KACÁLEK. **Dependence between the width of strip overlap and the strength of joints of one-layer bitumen sheets**. MATEC Web of Conferences, v.146, n. 02007, 2018. DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201814602007.

ROSSITER, JR. W.J..; BENTZ. D.P. **Strain Energy of Bituminous Built-Up Membranes:** An Alternative to the Tensile Strength Criterion. Gaithersburg (MD): U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Center for Building Technology, 1986. 1 relatório.

RUPAL, A.; SHARMA, S. K.; TYAGI, G.D. **Experimental investigation on mechanical properties of polyurethane modified bituminous waterproofing membrane**. Materials Today: Proceedings, v. 27, p. 467-474, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.278.

SUSHINSKY, G.F.; MATHEY, R. G. **Fatigue tests of bituminous membrane roofing specimens.** Washington (D.C.): U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1975. 1 relatório.