CAPÍTULO 23 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/72xga640
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/hn0nxk78

CRACK-BRIDGING ABILITY: ENERGIA ABSORVIDA COMO PARÂMETRO INTEGRADOR DE DESEMPENHO PARA MEMBRANAS

Francisco Rey Puente[1]*; Thiago Vallotti de Freitas[2]
*Autor de contato: fpuente@soprema.com.br

[1] Soprema Ltda., São Paulo, Brasil
[2] Instituto Brasileiro de Impermeabilização, São Paulo, Brasil

RESUMO

A fissuração em substratos é um dos principais indutores de manifestações patológicas relacionadas à água em edificações. O Crack-Bridging Ability (CBA), é tradicionalmente conduzida experimentalmente pela EN 1062-7, por meio da quantificação do CBA (em mm) de uma membrana. Porém, somente esta técnica de análise, não é suficiente, para uma avaliação mais profunda do comportamento mecânico da membrana. Analisou sistemas impermeabilizantes por membranas acrílicas (MAc) submetidos a diferentes configurações experimentais, de espessura de filme seco (efs) e da adição de reforço. Como resultado, o valor do CBA apresentou aumento de 80% quando a MAc estava com efs de 1,0mm, face à efs média de 0,5mm, obtida pelo consumo indicado nas Fichas Técnicas (FT) dos Fabricantes. Já o valor de CBA, da MAc com efs de 1,5mm estruturada, em 6 de 9 casos, aumento de 21 a 41%, quando comparada à efs de 1,0mm e não estruturada. Quanto a Energia Absorvida (mJ), houve incremento de até 130% para efs de 1,0mm, face à efs de consumo de FT. Quando reforçados, com efs de 1,5mm, o aumento foi de 280%, face a efs de 1,0mm sem estruturante. Corroborando a importância da introdução da energia absorvida como critério complementar ao CBA.
Palavras-chave: impermeabilização; membrana, acrílica; cba; energia;

ABSTRACT

Cracking in substrates is one of the main drivers of water-related pathological manifestations in buildings. Crack-Bridging Ability (CBA) is traditionally evaluated experimentally according to EN 1062-7, through the quantification of a membrane's CBA (in mm). However, this technique alone is not sufficient for a more in-depth assessment of the membrane's mechanical behavior. Waterproofing systems based on acrylic membranes (AcM) were analyzed under different experimental configurations, considering variations in dry film thickness (DFT) and the incorporation of reinforcement. The results showed that the CBA value increased by approximately 80% when the AcM had a DFT of 1.0 mm, compared to the average DFT of 0.5 mm obtained from the consumption indicated in the manufacturers' technical data sheets (TDS). For AcM with a DFT

of 1.5 mm and with reinforcement, CBA increased in 6 out of 9 cases by approximately 21% to 41% when compared to the non-reinforced system with a DFT of 1.0 mm. Regarding absorbed energy (mJ), an increase of up to 130% was observed for the 1.0 mm DFT compared to the TDS-based consumption thickness. When reinforced and with a DFT of 1.5 mm, the increase reached approximately 280% compared to the non-reinforced system with a DFT of 1.0 mm. These results corroborate the importance of introducing absorbed energy as a complementary criterion to CBA.
Keywords: waterproofing; acrylic membrane; crack-bridging ability; energy absorption.

1. INTRODUÇÃO

A fissuração em elementos de concreto e argamassa decorre de retração, variações térmicas, deformações diferenciais e ações estruturais, e constitui uma das principais causas de falhas em sistemas impermeabilizantes aderidos ou parcialmente aderidos a estes substratos. Quando não adequadamente tratada, constitui vetor primário de infiltração, desencadeando processos patológicos como corrosão de armaduras, destacamento de revestimentos e perda de desempenho funcional. A prevenção dessas manifestações exige que sistemas impermeabilizantes aplicados sobre substratos fissuráveis apresentem capacidade de absorção e acomodação de abertura de fissurações, mantendo integridade e estanqueidade. Os sistemas de impermeabilização são utilizados para mitigar as manifestações patológicas causadas pela infiltração da água e umidade, protegendo e conservando a integridade das construções civis (MORAES, 2002; SOARES, 2014; SOUZA, 2008). Quando aplicados de acordo com um critério técnico, isto é, são projetados de acordo com as necessidades de cada aplicação e utilizam os materiais adequados, considerando a especificidade de cada substrato, apresentam características de estanqueidade tal que atingem sua finalidade (NBR 9574, 2008). Esforços nas estruturas de concreto cobertas com sistemas impermeabilizantes podem ocasionar trincas e fissuras, que comprometem a estanqueidade da estrutura e podem incorrer em manifestações patológicas causadas pela ruptura da camada impermeável (NASCIMENTO et al.; SOARES, 2014). Por isso, espera-se que o sistema, a camada impermeabilizante, e seus materiais, estejam adequados para tal solicitação. Segundo Dos Santos (2021), a análise da capacidade de um sistema impermeabilizante para absorver a ocorrência de trincas e fissuras é importante para que seja possível a diferenciação dos comportamentos dos diversos sistemas na prática construtiva. Atualmente, as normas brasileiras indicam metodologias para materiais impermeabilizantes de forma isolada, sem considerar as condições de uso, restringindo-se a normatizar a qualidade dos materiais quanto à aprovação ou reprovação industrial (DOS SANTOS, 2021).

O *Crack-Bridging Ability* (CBA) constitui-se de um método de ensaio adotado para medir a capacidade de uma camada impermeabilizante na absorção e acomodação de fissurações, decorrentes das movimentações estruturais que ocorrem no substrato aos quais estão aderidas (EN 1062-7, 2004). A EN 1062-7 estabelece procedimento para determinação do CBA, definida como a abertura máxima de fissuração, medida em milímetros (mm), suportada pelo sistema. Entretanto, no contexto brasileiro, ainda não há método nacional consolidado que incorpore parâmetros adicionais capazes de representar integralmente o comportamento de sistemas impermeabilizantes aderidos ou parcialmente aderidos ao substrato.

O presente estudo analisou nove sistemas impermeabilizantes do tipo Membrana Acrílica (ABNT NBR 13321) submetidos a quatro configurações experimentais: espessura conforme o consumo mínimo de Ficha Técnica (FT) fabricante, (em kg/m²), com espessura de filme seco (efs) controlada de 1,0 mm, dois casos com espessura de 1,5 mm com reforço estrutural nas orientações longitudinal

(TL) e transversal (TT). Foram avaliados os parâmetros de abertura máxima de fissuração (mm), força e tensão de ruptura (N e MPa) e energia absorvida na fissuração (mJ).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

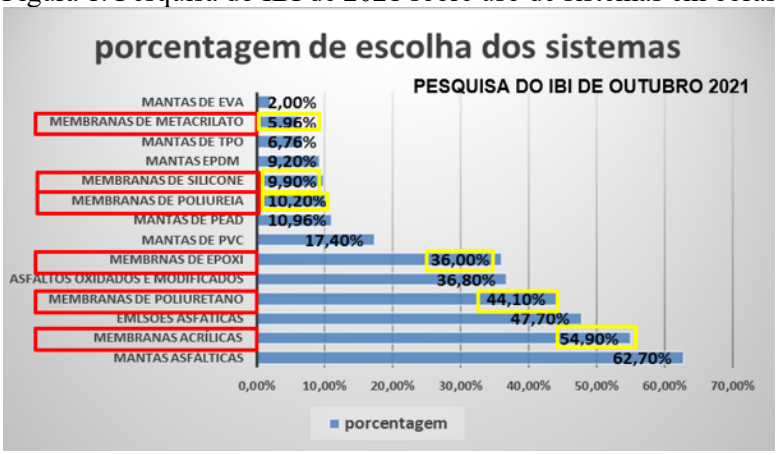
O CBA está diretamente associado à manutenção da estanqueidade ao longo da vida útil, uma vez que a abertura de fissuras no substrato constitui o principal mecanismo de falha em sistemas impermeabilizantes aderidos. A perda desta capacidade resulta na formação de caminhos preferenciais para a água, desencadeando manifestações patológicas clássicas, como corrosão de armaduras, destacamento de revestimentos e degradação funcional do sistema.

O objetivo deste estudo é propor uma forma de comparar os sistemas impermeabilizantes testados, MAcs, com ou sem reforço e aderidos ao substrato, de forma mais assertiva, analisando além do CBA em mm, também a Energia Absorvida em mJ. Isto permite a seleção de produtos mais duráveis, sustentáveis e adequados aos projetos de impermeabilização, e permite melhor custo/benefício na sua utilização, trazendo benefícios econômicos diretos através da escolha do produto ou sistema de melhor desempenho face à fissuração.

2.1 Motivações do mercado

No mercado brasileiro de impermeabilização nota-se uma participação substancial na utilização de membranas nas construções (Figura 1), por volta de 45% das edificações analisadas, tem alguma solução impermeabilizante tipo membrana, seja em construções com projetos de impermeabilização existentes, seja em obras que não possuem projeto de impermeabilização específico, mas necessitam inevitavelmente, de incorporação deste processo, como em caixas d'água, lajes, coberturas, floreiras, garagens ou outras aplicações específicas. Esta participação, segundo o Instituto Brasileiro de Impermeabilização – IBI, deve-se à facilidade de utilização destes materiais, simplicidade para manutenção, reparos e versatilidade de aplicações.

Figura 1. Pesquisa do IBI de 2021 sobre uso de sistemas em obras



Fonte: publicações de pesquisa técnica IBI, 2021

Entretanto, apesar da crescente popularidade, observa-se que não há Normas Técnicas nacionais específicas para a condução de ensaios acerca da capacidade, ou aptidão, destas membranas em absorver as fissurações novas, que possam surgir em uma estrutura em que elas sejam aplicadas. Este fato impede comparações entre os diferentes produtos oferecidos pelo mercado e a sua classificação para maior compreensão de seus custos/benefícios pelos consumidores.

2.2 Crack Bridging Ability (CBA)

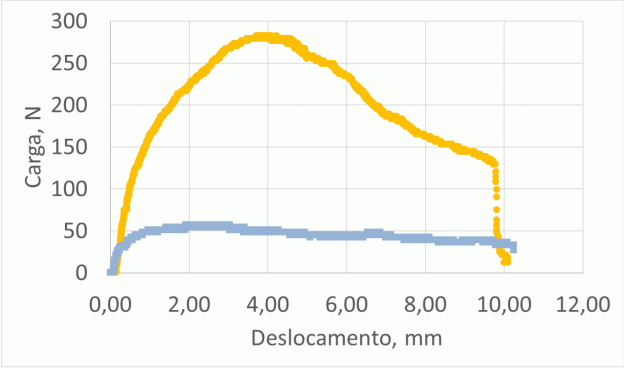
A classificação e a caracterização dos sistemas aderidos são normatizadas principalmente na Europa pela EN 1504-2 (2010), que possui parâmetros de classificação visando qualificar os sistemas impermeabilizantes escolhidos. Nesta Norma o CBA é considerado um parâmetro de qualificação de um produto, refletindo melhor as condições de obra do que os ensaios convencionais de alongamento e tração, que são propriedades do produto ensaiados em condições de maior grau de liberdade de movimentação, adotando a Norma EN 1062-7 (2004) como metodologia de classificação do CBA dos sistemas de impermeabilização do tipo *Coating* (C).

A Norma Europeia EN 1062-7 (2004) aborda o conceito de CBA, como a capacidade apresentada por um sistema de revestimento, como a impermeabilização, de absorver as fissuras resultantes das deformações do substrato. Indica que CBA é o resultado da medida, em micrômetros ou milímetros, da abertura de fissura medida no substrato quando a primeira fissura é observada na camada impermeável após o ensaio. O CBA representa a capacidade do sistema de absorver abertura progressiva de fissura, sem ruptura, e pode estar relacionado a três outros importantes parâmetros do produto, como alongamento, resistência a tração e aderência ao substrato.

2.3 Energia absorvida

Analisou-se também a energia absorvida pelas membranas ensaiadas, uma vez que o equipamento utilizado para medição fazia a leitura da força aplicada (N) no teste de CBA, durante o deslocamento contínuo (mm), a que eram submetidas as amostras. Esse parâmetro expressa a capacidade de dissipação energética do sistema e está diretamente relacionado à resistência de propagação de fissuras. A Figura 1 traz exemplos de MACs com CBAs equivalentes, mas com diferentes energias absorvidas, de baixa energia (cinza), e de alta energia (amarelo).

Figura 1. MAcs com CBAs equivalentes, baixa energia (cinza), alta energia (amarelo).



Fonte: os Autores

A Energia absorvida pela membrana durante o teste de CBA (mJ – miliJoules), da Equação 1, corresponde à integral das curva força × deslocamento, desde o início do teste, até o ponto de ruptura desta membrana: maiores valores numéricos evidenciam o aumento da área sob a curva nos sistemas estruturados, refletindo maior capacidade de absorção energética.

Equação 1. Energia Absorvida de CBA

$$E_{CBA} = \int_{d0\ inicial}^{dr\ ruptura} F(x).dx$$

Fonte: os Autores

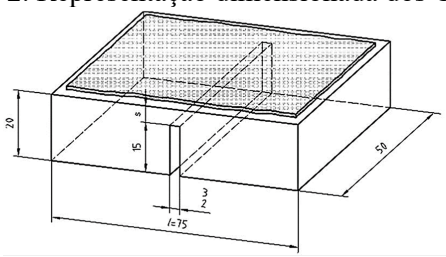
Onde: E_{CBA} é a energia absorvida (mJ),
F(x) é a função de Força (N) vs Deslocamento de CBA (mm),
d é a abertura da fissuração (mm).

3. METODOLOGIA

Iniciou-se com a utilização de placa padrão ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), confeccionados em padrão pela Norma ANBT NBR 14081-2 (2015), nas dimensões de 250 x 500 x 20 mm, com a seguinte composição básica: cimento CP-V ARI estrutural; areia de brita; areia quartzosa, ou seja, chamada areia rosa; água conforme traço estipulado pela norma. Na EN 1062-7, os produtos podem ser aplicados nas peças inteiras, calculando-se o consumo pela área total do corpo de prova, seguido de redimensionamento normatizado para os testes de CBA, com a utilização uma serra circular apropriada.

As amostras finais para ensaios de CBA apresentam dimensões finais de 75 x 50 x 20 mm (Figura 3), com um exemplo de Corpo de Prova (CP) apto ao teste, demonstrado na Figura 3.

Figura 2. Representação dimensionada dos CPs



Fonte: adaptado de NBR 14081-2 (2015)

Figura 3. Exemplo da amostra final do CP

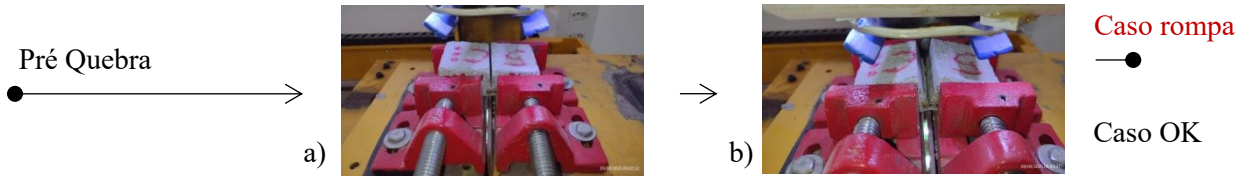


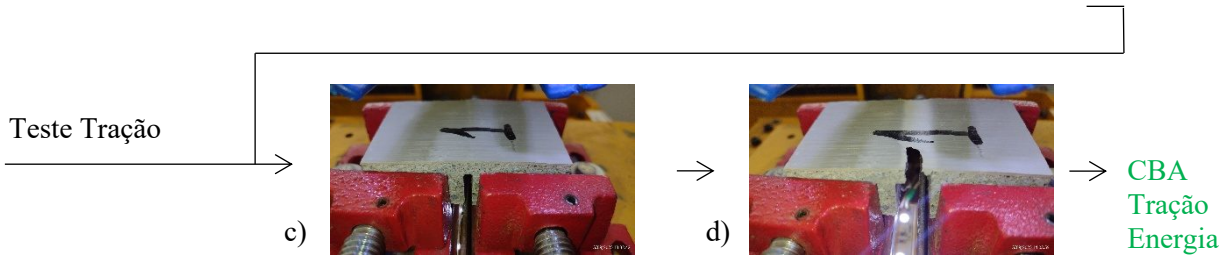
Fonte: os Autores

A membrana foi aplicada na face superior, conforme a metodologia escolhida, e na sua face oposta, centralizada, realizado um corte tipo fenda de 2 a 3 mm de espessura com 15 mm de profundidade, como meio de indução da fissuração, que simula uma fissura que possa surgir na estrutura, e que não havia no momento de aplicação da membrana.

Houve o ensaio inicial de pré quebra, conforme Figura 4, demonstrado, sendo a condição a) no início da pré quebra e a condição b) no final da pré quebra. Este é o primeiro ensaio classificatório e critério necessário para continuidade dos ensaios de tração, se a membrana ou o sistema se romper durante a pré quebra, considera-se o CBA = 0. Portanto aqui, a MAc não pode ser romper, e só uma vez aprovados, caso OK, os CPS serão usados posteriormente para se determinar a abertura de fissuração (CBA) por método tração contínua c) início de teste, até o estado limite que um produto ou sistema suporte até d) seu primeiro rompimento visível.

Figura 4. Detalhe da pré quebra previsto na norma EN 1062-7





Fonte: os Autores

4. AMOSTRAGEM

Avaliou-se 9 Produtos de diferentes fabricantes de impermeabilizantes, tipo Membrana Acrílica (MAc) da Norma ABNT NBR 13321 (2023). As condições de teste variaram de acordo com o consumo utilizado, a espessura de filme seco (efs) do sistema impermeabilizante utilizado, e também da ausência ou presença de tela estruturante, compondo as seguintes combinações:
1) Efs aleatória conforme consumo mínimo indicado pelo fabricante (FT);
2) Efs controlada de 1,0mm (mínimo da ABNT NBR 9575);
3) Efs controlada de 1,5mm com tela de reforço longitudinal (TL); e
4) Efs controlada de 1,5mm com tela de reforço transversal (TT);

Os ensaios permitiram determinar abertura de fissuração (CBA), força de tração (N), e tensão (MPa), obtida pela relação entre os parâmetros de força obtida e as medições de área de seção transversal das membranas testadas. A energia absorvida (mJ) é obtida através da aplicação numérica computacional da Equação 1 anteriormente demonstrada. Os ensaios foram realizados em forma de teste duplo cego, sem nenhuma identificação de marca ou modelo dos produtos impermeabilizantes testados, doravante com nomes descaracterizados apenas denominados pelas letras do alfabeto em maiúsculo conforme Tabela 1. Cada uma das 9 MAcs, possuem 4 conjuntos de corpos de prova (cp) testados de acordo com as condições demonstradas anteriormente.

Tabela 1. Descrição das amostras

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Amostras	01~04	05~08	09~12	13~16	17~20	21~24	25~28	29~32	33~36

Fonte: os autores

5. RESULTADOS

Foram consideradas no mínimo 3 amostras de CPs com resultados válidos para cada tipo de ensaio. Os dados experimentais foram analisados estatisticamente por meio de análise de médias, variâncias, desvios padrões, utilizando-se planilhas eletrônicas (Microsoft Excel).

5.1. Tipologia base com consumo das Fichas Técnicas (FT) dos fabricantes

A Tabela 3 demonstra resultados de todas as amostras (A até I), com a efs relativo ao consumo de cada FT de Fabricante, sem estruturante.

Tabela 3. consolidado – tipologia base (FT)

Sistema	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Força (N)	67	18	19	29	41	24	33	31	37

Tensão (MPa)	1,78	0,89	1,03	1,02	1,91	0,98	1,45	1,02	1,68
CBA (mm)	8,74	3,80	3,03	3,21	5,56	3,68	8,07	18,10	13,01
Energia (mJ)	454	50	38	77	172	61	203	391	339

Fonte: os autores

Resumo final da tipologia base (FT). Observada variação de CBA de 3,03mm a 18,10mm, e de energia de 38mJ a 454 mJ, variação da amplitude energética de aproximadamente 1173% entre produtos.

5.2. Tipologia base com espessura de filme seco de 1,0 mm independente do consumo

A Tabela 4 traz resultados de todas as amostras (A até I), com a efs de 1,0mm, sem estruturante.

Tabela 4. consolidado – tipologia espessura 1,0 mm

Sistema	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**
Força (N)	88	30	29	56	52	39	32	25	63
Tensão (MPa)	2,05	0,65	0,55	1,08	1,00	0,76	0,70	0,59	1,23
CBA (mm)	9,59	6,39	2,51	7,76	10,24	10,78	25,66	24,43	23,75
Energia (mJ)	683	136	46	362	395	279	611	346	1251

Fonte: os autores

Resumo final da tipologia espessura de 1,0mm. Observado a faixa de variação do CBA de 2,51 mm a 25,66mm, representando uma amplitude extremamente elevada e variação de 922% mesmo sob espessura padronizada. Já a faixa de energia variou de 46mJ a 1251mJ, mostrando variação 2619%, entre produtos.

Pontos importantes observados, que o produto “I” apresentou a maior dissipação energética (1251mJ), tendo um CBA elevado, porém não o maior (23,75mm). O produto “G” apresentou o maior CBA absoluto (25,66 mm), mas com energia expressivamente inferior ao produto “I” (611mJ). Indiciando que o valor de CBA isolado, pode não expressar totalmente requisitos de desempenho, e a energia absorvida pode complementar e refinar esta análise. Os valores de CBA oscilaram entre 2,51mm e 25,66mm, enquanto a energia absorvida variou entre 46mJ e 1251mJ. Tal amplitude evidencia que o desempenho não está diretamente associado apenas à efs de material impermeabilizante aplicado, diferenciando de maneira significativa, o desempenho entre estes produtos.

5.3. Tipologia base com uso de estruturante aplicado no sentido longitudinal

O estruturante escolhido para os ensaios foi testado antes da realização dos ensaios, como sendo um estruturante do tipo anisotrópico, isto é, aquele em que as propriedades mecânicas da tela variam em função da direção em que é testada, assim sendo realizou-se mais duas baterias de ensaios. Considerando a tela aplicada no seu sentido longitudinal (TL), de maior tração e menor alongamento, demonstrada na (Tabela 5).

Tabela 5. consolidado da tipologia 1,5 mm + TL (tela longitudinal)

Sistema	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**

Força (N)	328	229	184	272	281	255	255	262	272
Tensão (MPa)	4,62	3,01	2,37	3,70	3,55	3,53	3,13	3,11	3,34
CBA (mm)	12,55	12,48	6,76	10,21	12,27	12,30	25,93	22,08	19,03
Energia (mJ)	2338	1602	925	1728	1861	1692	2628	2036	2334

Fonte: os autores

Resumo final da tipologia espessura de 1,5 mm + TL, observado que a variação de CBA foi de 6,76mm a 25,93mm, e a faixa de energia foi de 925mJ a 2628mJ, comparada a tipologia de 1,0 mm sem estruturante, para um aumento teórico de 50% de efs na versão estruturada. A energia absorvida aumentou 184%.

Percebeu-se ainda que a introdução da tela no sentido longitudinal, eleva drasticamente a capacidade de absorver energia, melhora o comportamento mecânico, reduz a dispersão estatística e aumenta drasticamente o patamar de tensão de ruptura. (conforme demonstrado na Figura 1, gráfico em amarelo). O comportamento mecânico deixa de ser do tipo padrão elástico/plástico típico de uma membrana polimérica, e passa a de um sistema compósito (produto + tela estruturante).

Observa-se que o produto “G” novamente apresenta maior CBA (25,93mm), porém os produtos “A” e “I” demonstram energias praticamente equivalentes ao “G” (~2330mJ), mesmo com CBAs substancialmente menores. Corroborando que o valor de CBA isolado, não expressa totalmente os requisitos de desempenho, sendo a energia absorvida importante para o complemento e refino desta análise.

5.4 Tipologia base com uso de estruturante aplicado no sentido transversal

Considerando a tela aplicada no seu sentido transversal (TT) de menor tração e maior alongamento (Tabela 6).

Tabela 6. consolidado da tipologia 1,5 mm + TT (tela transversal)

Sistema	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Força (N)	301	201	163	235	249	222	241	229	248
Tensão (MPa)	4,03	2,53	2,10	3,00	3,30	3,17	3,08	3,34	3,02
CBA (mm)	11,27	11,80	5,58	9,00	9,49	10,21	20,26	20,64	18,47
Energia (mJ)	1892	1432	696	1350	1378	1093	2194	1802	2134

Fonte: os Autores

Resumo final da tipologia espessura de 1,5mm com tela transversal (TT), observado que a faixa de CBA variou de 5,58mm a 20,64mm, e a faixa de energia de 696mJ a 2194mJ.

Comparando-se o desempenho dos Produtos com tela no sentido longitudinal (TL) e transversal (TT), obtém-se a Tabela 7.

Tabela 7. Comparação resultados médios entre TL e TT

Parâmetro	1,5 mm + TL	1,5 mm + TT

Tensão máx (MPa)	4,62	4,03
CBA máx (mm)	25,93	20,64
Energia máx (mJ)	2628	2194

Fonte: os autores

Quanto ao uso do estruturante, a orientação longitudinal (TL) promove desempenho mecânico superior à transversal (TT), tanto em tensão, (14%), absorção energética (19%), e em CBA (25%), sendo o comportamento anisotrópico do sistema impermeabilizante MAC compósito.

6. DISCUSSÃO

Os resultados evidenciam diferenciação de regime mecânico entre configurações sem reforço e sistemas estruturados. Quando estruturados, os sistemas testados apresentaram CBA com grande incremento entre as configurações, enquanto a energia absorvida revelou crescimento expressivo ainda maior, indiciando uma assertividade do compósito, com correta sinergia entre os produtos impermeabilizantes (matriz) com a tela estruturante (disperso).

A orientação do reforço influencia de forma marginal o desempenho, com leve vantagem para o sentido longitudinal, evidenciando comportamento anisotrópico relevante para especificação técnica, projeto de impermeabilização e aplicação. Resultados que correlacionam melhores propriedades mecânicas correlacionadas, como altas trações, grandes alongamentos, e melhoria do CBA, foram observadas por HONG, et al. 2015 e WALDVOGEL M. 2020. Sob a ótica da patologia das construções, observou-se nesse estudo que sistemas com maior capacidade de absorção energética tendem a apresentar maior resistência à propagação de fissuras induzidas por movimentações estruturais e térmicas, contribuindo para aumento da durabilidade e redução de manifestações patológicas.

Propõe-se a incorporação da energia absorvida como critério complementar ao CBA, contribuindo para a consolidação de método adaptado ao contexto brasileiro e para o avanço da normalização do CBA. Como perspectiva de continuidade, propõe-se a ampliação da aplicação do conceito de CBA associado à energia absorvida para sistemas de revestimentos de fachadas, considerando sua relevância na mitigação de fissuração em elementos verticais.

7. CONCLUSÕES

A Tabela 8 traz os valores médios de CBA (mm), na condição de 1,5 mm + TL, obtidos pelas amostras (A até I), em ordem crescente (do pior para o melhor).

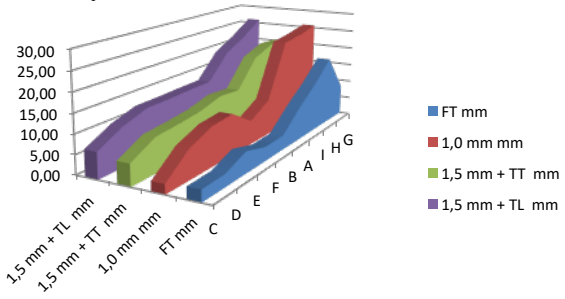
Tabela 8. Classificação em ordem crescente de CBA (mm)

Sistema	**C**	**D**	**E**	**F**	**B**	**A**	**I**	**H**	**G**
Amostras	**09~12**	**13~16**	**17~20**	**21~24**	**05~08**	**01~04**	**33~36**	**29~32**	**25~28**
FT	3,03	3,21	5,56	3,68	3,8	8,74	13,01	18,1	8,07
1,0 mm	2,51	7,76	10,24	10,78	6,39	9,59	23,75	24,43	25,66
1,5 mm + TT	5,58	9,00	9,49	10,21	11,8	11,27	18,47	20,64	20,26
1,5 mm + TL	6,76	10,21	12,27	12,3	12,48	12,55	19,03	22,08	25,93

Fonte: os autores

Para melhor entendimento, conforme gráfico 1, explicita-se resultados obtidos de CBA para cada sistema (A até I) nas quatro tipologias testadas (FT, 1,0mm, 1,5mm + TT, 1,5mm + TL).

Gráfico 1. Classificação de Produtos em ordem decrescente de CBA (mm)



Fonte: os autores

Quanto a análise tradicional do valor do CBA (mm), notou-se melhorias à medida que se aumentou o consumo do produto quando não estruturado. Para uma efs de 1,00mm, as MAcs obtiveram desempenho na ordem de 80 % superior se comparado ao consumo indicado de FT (com efs média de 0,51mm). Embora houvesse aumento de CBA com o incremento da efs, esta relação não é proporcional.

Já, o valor do CBA (mm), com a efs de 1,50mm e inclusão de reforço, tanto no sentido transversal TT, como no sentido longitudinal TL, trouxe na maioria dos casos (6 das 9 amostras), melhoria na ordem de 21 a 41%, do CBA (mm), em relação ao efs de 1,00mm não reforçado.

A Tabela 9 traz os valores médios de Energia Absorvida (mJ), na condição de 1,5 mm + TL, obtidos pelas amostras (A até I), em ordem crescente (do pior para o melhor).

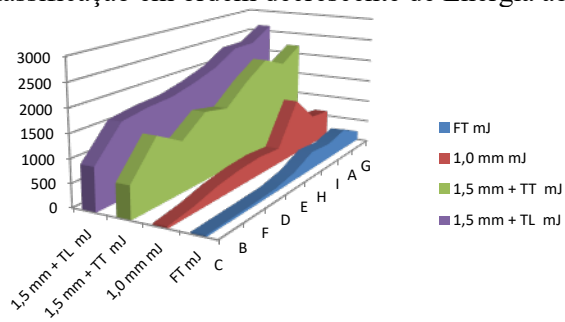
Tabela 9. Classificação em ordem crescente de Energia absorvida (mJ)

Sistema	**C**	**B**	**F**	**D**	**E**	**H**	**I**	**A**	**G**
Amostras	**09~12**	**05~08**	**21~24**	**13~16**	**17~20**	**29~32**	**33~36**	**01~04**	**25~28**
FT	38	50	61	77	172	391	339	454	203
1,0 mm	46	136	279	362	395	346	1251	683	611
1,5 mm + TT	696	1432	1093	1500	1378	1802	2134	1892	2194
1,5 mm + TL	925	1602	1692	1728	1861	2036	2334	2338	2628

Fonte: os autores

Conforme gráfico 2, explicita-se resultados obtidos de Energia Absorvida para cada sistema (A até I) nas quatro tipologias testadas (FT, 1,0mm, 1,5mm + TT, 1,5mm + TL).

Gráfico 2. Classificação em ordem decrescente de Energia absorvida (mJ)



Fonte: os autores

Quanto a análise energética (mJ), percebe-se que o valor do CBA (mm), melhora à medida que se aumenta o consumo do produto quando não estruturado. Para uma efs de 1,00mm, as MAcs obtive-se desempenho na ordem de 130 % superior se comparado ao consumo indicado de FT (com efs média de 0,51mm). Portanto, nota-se ganho proporcionalmente superior de absorção de energia, face a um aumento de espessura. Quando estruturados, a análise energética absorvida (mJ), com a efs de 1,50mm e inclusão de reforço, tanto no sentido transversal TT, como no sentido longitudinal TL, trouxeram em todos os casos, melhoria expressiva na ordem de 280%, em relação a energia absorvida (mJ) quando efs de 1,00mm não reforçado.

Conclui-se que:

1. Espessura isolada (efs), não explica desempenho frente à fissuração.
2. Formulação e estequiometria do produto impermeabilizante é determinante para o desempenho quanto à fissuração.
3. A inserção de tela estruturante, transformando o sistema em compósito, promove, na maioria dos casos, melhorias da abertura, CBA (mm), e aumento expressivo da energia absorvida (mJ) na fissuração em todos os casos.
4. Orientação da tela altera marginalmente o desempenho (anisotropia), com favorecimento no sentido de maior resistência a tração (TL).
5. O CBA, consolida-se não somente como parâmetro de caracterização de produto, mas um parâmetro de desempenho refletido na capacidade de dissimular fissuras em mm (CBA) , como também propriedades mecânicas e de absorção de energia em mJ.
6. Energia absorvida é parâmetro complementar indispensável ao CBA, pois o incremento energético supera significativamente o crescimento do CBA.
7. A adoção conjunta de CBA e energia absorvida contribui significativamente para o avanço da normalização nacional aplicada à prevenção de patologias construtivas.

8. AGRADECIMENTOS

8. Ao Engº Paulo Henrique Vasconcelos, pela colaboração da IMPERLAB, na condução dos ensaios. Aos proprietários do equipamento de testes ELF-001 por participar no desenvolvimento deste estudo e concessão. Ao Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), seu Diretor Executivo, Engº José Miguel Morgado, por todo o empenho para a realização dos ensaios. Ao Grupo Técnico do CBA - IBI, com objetivo de fortalecer a discussão e buscar a normalização do CBA. E, a Alconpat Brasil pelo fomento do conhecimento no setor de patologias da construção civil.

9. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13321 Membrana acrílica para impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-2. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575 Impermeabilização – Seleção e projeto.** Rio de Janeiro, 2010.

CUNHA, E. S, IPT. **Ensaio de aptidão para dissimular fissuras**. IPT/ ROBLES-ICOBIT, RELATÓRIO DE ENSAIO 72400. 6 p. São Paulo, SP, Brasil. 2004.

DOS SANTOS, Julie Anne B.; MONTE, Renata. **Evaluation of the Crack-Bridging Ability of waterproofing membranes using indirect tensile test and digital image correlation**. Journal of Building Engineering, v. 45, p. 103667, 2022.

DOS SANTOS, Julie Anne Braun; SANTOS, Felipe Pereira; MONTE, Renata. **Avaliação da transferência de fissuras em sistemas de impermeabilização aderidos.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 12, p. e021003-e021003, 2021.

EUROPEAN STANDARD. 1062-7: **Paints and varnishes Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete** Part 7: **Determination of crack bridging properties**. Brussels, 2004.

EUROPEAN STANDARD. 1504-2: **Products and systems for the protection and repair of concrete structures Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity** Part 2: **Surface protection systems for concrete.** Brussels, 2010.

GT-CBA, Instituto Brasileiro de Impermeabilização - IBI, **Documentos técnicos, atas e guias.** São Paulo, IBI, 2024.

HONG ZHAO, et al. **Study on Crack Bridging Ability of Polymer-Modified Cement Based Compounds for Waterproofing Material.** Advanced Materials Research (Volume 1129). China. 2015.

MORAES, C.R.K. **Impermeabilização em lajes de cobertura: levantamento dos principais fatore envolvidos na ocorrência de problemas na cidade de Porto Alegre**. 2002, 91p. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – UFRGS.

NASCIMENTO, A.; OLIVEIRA, D.P.; BRANDÃO, P.R.S.; MOREIRA, K,A,W. **Projeto de Impermeabilização Como Medida Preventiva de Manifestações Patológicas em Edificações** – Estudo de Caso. Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR (ISSN: 2316- 2317)

REY PUENTE, F; et al. **Estudo comparativo da capacidade de crack-bridging ability em membranas de polímero acrílico sem cimento.** TCC no IDD Curitiba, 2022.

SOARES, F.F. **A importância do projeto de impermeabilização em obras de construção civil. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SOUZA, M.F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações.** 2008. 64f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

WALDVOGEL, M.; ZURBRIGGEN, R.; BERGER, A.; HERWEGH, M. 2020. **The microstructural evolution of cementitious, flexible waterproofing membranes during deformation with special focus on the role of crazing**. Cement and Concrete Composites, 107, 103494.