

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE EMENDAS DE GEOMEMBRANAS DE POLI CLORETO DE VINILA EXPOSTAS A LIXÍVIAS

B. P. ROCHA^{1*}, P. C. LODI²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo¹

Universidade Estadual Paulista²

breno.rocha@ifsp.edu.br

Submetido 28/12/2022 - Aceito 09/04/2020

DOI: 10.15628/holos.2022.10402

RESUMO

As geomembranas (GMs) são materiais sintéticos com baixa permeabilidade (em torno de 10^{-12} cm/s) utilizadas como barreiras impermeáveis em aterros sanitários e lagoas de estabilização. A avaliação de seu desempenho é feita através de ensaios acelerados de compatibilidade química. Pelo fato destas serem fabricadas em bobinas, necessitam de emendas (soldas) em suas aplicações. Devido à sua resistência química, as GMs de polietileno (PE) são mais utilizadas. No entanto, as GMs de polícloreto de vinila (PVC) também apresentam desempenho adequado em diversas aplicações, principalmente na utilização de aterros sanitários e contenção de resíduos que não contenham hidrocarbonetos. Pelo fato das GMs de PVC não possuírem um estudo mais detalhado na literatura técnica, este trabalho avaliou, por meio de ensaio acelerado, a resistência de emendas de GMs de

PVC em contato com resíduo de cana-de-açúcar (vinhaça) e de aterro sanitário (chorume). Foram avaliados dois tipos de emendas (alta frequência e fusão química) em GMs com espessuras de 1.0 e 2.0 mm. As amostras de emendas foram imersas em recipientes de aço inoxidável a uma temperatura de 50° C e, após 2, 4 e 6 meses de incubação, estas foram ensaiadas verificando-se a retenção das propriedades (resistência ao cisalhamento e descolamento) em função do tempo de exposição. Os resultados indicam que houve variação nos valores das propriedades considerando-se cada tipo de técnica de fabricação da emenda bem como do tipo de resíduo. A resistência ao descolamento nas emendas confeccionadas pela técnica de fusão química, por exemplo, apresentou diminuições consideráveis após os períodos de exposição.

PALAVRAS-CHAVE: Geomembranas, compatibilidade química, descolamento, vinhaça, chorume.

EVALUATION OF THE RESISTANCE OF POLYVINYL CHLORIDE GEMEMBRANES SEAMS EXPOSED TO LEACHATES

ABSTRACT

Geomembranes (GMs) are synthetic materials with low permeability (around 10^{-12} cm/s) widely used as impermeable barriers in landfills and ponds. The evaluation of its performance is made by accelerated chemical compatibility tests. Because these are manufactured in coils, they need seams in general applications. Due to their chemical resistance, polyethylene (PE) GMs are widely used. However, polyvinyl chloride (PVC) GMs also perform well in several applications, mainly in landfills and containment of residues that do not contain hydrocarbons. Because PVC GMs do not have a more detailed study in the technical literature, this work evaluated, by an accelerated test, the resistance of PVC GM seams in contact with

sugarcane (vinasse) and landfill waste sanitary (slurry). Two types of seams (high frequency and chemical fusion) were evaluated in GMs with thicknesses of 1.0 and 2.0 mm. Seams specimens were immersed in stainless steel containers at a temperature of 50° C and, after 2, 4 and 6 months of incubation, these were tested by checking the properties retention (shear strength and peeling) as a function of time exposure. The results obtained indicate that there was variation in the values of the properties considering each type of seaming technique as well as the type of residue. The peeling resistance in the seams made by the chemical fusion technique, for example, showed considerable decreases after the periods of exposure.

KEYWORDS: Geomembranes, chemical compatibility, peeling, vinasse, slurry.

1 INTRODUÇÃO

As geomembranas (GM) são materiais sintéticos que possuem baixa permeabilidade (em torno de 10^{-12} cm/s) e que podem ser utilizadas como barreiras impermeáveis em aterros sanitários (chorume), lagoas de estabilização, usinas de álcool para armazenamento do resíduo da cana de açúcar (vinhaça) ou em qualquer outro tipo de aplicação que necessite desvio de fluxo. Sua gama de aplicações varia desde a engenharia ambiental até a engenharia hidráulica, geotécnica e de transportes (Rollin & Rigo, 1991; Koerner, 1998; ASTM D4439-00). Nesse contexto, a avaliação das geomembranas é feita por meio de ensaios acelerados de compatibilidade química. Devido à sua resistência química, as geomembranas de polietileno (PE) são amplamente mais utilizadas. No entanto, as geomembranas de poli cloreto de vinila (PVC) também apresentam desempenho adequado em diversas aplicações, principalmente na utilização de aterros sanitários e contenção de resíduos que não contenham hidrocarbonetos.

Um dos principais problemas relacionados a funcionalidade da GM no sistema ao qual foi projetado diz respeito ao seu processo de união (emenda) em campo ou em fábrica. Devido ao fato de serem fabricadas em rolos (bobinas), devem sofrer esse processo de união (emenda) para a efetiva estanqueidade ou a finalidade a que foi destinada. Assim, os pontos críticos de um sistema de impermeabilização usando geomembranas são exatamente as emendas. Não somente podem perder resistência pelos processos de execução bem como podem estar em contato com líquidos agressivos que podem alterar as propriedades de permeação e de fluxo fazendo com que a geomembrana perca sua função. Caso ocorra fuga ou vazamento pelas emendas, então o sistema como um todo perderá sua função uma vez que as geomembranas deixam efetivamente de cumprir seu papel de impermeabilização (Reddy & Butul, 1999; Koerner, 1998; Lodi, 2003).

A literatura técnica, tanto em nível nacional quanto internacional, apresenta pouquíssimas pesquisas referentes à resistência de emendas. Dentro desse espectro, as GMs de PVC são praticamente negligenciadas. Neste sentido, este trabalho avaliou, por meio de ensaio acelerado a compatibilidade química e resistência de emendas de geomembranas de poli cloreto de vinila (PVC) em contato com resíduos de cana-de-açúcar (vinhaça) e de aterro sanitário (chorume). Importante ressaltar que ensaios químicos e físico-químicos devem complementar a avaliação da resistência das emendas. No entanto, este trabalho apresenta apenas os ensaios mecânicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Emendas em geomembranas

A união de rolos e painéis de geomembranas resulta em emendas que podem apresentar resistência menor do que a própria geomembrana. Segundo Reddy & Butul (1999) essas diferenças ocorrem devido à concentração de tensão resultantes da geometria da emenda. Diferenças de resistência também podem ser verificadas quando se comparam as emendas feitas em campo e as emendas realizadas em fábrica. Estas últimas possibilitam um maior controle de qualidade e, em alguns casos, pode-se reduzir a quantidade de emendas em campo. Atualmente, por meio de ensaios destrutivos, é possível efetuar um maior controle da resistência das emendas em campo.

As emendas das geomembranas de PVC, em sua maioria, são realizadas nas fábricas. As características das emendas são função da técnica utilizada, de sua geometria, da resina polimérica e das tensões residuais nas emendas.

Existem basicamente, quatro métodos de emendas para as geomembranas (Figura 1): extrusão térmica (plana ou filete), fusão térmica (cunha quente ou ar quente), emenda química (fusão e fusão química com cola encorpada) e emenda por adesão (adesivo químico ou adesivo de contato).

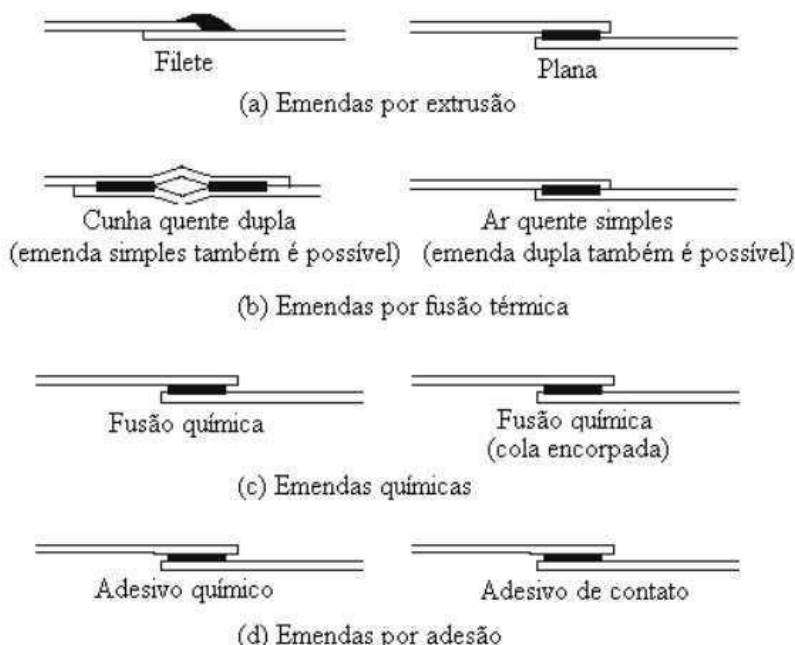


Figura 1: Diferentes técnicas de emendas em Geomembranas

Fonte: Koerner (1998).

A execução das emendas é um processo controlado rotineiramente. Nesse controle, executam-se emendas experimentais para a verificação do ajuste do método de ensaio e para o treinamento da equipe. Verifica-se também, a resistência das emendas, que deve ser compatível com a resistência da geomembrana e realizam-se testes de estanqueidade e de continuidade. Estes testes são realizados in situ em grandes porções das emendas e envolvem a aplicação de ar comprimido em emendas duplas (deve-se acompanhar a manutenção da pressão de ar já que uma queda desta indica algum vazamento), a aplicação de jatos de ar (com o intuito de separar as membranas emendadas) e métodos elétricos e de ultra-som (Sharma & Lewis, 1994; Vilar, 2003).

Os principais ensaios de resistência das emendas são os ensaios de descolamento (peel test) e de resistência ao cisalhamento. Estes ensaios são normalmente realizados de acordo com as prescrições da ASTM (D4437 e D4545). Normalmente utiliza-se uma pequena amostra (25 mm de largura) da emenda para a realização do ensaio de cisalhamento e descolamento. O ensaio de cisalhamento nada mais é do que um ensaio de tração na região da emenda. As garras são colocadas a uma determinada distância das emendas efetuando-se então a sollicitação. No caso de descolamento, o ensaio é realizado após desprender-se uma pequena parte das emendas a fim de se verificar a força necessária para separá-las. A Figura 2 ilustra o esquema de sollicitação das emendas nesses ensaios. Reddy e Buttul (1999) ressaltam que os alongamentos também devem ser avaliados já que a ruptura deve ocorrer fora da emenda devido à emendagem imprópria ou

superaquecimento.

Maiores detalhes e informações sobre os métodos e ensaios em emendas de geomembranas podem ser encontrados em Struve (1990), Bove & Smith (1990), Peggs (1990, 1997), Sharma & Lewis (1994), Koerner (1998) e Reddy & Buttul (1999).

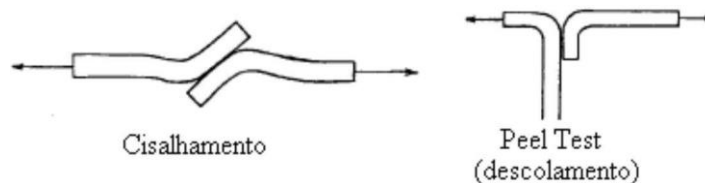


Figura 2. Detalhes dos ensaios de cisalhamento e descolamento.

Fonte: Giroud (1984).

3 METODOLOGIA

Foram utilizadas geomembranas de PVC com espessura de 1 e 2 mm. As emendas foram realizadas utilizando-se as técnicas de alta frequência (AF) e fusão química (QU). A técnica de alta frequência consiste na união entre dois painéis por meio da interação molecular causada por alta frequência. Já a técnica de fusão química consiste na união entre dois painéis mediante o ataque químico das superfícies provocado por um solvente volátil que leva à fusão entre as partes, com auxílio de pressão mecânica.

Neste sentido, as emendas de geomembrana foram designadas de acordo com a técnica empregada e com a espessura da geomembrana. Assim, para as geomembranas de 1 mm, as GM foram designadas como AF-A e AF-B para as emendas confeccionadas pela técnica de alta frequência, sendo os termos A e B relacionados ao tipo de amostra. Já para as emendas das geomembranas de 2 mm, as nomenclaturas utilizadas foram AF-C e QU-D, para as técnicas de alta frequência e fusão química, respectivamente. As designações A e C e B e D estão relacionadas às amostras VMP 55ML A33 e VMP 60ML A60, respectivamente.

Após a caracterização das membranas e das emendas, essas foram imersas em ambiente tipicamente agressivo (resíduo de cana-de-açúcar - vinhaça e resíduo de aterro sanitário - chorume) na temperatura de 50° C e, após 2, 4 e 6 meses, foram ensaiadas verificando-se a retenção das propriedades em função do tempo de exposição para verificação da resistência das emendas. As amostras foram incubadas em recipientes confeccionados em aço inoxidável, com dimensões de (40x40x40) cm (Figura 3a), seguindo-se as recomendações ASTM (D5322 e D5747). Esses recipientes possuem controle automático de temperatura, com variação de 0 a 80° C, bem como agitador interno com velocidade pré-ajustada em função de um intervalo de tempo, também pré-determinado. No caso específico da pesquisa, o agitador foi ajustado para funcionar durante 5 minutos a cada hora. Os ensaios de resistência nas emendas foram realizados de acordo com as recomendações da ASTM D4437 e D4545. Esses ensaios procuram verificar a resistência das emendas ao cisalhamento e o descolamento das bordas emendadas. Para tanto, foi utilizada prensa com servo controle (EMIC) com adaptação para garras (Figura 3b).



Figura 3. Detalhes dos métodos utilizados (a) Recipiente de incubação (b) Prensa utilizada nos ensaios
Fonte: Elaborado pelos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabela 1 e 2 apresentam, respectivamente, os resultados dos ensaios de caracterização das geomembranas intactas de 1 e 2 mm de espessura. As Tabelas 3 a 6 apresentam os resultados de caracterização das emendas confeccionadas pelos métodos de alta frequência (AF) e emenda química (QU) para as geomembranas de 1 e 2 mm de espessura.

Os resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento e descolamento após os períodos de exposição (2, 4 e 6 meses) estão apresentados nas Tabelas 7 a 14 (GM 1.0 mm) e nas Tabelas 15 a 22 (GM 2.0 mm).

Tabela 1. Propriedades das geomembranas de PVC (1.0 mm).

Propriedades	Norma	Sentido	Amostra A (VMP 55ML A33 SPA 37-10 OP86217-00)	Amostra B (VMP 60ML A60 SPA 39-10 OP86218-00)	ESPECIFICAÇÃO
Espessura	ASTM D1593	-	0.98	1.06	1.00±0.1mm
Densidade	ASTN D792	-	1.23	1.25	1.20g/cm ³ - mínimo 1.35g/cm ³ - máximo
Carga de Ruptura	ASTM D882	Long.* Trans.	18 16	20 18	10N/mm- mínimo
Alongamento de ruptura	ASTM D882	Long. Trans.	531 527	570 622	300% - mínimo
Módulo de Deformação	ASTM D882	Long. Trans.	7.8 7.8	7.8 7.8	6.0Kn/m - mínimo
Resistência ao Rasgamento	ASTM D1004	Long. Trans.	65 70	86 88	35.0N - mínimo
Estabilidade Dimensional	ASTM D1204 100°C 15 min	Long. Trans.	-2.5 +1	-3.5 +1	5% - máximo

* Long = longitudinal; Trans = transversal

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2. Propriedades da geomembrana de PVC (2.0 mm).

Propriedades	Norma	Sentido	Amostra C (VMP 55ML A33 SPA 38- 10 OP86213-00)	Amostra D (VMP 60ML A60 SPA 40- 10 OP86214-00)	ESPECIFICAÇÃO
Espessura	ASTM D1593	-	2.02	2.1	2.00 ± 0.1mm
Densidade	ASTM D792	-	1.23	1.26	1.20 g/cm ³ - mínimo 1.35 g/cm ³ - máximo
Carga de Ruptura	ASTM D882	Long.	34	34	15 N/mm- mínimo
		Trans.	31	31	
Alongamento de ruptura	ASTM D882	Long.	531	535	300 % - mínimo
		Trans.	613	613	
Módulo de Deformação	ASTM D882	Long.	16	16	10.0 kN/m - mínimo
		Trans.	14	14	
Resistência ao Rasgamento	ASTM D1004	Long.	131	134	70.0 N - mínimo
		Trans.	139	139	
Estabilidade Dimensional	ASTM D1204 100°C 15 min	Long.	-2	-2	5% - máximo
		Trans.	+1	+1	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3. Emendas (Emenda AF) (1.0 mm)

Propriedades	Norma	Sentido	Amostra A (VMP 55ML A33 SPA 37- 10 OP86217-00)	Amostra B (VMP 60ML A60 SPA 39- 10 OP86218-00)	Especificação
Resistencia ao Cisalhamento	ASTM D3083	Transversal	14	15	8 N/mm - mínimo
Resistência ao Descolamento	ASTM D413	Transversal	4.1	7.2	4 N/mm - mínimo
Máquina de Emenda (Confecção)			15K-01		-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4. - Emendas (Emenda QU) (1.0 mm)

Propriedades	Norma	Sentido	Amostra A (VMP 55ML A33 SPA 37- 10 OP86217-00)	Amostra B (VMP 60ML A60 SPA 39- 10 OP86218-00)	Especificação
Resistencia ao Cisalhamento	ASTM D3083	Transversal	11	11	8 N/mm - mínimo
Resistência ao Descolamento	ASTM D413	Transversal	3.9	3.6	4 N/mm - mínimo
Máquina de Emenda (Confecção)			Cola PV-02		-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 5. Emendas (Emenda AF) (2.0 mm)

Propriedades	Norma	Sentido	Amostra C (VMP 55ML A33 SPA 38- 10 OP86213-00)	Amostra D (VMP 60ML A60 SPA 40- 10 OP86214-00)	Especificação
Resistencia ao Cisalhamento	ASTM D3083	Transversal	22	22	8 N/mm - mínimo
Resistência ao	Descolamento				

ASTM D413	Transversal	6	10.9	4 N/mm - mínimo
Máquina de Emenda (Confecção)		15K-01		-

Fonte: Elaborado pelos autores.



Tabela 6. Emendas (Emenda QU) (2.0 mm)

Propriedades	Norma	Sentido	Amostra C (VMP 55ML A33 SPA 38- 10 OP86213-00)	Amostra D (VMP 60ML A60 SPA 40- 10 OP86214-00)	Especificação
Resistencia ao Cisalhamento	ASTM D3083	Transversal	21	16	8 N/mm - mínimo
Resistência ao Descolamento	ASTM D413	Transversal	2.6	1.1	4 N/mm - mínimo
Máquina de Emenda (Confecção)			Cola PV-02		-

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 7. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descollamento para a amostra AF-A (1.0 mm) em contato com a Vinhaça.

Cisalhamento			Descollamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	14.00	338.9	0	4.10	170.0
2	13.02	110.0	2	4.30	249.8
4	11.21	153.1	4	4.00	241.8
6	11.69	153.2	6	4.20	181.5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 8. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descollamento para a amostra AF-B (1.0 mm) em contato com a Vinhaça.

Cisalhamento			Descollamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	15.00	330.0	0	7.20	150.0
2	23.09	179.3	2	6.10	257.5
4	12.40	316.4	4	5.50	330.9
6	13.60	139.5	6	7.00	171.0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 9. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descollamento para a amostra QU-A (1.0 mm) em contato com a Vinhaça.

Cisalhamento			Descollamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	11.00	308.9	0	3.90	160.0
2	12.34	108.3	2	1.30	83.8
4	12.40	132.9	4	2.00	262.7
6	11.47	173.0	6	1.60	299.9

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 10. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descollamento para a amostra QU-B (1.0 mm) em contato com a Vinhaça.

Cisalhamento			Descollamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	11.00	194.7	0	3.60	175.0
2	10.20	157.1	2	2.40	276.0
4	8.50	102.4	4	1.20	248.0
6	9.90	104.2	6	2.10	262.0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 11. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra AF-A (1.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	14.00	338.9	0	4.10	170.0
2	15.46	110.8	2	5.10	211.0
4	12.13	132.3	4	5.30	275.4
6	13.13	130.6	6	5.50	197.6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 12. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra AF-B (1.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	15.00	330.0	0	7.20	150.0
2	17.40	152.7	2	5.30	177.2
4	16.20	175.0	4	4.70	179.0
6	16.50	202.0	6	7.40	197.6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 13. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra QU-A (1.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	11.00	308.9	0	3.90	160.0
2	13.02	110.0	2	4.30	249.8
4	11.21	153.1	4	4.00	241.8
6	11.69	153.2	6	4.20	181.5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 14. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra QU-B (1.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	11.00	194.7	0	3.60	175.0
2	14.80	216.6	2	2.10	220.0
4	12.20	148.7	4	1.70	68.7
6	16.20	252.3	6	2.40	101.6

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 15. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra AF-C (2.0 mm) em contato com o Vinhaça.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	22.00	247.4	0	6.00	250.0
2	23.90	179.3	2	5.80	209.4
4	25.40	306.4	4	3.80	195.2
6	27.32	150.0	6	4.20	168.2

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 16. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra AF-D (2.0 mm) em contato com o Vinhaça.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	22.00	153.7	0	10.90	105.0
2	22.70	139.0	2	10.80	150.7
4	28.50	203.0	4	8.70	160.0
6	26.40	194.6	6	11.00	152.2

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 17. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra QU-C (2.0 mm) em contato com o Vinhaça.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	21.00	241.5	0	2.60	152.0
2	22.90	265.4	2	1.60	250.6
4	20.60	202.1	4	1.30	89.0
6	18.50	168.7	6	1.30	197.3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 18. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra QU-D (2.0 mm) em contato com o Vinhaça.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	16.00	114.8	0	1.10	160.0
2	31.80	210.0	2	8.00	172.7
4	17.60	131.4	4	6.70	148.0
6	9.90	105.0	6	1.30	53.3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 19. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra AF-C (2.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	22.00	247.4	0	6.00	250.0
2	22.90	104.0	2	6.50	221.2
4	26.20	275.1	4	5.40	157.8
6	27.80	82.7	6	9.40	103.9

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 20. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra AF-D (2.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	22.00	153.7	0	10.90	105.0
2	34.10	250.5	2	13.90	134.9
4	28.00	204.6	4	11.10	174.5
6	32.10	242.7	6	13.40	113.1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 21. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra QU-C (2.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	21.00	241.5	0	2.60	152.0
2	25.70	213.6	2	1.30	56.9
4	16.60	97.8	4	3.50	87.1
6	27.20	291.8	6	4.30	203.5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 22. Resultados de ensaios de cisalhamento e de descolamento para a amostra QU-D (2.0 mm) em contato com o Chorume.

Cisalhamento			Descolamento		
Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)	Tempo (meses)	N/mm	ϵ (%)
0	16.00	114.8	0	1.10	160.0
2	32.40	324.0	2	4.60	252.4
4	30.50	291.0	4	3.80	134.6
6	33.20	264.5	6	6.30	156.1

Fonte: Elaborado pelos autores.

As Figuras 4 a 7 apresentam os resultados de variação da resistência ao cisalhamento, deformação específica ao cisalhamento, resistência ao descolamento e deformação específica ao descolamento, em termos de porcentagem das amostras AF-A, AF-B, AF-C e AF-D. Os mesmos resultados para as emendas confeccionadas pelo método de emenda química (QU-A, QU-B, QU-C e QU-D) são apresentados nas Figura 8 a 11.

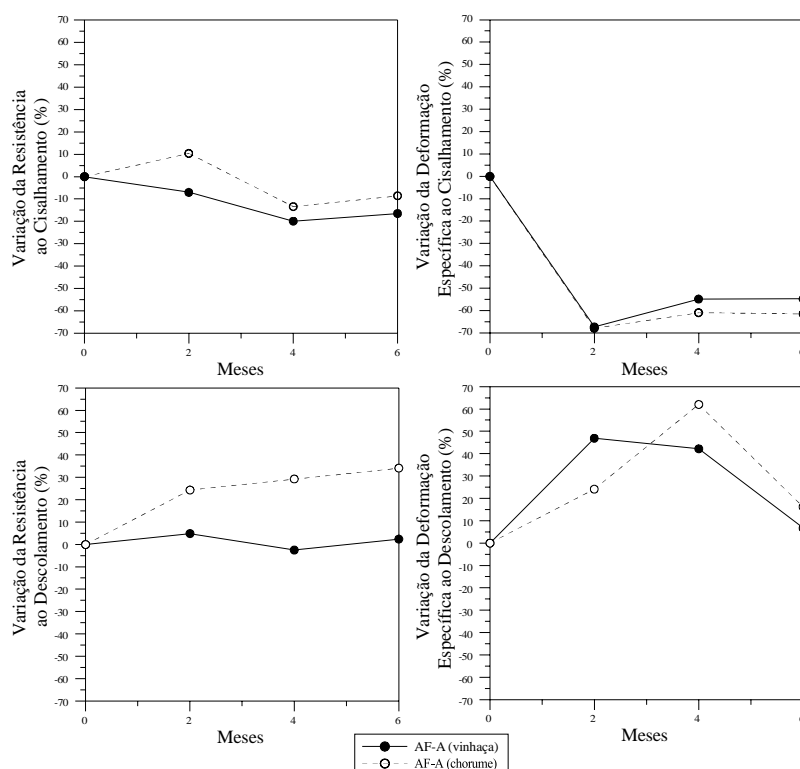


Figura 4. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras AF-A em contato com a vinhaça e com o chorume.

Fonte: Elaborado pelos autores.



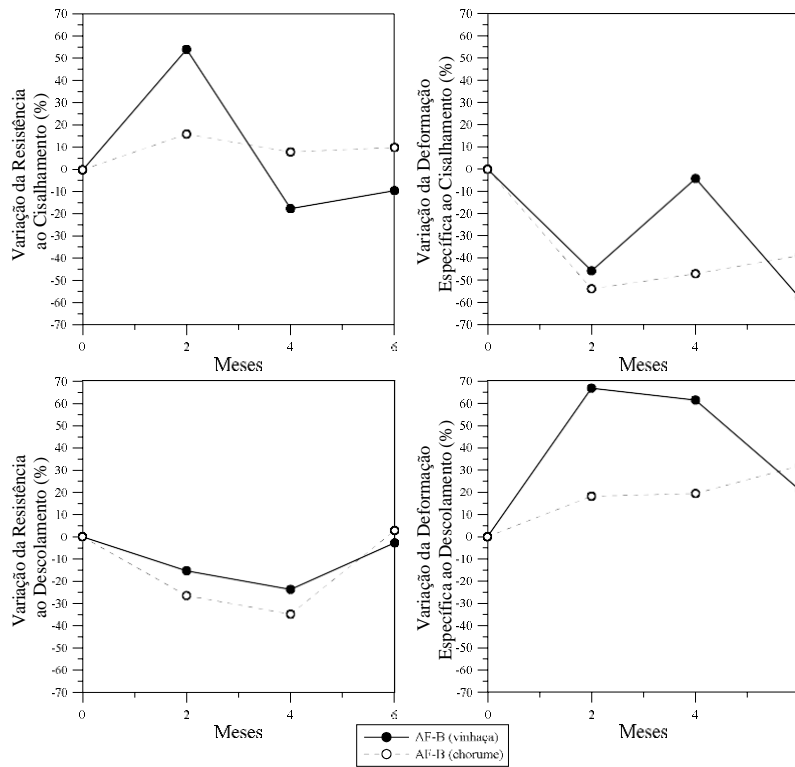


Figura 5. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras AF-B em contato com a vinhaça e com o chorme.
Fonte: Elaborado pelos autores.

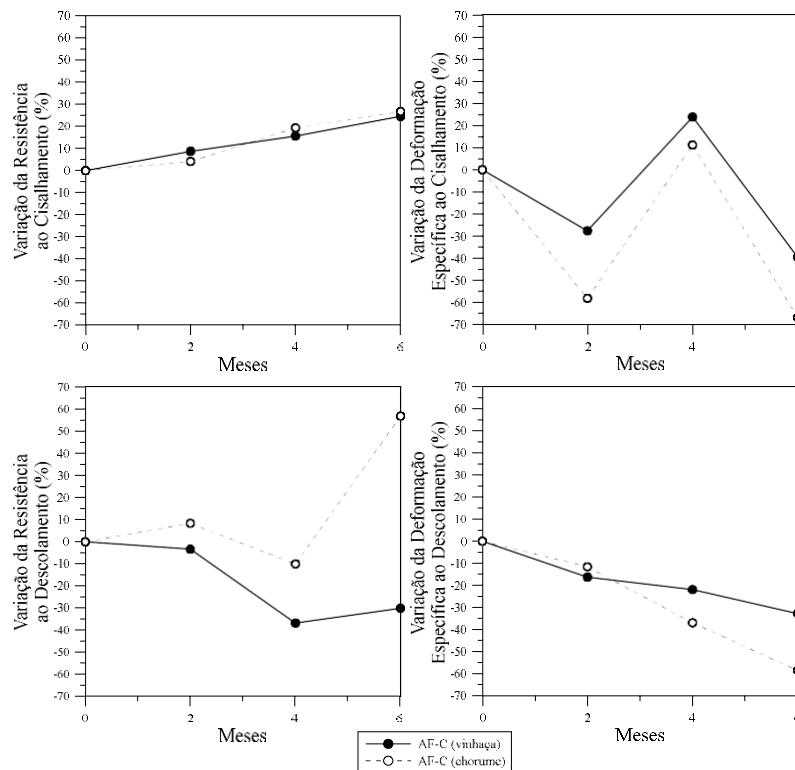


Figura 6. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras AF-C em contato com a vinhaça e com o chorme.
Fonte: Elaborado pelos autores.



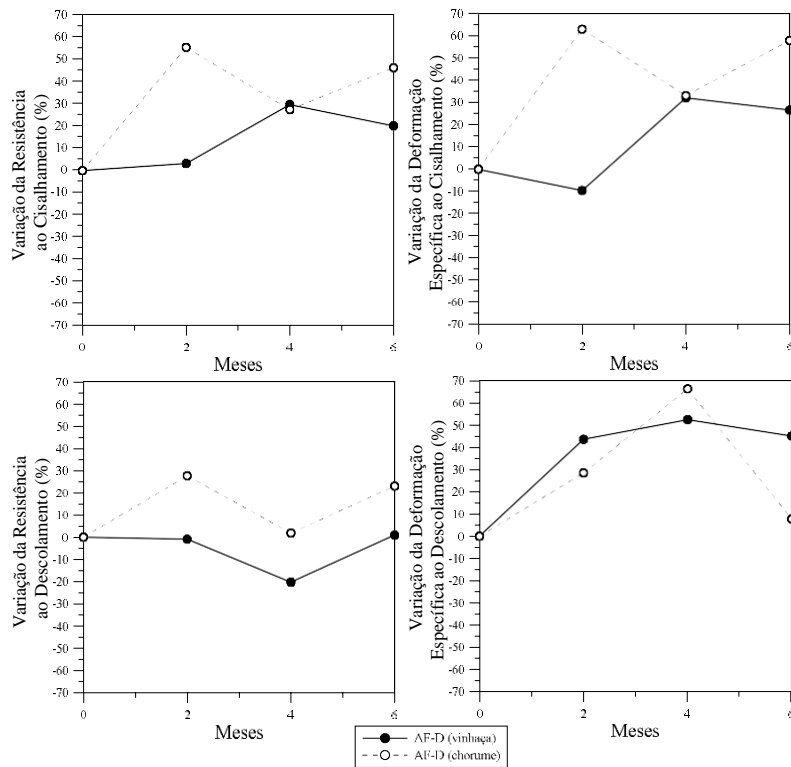


Figura 7. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras AF-D em contato com a vinhaça e com o chorume.
Fonte: Elaborado pelos autores.

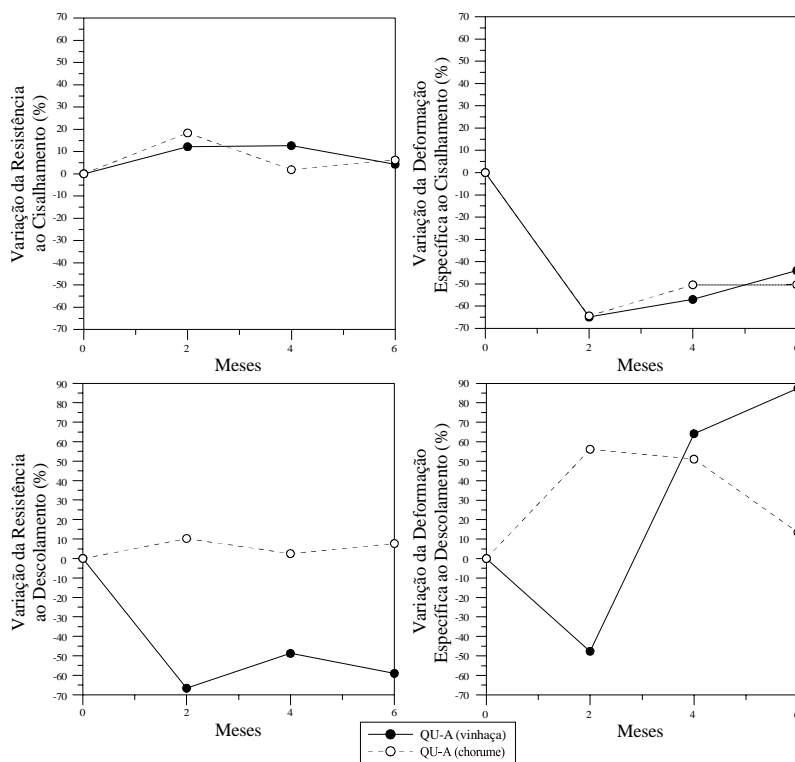


Figura 8. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras QU-A em contato com a vinhaça e com o chorume.
Fonte: Elaborado pelos autores.

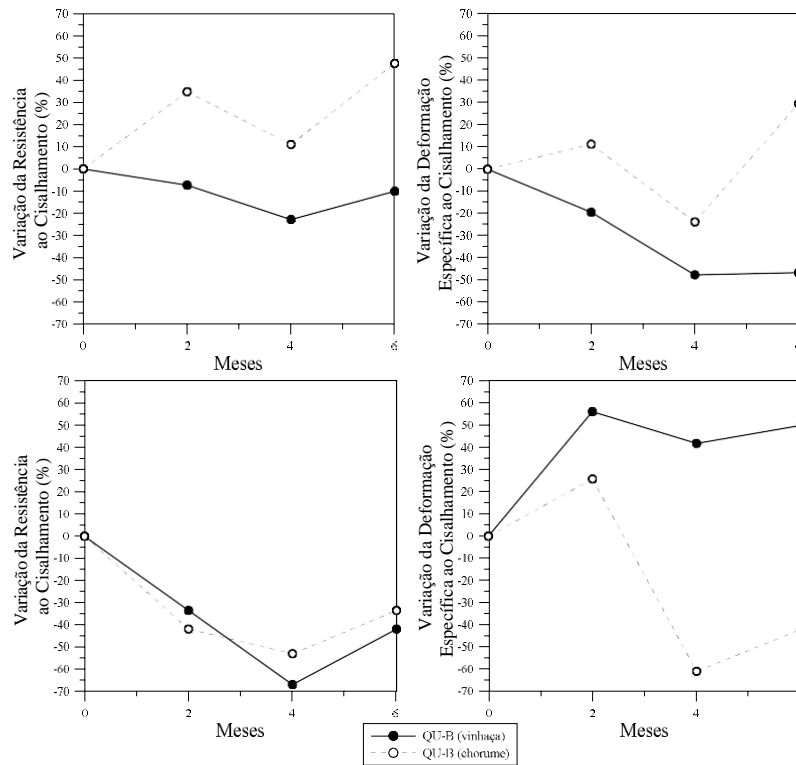


Figura 9. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras QU-B em contato com a vinhaça e com o chorume.
Fonte: Elaborado pelos autores.

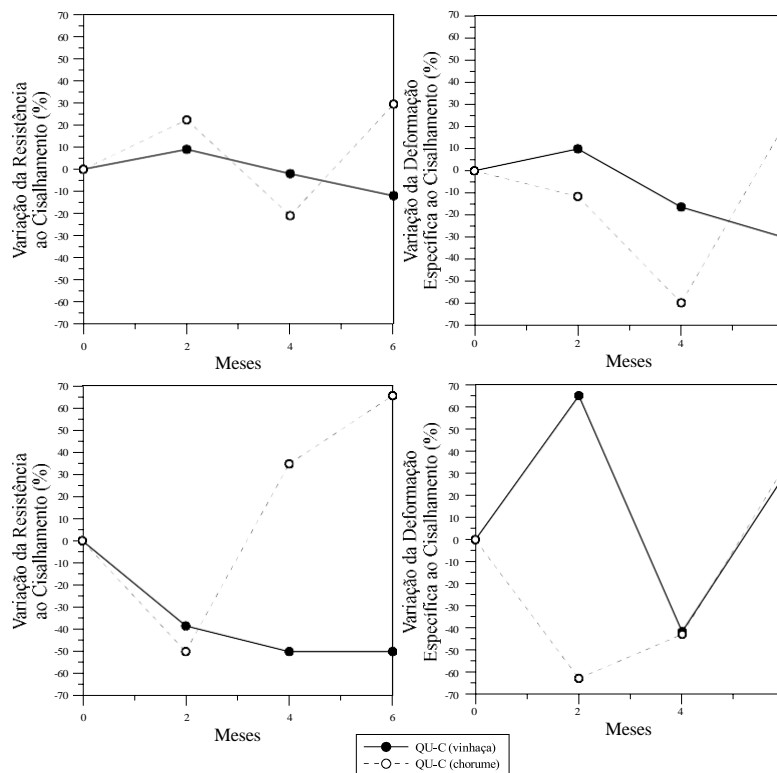


Figura 10. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras QU-C em contato com a vinhaça e com o chorume.
Fonte: Elaborado pelos autores.

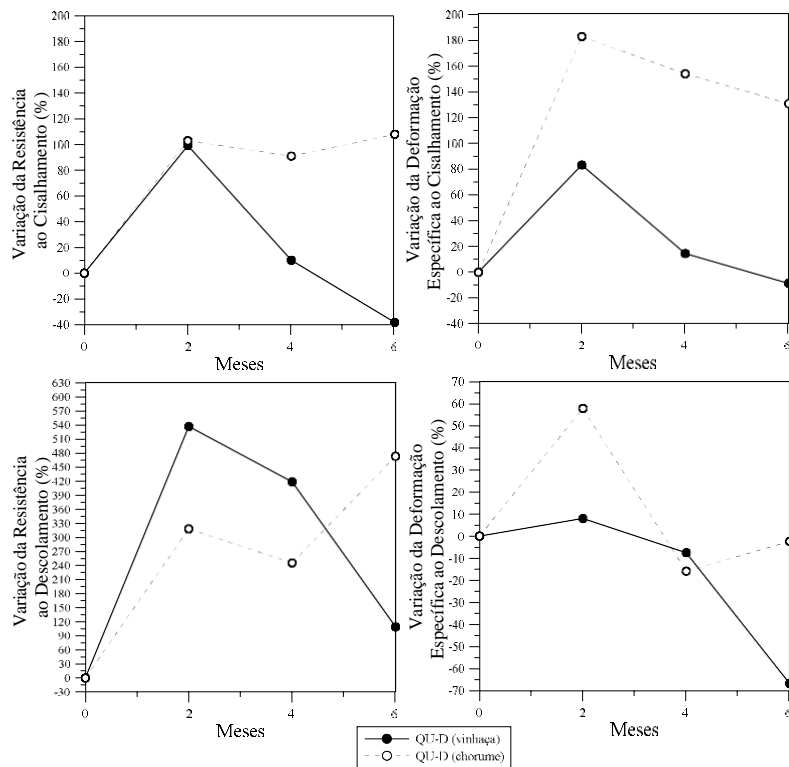


Figura 11. Variação da resistência ao cisalhamento, ao descolamento e da deformação específica das amostras QU-D em contato com a vinhaça e com o chorume.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1 Avaliação dos efeitos da exposição (alta frequência – AF)

4.1.1 Exposição a vinhaça

A Figura 4 ilustra que a amostra AF-A apresenta uma variação inconstante de resistência ao cisalhamento com aumento após 2 meses e decréscimos após 4 e 6 meses (no geral houve uma diminuição de 55,1%). Em relação a resistência ao descolamento, observa-se uma diminuição de resistência aos 4 meses e um aumento não muito significativo após 2 e 6 meses (no geral o material obteve um aumento de 2,5%). A deformação específica ao descolamento apresenta um aumento significativo aos 2 e 4 meses (no geral o material obteve um aumento na deformação específica 6,8%). Para a amostra AF-B (Figura 5) observa-se que a resistência ao cisalhamento apresenta uma variação inconstante com aumento após o mês 2 e diminuição após 4 e 6 meses (no geral observou-se uma diminuição de 9,3%). Em relação a resistência ao descolamento, houve uma diminuição de resistência para todos os meses (no geral o material obteve uma diminuição de 2,8). A deformação específica ao descolamento apresenta aumento em todos os meses, sendo observado um aumento de 21% após o 6º mês. A amostra AF-C (Figura 6) apresenta um aumento da resistência ao cisalhamento para o período investigado (24,2%). A resistência ao descolamento apresenta uma redução para todos meses atingindo 30,0% após o 6º mês. A deformação específica ao descolamento apresenta uma redução acumulada de 32,7% ao longo do período analisado. A amostra AF-D (Figura 7) apresenta um aumento da resistência ao cisalhamento para o período investigado (20,0% após o 6º mês). A resistência ao descolamento apresenta uma variação inconstante com diminuição para 2 e 4 meses e um aumento de resistência após o 6º mês

(aumento de 0,9%). A deformação específica ao descolamento apresenta um aumento de 45,0% ao longo do período analisado.

4.1.2 Exposição ao chorume

Em relação ao comportamento da amostra AF-A verifica-se que a resistência ao cisalhamento apresenta uma variação inconstante da resistência, com aumentos após 2 meses e decréscimo após 4 e 6 meses (no geral ocorreu uma diminuição de 8,6%). A resistência ao descolamento apresenta um aumento constante ao longo dos 6 meses (com um aumento acumulado de 34,1%). A deformação específica ao descolamento apresenta um aumento significativo aos 2 e 4 meses (no geral o material obteve um aumento de 16,2% na deformação específica). Em relação ao comportamento da amostra AF-B verifica-se que houve um aumento constante ao longo dos 6 meses com aumento acumulado de 10,0% da resistência ao cisalhamento. Em se tratando do descolamento houve uma queda de resistência aos 2 e 4 meses com um aumento após 6 meses (no geral houve um ligeiro aumento de 2,8%). A deformação específica ao descolamento apresenta aumento ao longo do período analisado, com um aumento acumulado de 31,7%. Em relação ao comportamento da amostra AF-C verifica-se que houve um aumento constante ao longo dos 6 meses (aumento acumulado de 26,4%). Em relação ao descolamento, houve uma queda de resistência após o 4º mês, com aumentos aos 2 e 6 meses (no geral se observou um acentuado aumento de 81,7%). A deformação específica ao descolamento apresenta redução ao longo do período analisado (redução acumulada de 66,4%). Em relação ao comportamento da amostra AF-D verifica-se que houve um aumento constante ao longo dos 6 meses (aumento acumulado de 45,9%). Em se tratando do descolamento, observa-se também um aumento na resistência ao longo do período analisado (22,9%). A deformação específica ao descolamento apresenta aumento no período estudado, com aumento acumulado de 7,7%.

4.2 Avaliação dos efeitos da exposição (fusão química – QU)

4.2.1 Exposição a vinhaça

A partir Figura 8 observa-se que a amostra QU-A apresenta um aumento na resistência ao cisalhamento ao longo do período investigado (um aumento de 4,3%). A resistência ao descolamento apresenta uma redução de 59,0% ao longo do período estudado. A deformação específica ao descolamento apresenta redução após o 2º mês e um aumento ao quarto e sexto mês (atingindo 87,4%). A amostra QU-B (Figura 9) apresenta uma redução na resistência ao cisalhamento ao longo do período investigado (10,0%). A resistência ao descolamento também apresenta uma redução de 41,7%. A deformação específica ao descolamento apresenta aumento de 49,7% ao longo do período estudado. A amostra QU-C (Figura 10) apresenta uma variação inconstante da resistência ao cisalhamento com aumento para 2 meses (9,0%) e diminuição para 4 e 6 meses, sendo que o material apresenta uma redução total igual a 11,9%. A resistência ao descolamento apresenta uma redução igual a 50,0% ao longo do período estudado. A deformação específica ao descolamento também apresenta uma variação inconstante com redução após o 4º mês (41,4%) e aumento para 2 e 6 meses atingindo um aumento de 29,8% no final do período de estudo. A amostra QU-D (Figura 11) apresenta uma variação inconstante da resistência ao

cisalhamento com aumento após os meses 2 e 4 (98,8 e 10,0% respectivamente) e redução de 38,1% após o mês 6. O descolamento apresenta aumento de 53,3% ao longo do período de estudo. A deformação específica ao descolamento apresenta uma variação inconstante, com aumento após o mês 2 (7,9%) e uma redução de 7,5 e 66,7% para após os meses 4 e 6, respectivamente.

4.2.2 Exposição ao chorume

Em relação ao comportamento da amostra QU-A verifica-se um aumento constante da resistência ao cisalhamento ao longo dos 6 meses (6,3%). O descolamento também apresenta um aumento na resistência ao longo do período analisado (aumento de 7,7%). A deformação específica ao descolamento apresenta um aumento de 13,4%. Em relação ao comportamento da amostra QU-B verifica-se um aumento da resistência ao cisalhamento de 47,3% ao longo dos 6 meses. Em se tratando do descolamento, houve uma redução de 33,3%. A deformação específica ao descolamento apresenta uma redução final de 41,9%. Em relação ao comportamento da amostra QU-C verifica-se uma variação inconstante da resistência ao cisalhamento com redução após o 4º mês (21,0%) e aumento após 2 e 6 meses, apresentando um aumento de 29,5% no final do período de estudo. Em relação ao descolamento, também houve uma variação inconstante com redução após o 2º mês (50,0%) e aumento após 4 e 6 meses, apresentando um aumento de 65,4% no final do período de estudo. A deformação específica ao descolamento apresenta uma variação inconstante, com redução após 2 e 4 meses (62,6 e 42,7%, respectivamente) e um aumento de 33,9% após o 6º mês. A resistência ao cisalhamento da amostra QU-D apresenta aumento de 107,5% ao longo do período estudado. A resistência ao descolamento também apresenta aumento igual a 472,7% durante o período estudado. A deformação específica ao descolamento apresenta uma variação inconstante, com aumento após o mês 2 (57,8%) e uma redução de 15,9 e 2,4% após 4 e 6 meses, respectivamente.

De forma geral, observa-se que o comportamento do material em termos de resistência e deformação apresentou oscilações de aumento e diminuição. O tipo de resíduo não afetou as propriedades avaliadas nem resultou em um comportamento específico e/ou determinante para as emendas avaliadas. O comportamento a ser esperado pelo material é de diminuição da resistência e da deformação em função do processo degradativo. No entanto, deve-se levar em conta que o PVC possuiu uma composição elevada de plastificantes. O contato desse material com temperaturas elevadas, bem como líquidos agressivos irão fazer com que o PVC se torne mais rígido e, portanto, poderá apresentar oscilações em sua resistência e deformabilidade. Ressalta-se que o fato do material apresentar aumentos em sua resistência não significa que o material tornou-se melhor. O fator essencial a ser verificado nesse quesito é, sem dúvida, a deformabilidade do material. Tornando-se mais rígido, o material apresenta um comportamento frágil, ou seja, poderá suportar determinado nível de tensão, mas irá romper com deformações muito menores do que a condição intacta. Assim, tais análises são de vital importância dentro de um projeto que envolve emendas em GMs, pois são fatores que afetam diretamente a eficiência e durabilidade destas.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos da presente pesquisa, as principais conclusões podem ser elencadas:

- Observou-se que o comportamento do material em termos de resistência e deformação apresentou oscilações de aumento e diminuição;
- O efeito do tipo de resíduo não foi determinante para as propriedades avaliadas;
- As variações observadas em relação à resistência ao cisalhamento foram semelhantes para ambas as técnicas de emendas avaliadas (AF e QU) e,
- Em se tratando do descolamento, as emendas confeccionadas pela técnica de fusão química (QU-C e QU-D) apresentaram variações mais significativas, fator esse que pode estar relacionado ao processo de confecção das emendas.

6 REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). (1995). **D4439: Standard Terminology for Geosynthetics**. West Conshohocken.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). (1995). **D5747: Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geomembranes to Liquids**. West Conshohocken.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). (1999). **D4545 – 86: Standard Practice for Determining the Integrity of Factory Seams Used in Joining Manufactured Flexible Sheet Geomembranes**. West Conshohocken.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). (1999). **D4437: Standard Practice for Determining the Integrity of Field seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes**. West Conshohocken.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). (1992). **D5322: Standard Practice for Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of Geosynthetics to Liquids**. West Conshohocken.
- BOVE, J. A.; SMITH, W.L. (1990). Ultrasonic Seams. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 09, n. 04-06, p. 325 – 331.
- GIROUD, J. P. (1984). Analysis of Stresses and Elongations in Geomembranes, **Proceedings of the International Conference on Geomembranes**, Denver, v. 2, Denver, USA, pp. 481-486.
- KOERNER, R. M. (1998). **Designing with Geosynthetics**, 3rd Ed. Prentice Hall Publ. Co., Englewood Cliffs.
- LODI, P. C. (2003). **Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloreto de vinila) (PVC)**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PEGGS, I. D. (1990). Destructive Testing of Polyethylene Geomembrane Seams: Various Methods to Evaluated Seam Strength. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 09, n. 04-06, p. 405 – 414.
- PEGGS, I. D. (1997). Stress Cracking in HDPE Geomembranes: What it is and how to avoid it, **Proceedings of Geosynthetics Asia'97**, Bangalore, India, pp. 409-417.
- REDDY, D. V.; BUTUL, B. (1999). **A comprehensive literature review of liners failures and longevity**,

submitted to Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management University of Florida, July 12, 1999, 156p

ROLLIN, A. L.; RIGO, J. M. (1991). **Geomembranes: Identification and Performance Testing**. Report of Technical Committee 103 – MGH – Mechanical and Hidraulic Testing of Geomembranes. RILEM, Rollin A.L. & Rigo, J.M., eds., Chapman and Hall, Cambridge, Great Britain, 376 p.

STRUVE, F. (1990). Extrusion Fillet Welding of Geomembranes. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 09, n. 04-06, p. 281-293.

SHARMA, H. D.; LEWIS, S.P. (1994). **Waste containment System, waste stabilization and landfills: design and evaluation**. John Wiley & Sons, Inc., New York.

VILAR, O. R. (2003). Geossintéticos em Aplicações Ambientais. In: IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, 2003, Porto Alegre/RS. **Anais do Geossintéticos 2003**. Porto Alegre: IGS.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Rocha, B. P., & Lodi, P. C. (2022). AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE EMENDAS DE GEOMEMBRANAS DE POLI CLORETO DE VINILA EXPOSTAS A LIXÍVIAS. *HOLOS*, 8. <https://doi.org/10.15628/holos.2022.10402>

SOBRE OS AUTORES:

B.P. ROCHA:

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), campus Ilha Solteira, (2011). Mestrado (2013) e Doutorado (2018) pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo. Realizou Pós Doutorado pela UNESP (Faculdade de Engenharia de Bauru) em 2019.

E-mail: breno.rocha@ifsp.edu.br

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0002-6534-0482>

P.C. LODI:

Possui graduação em Engenharia Civil pela Unesp - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Mestrado, Doutorado e Pós-Doutorado em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). Também realizou Pós-Doutorado pela Universidade do Texas em Austin; Livre Docente pela UNESP em 2015.

E-mail: paulo.lodi@unesp.br

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0001-8857-1710>

Editora responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento



Recebido: 12 de junho de 2020

Aceito: 09 de abril de 2020
Publicado: 28 de dezembro de 2022

