

FACULDADE EDUFOR
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

São Luis - MA

2024

LUDSON HENRIQUE SILVA MORENO

**A UTILIZAÇÃO DA GEOMEMBRANA, COMO MATERIAL
IMPERMEABILIZANTE EM OBRAS DE ENGENHARIA**

Projeto de conclusão de curso apresentado à
Faculdade Edufor, para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.: Me Franklin Roosevelt
Rodrigues do Ó/Profa. Valdilea Ferreira
Lopes.

São Luis – MA

2024

M843u Moreno, Ludson Henrique Silva

A utilização da geomembrana, como material impermeabilizante em obras de engenharia / Ludson Henrique Silva Moreno — São Luís: Faculdade Edufor, 2024.

26 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (ENGENHARIA CIVIL) — Faculdade Edufor - São Luís, 2024.

Orientador(a) : Franklin Roosevelt Rodrigues do Ó

1. Barragem. 2. Rejeito. 3. Impermeabilização. 4. Meio Ambiente.

I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha esposa Talita e ao meu filho Talles, que sempre me acompanharam e me apoiaram nos meus sonhos e projetos.

AGRAECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me proporcionado saúde e determinação para nunca desistir dos meus sonhos. Toda honra e toda a glória seja dado a Ele.

Agradeço a minha mãe Ana Maria e meu pai Carlos Augusto, meus heróis que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Obrigado minha esposa Talita e meu filho Talles, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Quero agradecer os meus irmãos, Luziana, Luciana, Carlos Augusto e Lucas. Obrigado por todos os conselhos úteis, bem como palavras motivacionais e puxões de orelha.

O apoio de cada um de vocês nesses períodos difíceis da faculdade, me ajudaram a passar cada momento. Vocês desempenharam um papel significativo no meu crescimento, e devem ser recompensados com minha eterna gratidão.

Obrigado por tudo. Este TCC é de todos nós!

A UTILIZAÇÃO DA GEOMEMBRANA, COMO MATERIAL IMPERMEABILIZANTE EM OBRAS DE ENGENHARIA

Ludson Henrique Silva Moreno¹

Me. Franklin Roosevelt Rodrigues do Ó²

RESUMO

A geomembrana é um material amplamente utilizado em obras de engenharia civil e ambiental devido às suas propriedades impermeabilizantes e de proteção. O principal objetivo é mostrar as vantagens da sua utilização. É um material sintético impermeável e flexível, sua principal função é proporcionar uma barreira eficaz contra a infiltração de líquidos e gases, protegendo o meio ambiente e garantindo a segurança de estruturas. É frequentemente utilizada para revestir reservatórios de água potável, lagoas de tratamento de efluentes, aterros sanitários, tanques de contenção e barragens. Essas aplicações visam evitar vazamentos e contaminação do solo e das águas subterrâneas, prevenindo danos ambientais e riscos à saúde pública. Além disso, a geomembrana desempenha um papel crucial na estabilização de taludes, controle de erosão e proteção de encostas em obras de engenharia geotécnica.

Enfim, a utilização de geomembranas em obras de engenharia civil, geotécnica e ambiental apresenta inúmeras vantagens, proporcionando segurança e proteção ao meio ambiente. A sua capacidade de impedir a infiltração de líquidos e gases, associada à flexibilidade e durabilidade do material, torna a geomembrana uma solução eficaz e confiável para diversas aplicações. Seja na prevenção de vazamentos em reservatórios e aterros sanitários, na estabilização de taludes ou no controle de erosão, as geomembranas desempenham um papel essencial na preservação dos recursos naturais e na mitigação de riscos ambientais.

Palavras-Chave: Barragem. Rejeito. Impermeabilização. Meio Ambiente

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Edufor São Luís.

E-mail: ludson.henrique.silva.moreno@alunoedufor.com.br

² Orientador.

[Mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: franklin.doo@edufor.edu.br](mailto:franklin.doo@edufor.edu.br)

THE USE OF GEOMEMBRANE AS WATERPROOFING MATERIAL IN ENGINEERING WORKS

Ludson Henrique Silva Moreno³
Me. Franklin Roosevelt Rodrigues do Ó⁴

ABSTRAT

Geomembrane is a material widely used in civil and environmental engineering works due to its waterproofing and protective properties. The main objective is to show the advantages of its use. It is a waterproof and flexible synthetic material, its main function is to provide an effective barrier against the infiltration of liquids and gases, protecting the environment and ensuring the safety of structures. It is often used to line drinking water reservoirs, effluent treatment ponds, landfills, containment tanks and dams. These applications aim to prevent leaks and contamination of soil and groundwater, preventing environmental damage and risks to public health. Furthermore, the geomembrane plays a crucial role in slope stabilization, erosion control and slope protection in geotechnical engineering works.

Finally, the use of geomembranes in civil, geotechnical and environmental engineering works has numerous advantages, providing safety and protection to the environment. Its ability to prevent the infiltration of liquids and gases, associated with the flexibility and durability of the material, makes the geomembrane an effective and reliable solution for various applications. Whether preventing leaks in reservoirs and landfills, stabilizing slopes or controlling erosion, geomembranes play an essential role in preserving natural resources and mitigating environmental risks.

Keywords: Dam. I reject. Waterproofing. Environment

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Edufor São Luís.

E-mail: ludson.henrique.silva.moreno@alunoedufor.com.br

² Orientador.

[Mestre em Engenharia Elétrica. E-mail: franklin.doo@edufor.edu.br](mailto:franklin.doo@edufor.edu.br)

Sumário

INTRODUÇÃO	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 Conceito de geomembrana	9
2.2 Impermeabilização	9
2.3 Obras de Engenharia	11
2.4 A importância da espessura da geomembrana	13
3. METODOLOGIA	15
3.1 Método para aplicação da geomembrana	16
3.2 Garantia e Controle de Qualidade	19
3.2.1 Ensaios Não Destrutivos	19
3.2.2 Ensaios Destrutivos	20
3.3 TRANSPORTE E MANUSEIO	22
3.3.1 Estocagem	23
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
5. REFERÊNCIAS	26

INTRODUÇÃO

As geomembranas são geossintéticos impermeáveis que têm como principal função conter líquidos e evitar sua perda por infiltração. Elas são utilizadas em diversas áreas, como construção civil, mineração, agricultura, indústria e outras, para garantir a proteção do meio ambiente e a economia de recursos hídricos. A engenharia civil desempenha um papel fundamental na construção e manutenção de infraestruturas que são essenciais para o funcionamento da sociedade. No entanto, a longevidade e a eficácia dessas estruturas estão diretamente ligadas à sua capacidade de resistir aos diversos desafios impostos pelo ambiente ao longo do tempo. Entre esses desafios, um dos mais significativos é a infiltração de água, que pode causar danos sérios às estruturas e comprometer sua integridade. (Silva, 2017)

Nesse contexto, a impermeabilização surge como uma técnica crucial para proteger as estruturas contra os efeitos adversos da água e para conter algum material líquido ou gasoso que seja nocivo ao meio ambiente. Ao longo dos anos, diversas técnicas e materiais foram desenvolvidos para atender a essa necessidade, e entre eles, a geomembrana tem se destacado como uma solução versátil e eficaz.

A geomembrana é um tipo de revestimento flexível, fabricado a partir de materiais poliméricos, como Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL), Policloreto de Vinila (PVC) e Borracha Etileno Propileno Dieno (EPDM). Sua principal função é criar uma barreira impermeável, impedindo a passagem de líquidos através do substrato onde é instalada. (Geossintec, 2023).

A escolha deste tema para o presente trabalho se baseia na importância crescente da impermeabilização na engenharia civil, assim como na necessidade de explorar soluções inovadoras que possam garantir a durabilidade e a sustentabilidade das estruturas construídas. A geomembrana, com suas propriedades únicas e sua ampla gama de aplicações, representa uma alternativa promissora para enfrentar os desafios relacionados à infiltração de água em obras de engenharia.

Portanto, o objetivo deste trabalho é mostrar de forma detalhada a utilização da geomembrana como material impermeabilizante em obras de engenharia civil. Serão abordadas suas características, aplicações e benefícios, assim como os aspectos técnicos envolvidos em sua instalação e uso. Além disso, será discutido o papel da geomembrana na promoção da sustentabilidade e na mitigação dos impactos ambientais associados à infiltração de água e/ou água contaminada em obras de engenharia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de geomembrana

A terminologia "geomembrana" é definida pela norma NBR ISO 10318 (ABNT, 2018) como uma barreira geossintética polimérica de estrutura plana, fabricada industrialmente com materiais que funcionam como uma barreira impermeabilizante. Esse revestimento, elaborado com materiais poliméricos, possui excelente resistência química e mecânica, sendo projetado para atuar como um elemento de contenção. A geomembrana é essencial na proteção contra vazamentos e infiltrações, proporcionando uma barreira impermeável eficaz no solo. Estas mantas laminadas flexíveis oferecem excelente desempenho quando empregadas como revestimento impermeabilizante em obras de geotecnia. As geomembranas são caracterizadas por sua natureza plástica e elástica, o que lhes permite suportar uma ampla gama de substâncias, incluindo ácidos, gases, sais, e solventes orgânicos e inorgânicos. A resistência a esses agentes torna as geomembranas altamente versáteis e adequadas para diversas aplicações ambientais e de engenharia civil. (Engepol, 2022)

As junções das geomembranas são realizadas através de soldagem eletrônica (termofusão), um processo que assegura a criação de selagens extremamente robustas e duráveis. Este método de junção permite que as geomembranas passem por testes rigorosos de qualidade, garantindo sua eficácia e longevidade.

A instalação das geomembranas é bastante prática, simplificando e acelerando muitas etapas comparadas aos métodos tradicionais de impermeabilização. Essa facilidade de instalação, combinada com suas propriedades de resistência e durabilidade, faz das geomembranas uma escolha eficiente e confiável para projetos de engenharia geotécnica e proteção ambiental.

2.2 Impermeabilização

Segundo Arantes (2007, p. 81), a impermeabilização desempenha um papel fundamental na construção de barragens e obras especiais, representando uma necessidade primordial para assegurar a segurança estrutural, bem como para atender aos padrões de normalização aplicáveis. No contexto brasileiro, o impulso para o desenvolvimento da impermeabilização teve origem nas obras do Metrô na cidade de São Paulo, iniciadas em 1968. A partir desse marco, foram realizadas reuniões visando a elaboração das primeiras normas brasileiras de impermeabilização, sob os auspícios da

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), resultando na publicação da NBR 9575/2003. Vale ressaltar que, diante do ritmo acelerado das obras do Metrô, esse grupo pioneiro teve a necessidade de apresentar a primeira norma brasileira de impermeabilização já em 1975, ano de sua fundação.

Atualmente, destaca-se o papel do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), que, para dar continuidade aos trabalhos de normalização, iniciou um processo de divulgação prioritário e significativo para o avanço da impermeabilização, o qual perdura até os dias atuais.

Com base nisso, compreende-se que o sistema de impermeabilização desempenha um papel crucial na garantia da eficácia e durabilidade das construções ao longo do tempo. Desse modo, são adotadas medidas para proteger as estruturas contra a ação nociva da água, agravada por diversos fatores como o clima e a execução das obras. Essas medidas incluem a utilização de geomembranas, que são parte integrante desse sistema, proporcionando uma barreira eficaz contra a infiltração de líquidos.

Para nós, a impermeabilização consiste em um conjunto de produtos e serviços destinados a conferir estanqueidade entre diferentes partes da construção. Essa estanqueidade é essencial para evitar a penetração ou passagem de fluidos, garantindo assim a segurança e preservação das estruturas construídas ao longo do tempo. Geralmente, a impermeabilização é composta por várias camadas, cada uma com funções específicas. (IBI- Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 2003)

No processo de impermeabilização, o uso de geossintéticos assegura que o fluido principal a ser contido é a água, em suas diversas formas de atuação, como a percolação por chuva, umidade do solo, pressão hidrostática e condensação. Portanto, é essencial que o sistema de impermeabilização seja concebido e executado de forma integrada, garantindo a igualdade na formação de uma barreira eficaz e uma construção correta. Isso contribui para prevenir problemas associados à infiltração de água, especialmente em estruturas como barragens, onde as geomembranas desempenham um papel crucial.

Em suma, a utilização de geossintéticos e geocompostos como produtos industriais fabricados tem se mostrado fundamental para a impermeabilização de barragens e bacias de contenção. Os investimentos nessa área têm sido significativos, dada a importância desses materiais, desenvolvidos inicialmente na Europa, onde foram aplicados em experiências bem-sucedidas em barragens, como exemplificado pela reabilitação da barragem do Lago Baitone, na Itália, utilizando uma geomembrana de poli-isobutileno de 2,0 mm de espessura (JANAINA, 2006, p. 9).

Soares (2014, p. 92) destaca que a ausência de conhecimentos fundamentais, aliada à falta de projetos adequados às normas específicas, tem sido responsável por patologias construtivas recorrentes. Isso tem motivado mudanças significativas na ABNT NBR 9575 – Impermeabilização e Seleção de Projetos Impermeáveis 2003, visando aprimorar os métodos e técnicas aplicáveis, além de contribuir para a redução dos custos associados à impermeabilização.

Portanto, é fundamental evitar atrasos na execução das obras e atender às demandas logísticas para evitar problemas maiores e custos excessivos, que podem ser até 15 vezes mais elevados do que o valor estimado inicialmente. No Brasil, a impermeabilização é encarada como uma medida preventiva essencial durante a execução das obras, com enfoque na análise criteriosa de estudos e experiências, visando evitar falhas e garantir a eficácia dos serviços prestados. (Soares, 2014)

2.3 Obras de Engenharia

As barragens e bacias de contenção desempenham um papel crucial na gestão hídrica e na mitigação de riscos ambientais. Elas representam uma resposta emergencial e ideológica para problemas anormais e patológicos, especialmente em barragens construídas por aterro de solo, bacias e tanques de contenção. Essas estruturas requerem um projeto meticuloso e cuidadoso, com foco na compatibilidade, durabilidade, resistência e capacidade de suportar os resíduos sólidos e líquidos, bem como nos sistemas de distribuição. (Palmeiras, E. M. 2018).

Figura 1: Barragem para estocagem de rejeitos da mineração



Fonte: Bruno Trindade, 2020

No contexto das barragens e bacias de contenção, é fundamental considerar não apenas a capacidade de reter e armazenar água, mas também a necessidade de prevenir vazamentos, rupturas e danos ao meio ambiente. Portanto, o projeto dessas estruturas deve levar em conta uma variedade de fatores, como a topografia do terreno, a capacidade de suporte do solo, as condições hidrológicas e a presença de comunidades humanas próximas. (Duarte A. P. 2008)

Figura 2: Reservatório de água para agropecuária



Fonte: Joelson Silva, 2023

Além disso, as barragens e bacias de contenção desempenham um papel importante na gestão de resíduos sólidos e líquidos, ajudando a evitar a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Elas também podem ser projetadas para fornecer água para uso agrícola, industrial e doméstico, contribuindo assim para o desenvolvimento econômico e social das regiões onde estão localizadas.

Figura 3: Canal para transferência de água



Fonte: Joelson Silva, 2023

É crucial que o projeto e a construção dessas estruturas sejam realizados por profissionais qualificados e em conformidade com as normas técnicas e regulamentações ambientais. Isso garantirá não apenas a segurança das barragens e bacias de contenção, mas também sua eficácia na gestão sustentável dos recursos hídricos e na proteção do meio ambiente.

2.4 A importância da espessura da geomembrana

Conforme a ABNT NBR 16199/20 temos dois tipos de obras, as obras tipo 1; obras nas quais as falhas no sistema de revestimento podem causar danos significativos ao meio ambiente e obras tipo 2; obras nas quais as falhas no revestimento não causam danos significativos ao meio ambiente. As geomembranas apresentam-se em diversas espessuras dependendo da aplicação pretendida e dos requisitos específicos do projeto. A espessura de uma geomembrana é normalmente medida em milímetros, com isso vejamos a espessura da geomembrana para cada tipo e obra:

Tabela 1: Espessura das geomembranas e área de utilização.

Espessura	Discrição para cada tipo de geomembrana
0,50 mm	Lagos ornamentais, tanques de piscicultura, reservatórios de água para irrigação, canais de adução, impermeabilização de tanques de aço e concreto.
0,75 mm	Viveiros de peixes, tanques de camarão, campos de golfe, greening vertical, jardins artificiais, lagos, tratamento de esgoto, aterros sanitários e outras áreas
1,0 mm	Revestir lagos ou tanques ou outras estruturas que pedem segurança, qualidade e durabilidade
1,25 mm	Aterros sanitários e industriais, células de disposição dos resíduos e reservatórios de chorume, mineração, pilhas de lixiviação barragens e células.
1,50 mm	Aterros sanitários e industriais, barragens de rejeito e células e/ou lagoas para processos de produção, estações de tratamento de água e efluentes, usinas de açúcar e álcool, reservatórios para armazenamento e canais de distribuição de vinhaça, reservatórios de água etc.
2,0 mm	Aterros sanitários, lagoas de evaporação e tanques de contenção, barragens e reservatórios, mineração, construção civil, cobertura de aterros.
2,5 mm	Lagoas de Evaporação e Tanques de Contenção, barragens e reservatórios de grande porte, aterros sanitários e industriais, coberturas de aterros de resíduos perigosos, mineração, proteção de estruturas subterrâneas, tanques de armazenamento de produtos químicos.

Fonte: Adaptada pelo pesquisador, 2024

"Geomembranas sintéticas e asfálticas, dependendo do material utilizado em sua fabricação, apresentam polímeros sintéticos revestidos por compostos químicos de elevado peso molecular. Existem dois tipos principais de fabricação: termoplásticas, que passam por um processo de pré-aquecimento rápido até atingir o ponto de fusão para moldagem, e depois são resfriadas e conservadas em suas formas moldadas. Exemplos desses termoplásticos incluem PVC, P e PP. É relevante destacar que, na produção de geomembranas para uso em obras de barragens, as mantas sintéticas mais comumente empregadas são PEAD, PELBD, PP, HDPE e LLDPE." A utilização de geomembranas é crucial para proporcionar estabilidade a taludes longos e íngremes com diques, mantendo um equilíbrio sustentável ao suportar a força de atrito. Ao longo do tempo, foram desenvolvidas várias técnicas para impermeabilizar barragens, incluindo o encapsulamento de mantas geossintéticas, que previne de forma eficaz problemas como rupturas em aterros de solo. (Vertematti, J. C. 2015).

Conforme destacado por Ramos (2013, p. 8), para garantir uma segurança ainda maior, é essencial primeiro avaliar os rejeitos que serão armazenados no local, verificando se possuem um grau de risco que poderia comprometer a integridade ecológica do sistema ambiental e populacional. Para evitar problemas graves, é recomendável a aplicação de um sistema duplo de proteção.

“Quando constituídos por uma única camada impermeável, estes sistemas são chamados simples. São empregados geralmente nos casos de contenção de materiais onde os riscos de vazamentos eventuais não causariam danos significativos ao meio ambiente. Os chamados sistemas compostos são aqueles que envolvem a combinação de solos argilosos compactados e materiais sintéticos de acordo com suas diferentes combinações. [...]” (RAMOS, 2013, p. 8).

A estrutura é composta por duas camadas de geomembranas, entre as quais se insere uma camada adicional, geralmente um geocomposto bentonítico (GCL) ou um geocomposto leve. O GCL é utilizado com bentonita sódica em forma de composto granulado. O processo envolve a aplicação do GCL sobre a primeira camada de geomembrana. Em seguida, uma segunda camada de geomembrana é colocada por cima, criando assim uma estrutura unificada e altamente eficaz. Este método de construção forma uma barreira impermeável robusta, aproveitando as propriedades de impermeabilização da bentonita sódica, que se expande ao entrar em contato com a água, preenchendo qualquer espaço potencial e garantindo uma vedação completa. A

combinação dessas camadas proporciona uma solução duradoura e segura para diversas aplicações, como em aterros, reservatórios e projetos de contenção de resíduos, assegurando a máxima proteção ambiental e estrutural.

“Os geocompostos bentoníticos, consistem em geral de uma fina camada de bentonita sódica, envolvida por dois geotêxtis, formando um único material. Tal configuração resulta em um produto uniforme que cumpre com as exigências técnicas das aplicações às quais é destinado. Dependendo do rejeito a ser armazenado, as geomembranas e os geocompostos bentoníticos podem ser utilizadas isoladamente ou combinados em diferentes configurações e arranjos. [...]” (RAMOS, 2013, p.7)

3. METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, utilizando a Revisão da Literatura para realizar uma análise descritiva e exploratória. Esta análise envolve a coleta de dados digitais e a revisão de estudos sobre o uso de geomembranas como solução para prevenir a contaminação ambiental, minimizar impactos ao meio ambiente e reduzir o alto índice de rejeitos com componentes minerais armazenados (MIRANDA, 2018, p. 36). Os procedimentos metodológicos incluem levantamentos bibliográficos em artigos, monografias e teses relacionados ao tema, acessados por meio de sites na internet e acervos digitais de instituições de ensino superior. Este processo é essencial para adquirir as bases teóricas e fundamentais necessárias para a elaboração e desenvolvimento do trabalho.

Adicionalmente, a pesquisa incorpora uma análise detalhada da metodologia, conforme as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, especialmente a NBR 9575/10 e NBR 16199/20, que trata das geomembranas e suas aplicações. Estas normas fornecem diretrizes para a impermeabilização eficiente de barragens e lagos de rejeitos, garantindo que os procedimentos de instalação sejam seguidos corretamente para assegurar uma obra segura e livre de danos ao lençol freático, prevenindo assim qualquer impacto ambiental negativo.

Além disso, a pesquisa se beneficia de estudos aprofundados que fortalecem a metodologia proposta, assegurando que as soluções implementadas sejam tanto eficazes quanto sustentáveis, contribuindo para a proteção do meio ambiente e a gestão responsável dos recursos naturais.

3.1 Método para aplicação da geomembrana

A aplicação de geomembranas envolve um conjunto de métodos e técnicas específicas para assegurar sua eficácia e durabilidade. A primeira etapa crucial é a preparação do substrato. Esta fase inclui a limpeza completa da área, removendo detritos, pedras, raízes e qualquer material que possa perfurar a geomembrana. Em seguida, o solo deve ser nivelado e compactado, proporcionando uma superfície estável e uniforme para a instalação da geomembrana. Após a preparação do substrato, as bobinas de geomembrana são desenroladas com cuidado para evitar danos. A geomembrana é então posicionada de acordo com o projeto, cobrindo toda a área necessária e garantindo sobreposições adequadas entre os painéis para permitir a soldagem. (NBR 16199,2020)

A soldagem é uma etapa crítica no processo de instalação. Existem vários métodos de soldagem utilizados, sendo a soldagem por termofusão um dos mais comuns. Este método utiliza calor para fundir as bordas das geomembranas, criando uma junta contínua e impermeável. Equipamentos como cunhas quentes e extrusoras são frequentemente empregados. A soldagem por ar quente é outra técnica utilizada, especialmente em geomembranas mais finas. Ambas as técnicas exigem testes de soldagem, como testes de tração e cisalhamento, para garantir a integridade das juntas. (NBR 16199,2020)

Figura 4: Lançamento de geomembrana no fundo reservatório



Fonte: O pesquisador, 2023

A geomembrana deve ser ancorada adequadamente para evitar deslocamentos. Isso é feito por meio de valas de ancoragem ao redor do perímetro da área revestida. Em alguns projetos, a geomembrana pode ser mantida no lugar com pesos adicionais ou coberturas protetoras, como camadas de solo ou rochas. Para proteger a geomembrana contra perfurações e danos, podem ser instaladas camadas de geotêxteis acima e/ou

abaixo dela. Além disso, a geomembrana pode ser coberta com solo, areia ou cascalho para protegê-la contra a exposição direta ao sol, animais e outros danos.

Figura 5: Lançamento de geomembrana em talude



Fonte: O pesquisador, 2023

Finalmente, a manutenção e o monitoramento contínuos são essenciais para garantir a longevidade da geomembrana. Inspeções regulares devem ser realizadas para verificar a integridade da geomembrana ao longo do tempo, e qualquer dano detectado deve ser reparado imediatamente utilizando métodos de soldagem adequados conforme descrito por Ramos (2013, p. 11, citado em Lodi, 2003), as emendas de solda são adaptadas de acordo com as necessidades específicas das obras de contenção e barreira de efluentes. Estas emendas são realizadas posteriormente, dependendo da técnica aplicada ao tipo específico de rejeito destinado ao espaço construído para suportar peso.

Para garantir a integridade das emendas, é crucial que as soldas apresentem resistência adequada, evitando assim o risco de descolamento ou ruptura, o que poderia causar sérios problemas tanto na geomembrana quanto na estrutura da barragem, além de danos ambientais. Portanto, é essencial que as emendas por solda de termofusão sejam realizadas com qualidade, sem defeitos, e submetidas a rigorosos controles durante os testes de campo para garantir resultados satisfatórios e em conformidade com as normas. Um exemplo de solda é mostrado na figura 8. Ele ilustra a união das faces das geomembranas de PEAD por meio de solda aquecida com uma cunha metálica, resultando em uma solda com uma única linha dupla. Esta configuração cria um canal no eixo da solda onde será realizado o teste não-destrutivo de pressurização (teste de ar) para verificar a estanqueidade.

Figura 6: Solda por Termofusão, empresa TDM Brasil



Fonte: O pesquisador, 2023

Figura 7: Sola por Extrusão, empresa TDM Brasil



Fonte: O pesquisador, 2023

Veja abaixo nas imagens explicativas feito pela empresa Engepol, referente a NBR 16199, o detalhamento da execução da solda termofusão e extrusão.

Figura 8: Solda termofusão

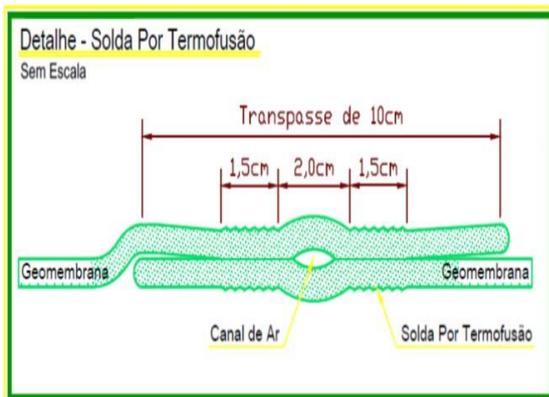
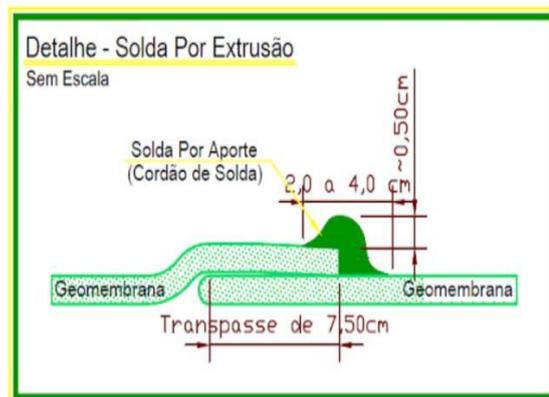


Figura 9: Solda por extrusão



3.2 Garantia e Controle de Qualidade

Durante a instalação do reservatório de geomembrana, deve ser feito o controle de qualidade das soldas de acordo com a norma ABNT NBR 16199.

Este controle de qualidade inclui ensaios destrutivos e não destrutivos nas soldas, buscando a estanqueidade do sistema.

3.2.1 Ensaios Não Destrutivos

Todas as soldas deverão ter a estanqueidade verificada ao longo do seu comprimento, através de ensaios não destrutivos. Esses ensaios devem ser realizados simultaneamente com os serviços de solda e são os seguintes:

- **Ensaio de vácuo.** Quando usado o sistema de solda por extrusão deve-se realizar um teste de vácuo para garantir a integridade da solda. Neste ensaio a solda é submetida a uma pressão negativa através de uma caixa de vácuo transparente com vedação.

Figura 10: Reparo a extrusão



Fonte: O pesquisador, 2023

Figura 11: Ensaio de vácuo no reparo



Fonte: O pesquisador, 2023

- **Ensaio de pressurização.** Quando usado o sistema de solda por termofusão de linha dupla deve-se realizar um teste de prova de ar para garantir a integridade da solda. Neste ensaio a solda é selada, submetida a pressão de ar e monitorada.

Figura 12: Ensaio de pressurização com monômetro



Fonte: O pesquisador, 2023

▪ **Ensaio da faísca elétrica ou “Spark test”.** O ensaio “Spark Test” poderá também ser utilizado para verificação da estanqueidade global da superfície total da geomembrana do revestimento executado. Um dispositivo semelhante a uma escova metálica, conectada a uma fonte de elétrica, deve então ser guiado lentamente, por um operador, por sobre e ao longo da linha de solda. Qualquer falha será detectada pela emissão de uma faísca elétrica.

Figura 14: Spark test em painéis



Fonte: O pesquisador 2023

Figura 15: Spark test em reparos



Fonte: O pesquisador 2023

Os controles não destrutivos devem ser realizados em 100% das soldas.

3.2.2 Ensaios Destrutivos

Devem ser feitos para avaliar estatisticamente a qualidade das soldas.

Os ensaios destrutivos deverão seguir as recomendações das normas ASTM D 6392 e GRI GM19, e atender a duas propriedades básicas de resistência: cisalhamento e descolamento da solda. Os ensaios são realizados na obra, em tensiômetros portáteis. (Engepol, 2022)

▪ **Resistência ao descolamento:** o corpo de prova é preso às garras do tensiômetro do mesmo lado da solda, de forma a tentar abri-la. As soldas internas e externa de cada corpo de prova devem ser ensaiadas e os resultados apresentados devem ser iguais ou superiores aos recomendados na GRI-GM19.

▪ **Resistência ao cisalhamento:** consiste em submeter o corpo de prova a um esforço de cisalhamento direto, a uma velocidade definida, com a geomembrana superior presa a uma das garras do tensiômetro e a inferior à outra garra.

Deve ser registrada sua máxima resistência e o tipo de ruptura. Assim como nos ensaios de descolamento, os resultados apresentados devem ser iguais ou superiores aos recomendados na GRI-GM19.

Nas tabelas a seguir estão os valores mínimos para os ensaios de **descolamento** e **cisalhamento** em tensiômetro, conforme NBR 16199/20.

Tabela 2: Valores mínimos de resistência da solda para geomembrana de PEAD

Resistência da solda	Método de ensaio	Espessura da geomembrana mm				
		0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
Cisalhamento kN/m (soldas por termofusão e por extrusão)	ASTM D6392	10,6	14,0	21,0	28,0	35,0
Descolamento kN/m (solda por termofusão)	ASTM D6392	8,4	10,5	15,9	21,2	26,4
Descolamento kN/m (solda por extrusão)	ASTM D6392	7,2	9,0	13,6	18,2	22,8

Fonte: ABNT NBR 16199/20, 2024

Tabela 3: Valores mínimos de resistência da solda para geomembrana de PEBDL

Resistência da solda	Método de ensaio	Espessura da geomembrana mm				
		0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
Cisalhamento kN/m (soldas por termofusão e por extrusão)	ASTM D6392	8,4	10,5	15,8	21,0	26,3
Descolamento kN/m (solda por termofusão)	ASTM D6392	7,1	8,8	13,1	17,5	21,9
Descolamento kN/m (solda por extrusão)	ASTM D6392	6,4	7,6	11,6	15,4	20,0

Fonte: ABNT NBR 16199/20, 2024

Tabela 4: Valores mínimos de resistência da solda para geomembrana de PEBDL

Resistência da solda	Método de ensaio	Espessura da geomembrana mm				
		0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
Cisalhamento (508 mm/min) kN/m	ASTM D882	6,7	10	14	17	20
Descolamento (508 mm/min) kN/m	ASTM D882	2,2	2,6	3,1	3,1	3,1
Descolamento (50,8 mm/min) kN/m	ASTM D882	2,2	2,6	2,6	2,6	2,6

Fonte: ABNT NBR 16199/20, 2024

3.3 TRANSPORTE E MANUSEIO

O transporte de geomembranas de PEAD em rolos requer cuidados específicos para garantir a integridade do material. Para isso, é essencial utilizar empilhadeiras ou equipamentos equivalentes que permitam o içamento e a movimentação segura, como caminhões tipo munck ou manipuladoras. O içamento deve ser realizado com cintas de poliéster ou cordas, sempre tomando cuidado para não estrangular as bobinas. É fundamental levantar as bobinas utilizando, no mínimo, dois pontos de sustentação, a fim de evitar qualquer deformação. (Neoplastic, 2019)

É importante destacar que cintas e cubos metálicos não devem ser usados, pois podem causar danos ao produto. Antes do transporte, os veículos devem ser cuidadosamente inspecionados. A plataforma de apoio dos veículos deve ser plana e isenta de pregos, lascas de madeira ou quaisquer materiais pontiagudos que possam comprometer a integridade das geomembranas. Além disso, durante o deslocamento, deve-se assegurar que as bobinas estejam devidamente fixadas para evitar movimentos bruscos que possam causar danos. (Neoplastic, 2019)

Essas medidas são essenciais para garantir que as geomembranas cheguem ao seu destino em perfeito estado, preservando suas propriedades e garantindo sua eficiência na aplicação. O cuidado no transporte reflete-se diretamente na qualidade e durabilidade do produto final, sendo, portanto, um aspecto crucial no manejo de geomembranas de PEAD. (Neoplastic, 2019)

Figura 16: Descarregamento/carregamento de bobinas de geomembranas



Fonte: Neoplastic, 2019

No transporte em caminhões ou carretas, se houver necessidade de empilhamento, deve-se utilizar separadores de apoio de madeira, como pinho, eucalipto vermelho ou material similar. Esses separadores devem ter um comprimento igual à largura da carroceria do veículo, medindo 2,44 metros de comprimento, 4 polegadas de largura e com espessura de 1 ou 2 polegadas. Para cada camada de produtos, deve-se usar três pranchas de madeira, colocadas de maneira equidistante ao longo do plano formado pelas bobinas na camada inferior. Quando forem transportadas bobinas de diferentes diâmetros e pesos, é recomendável formar a camada inferior com as bobinas de maior diâmetro e peso. O descarregamento das bobinas de geomembrana no local da obra deve ser realizado preferencialmente com empilhadeiras ou equipamentos similares, que permitam o içamento e movimentação segura do material. O procedimento de içamento deve seguir os mesmos cuidados adotados durante o carregamento dos veículos de transporte.

Se não houver disponibilidade de equipamentos para movimentação das bobinas no descarregamento, é possível utilizar pranchas de madeira como rampas. Com o auxílio de cintas ou cordas não metálicas, as bobinas podem ser roladas da carroceria do caminhão até o local de estocagem. Essas práticas garantem a segurança e a integridade das geomembranas durante todo o processo de transporte e movimentação.

(Goiás Impermeabilizações 2022)

Cabe ressaltar que as bobinas nunca devem ser arrastadas e/ou jogadas no chão.

3.3.1 Estocagem

As geomembranas de PEAD, devido às suas propriedades, podem ser armazenadas ao ar livre. Isso se deve à sua alta resistência aos raios ultravioleta, garantida por aditivos químicos específicos. Entretanto, se o material for ficar exposto por períodos prolongados, é recomendável cobrir as bobinas com uma lona de 200 micras para proporcionar proteção adicional. No momento do recebimento do material na obra, é crucial realizar uma inspeção visual cuidadosa da parte externa das bobinas. Esse exame deve ser feito sem desenrolá-las, a menos que haja suspeita de danos ou defeitos no interior. Durante a inspeção, deve-se assegurar que não haja perfurações, bolhas, cortes ou rachaduras que ultrapassem a primeira volta de proteção, garantindo assim a integridade do material antes de seu uso.

Para a estocagem, é essencial escolher locais com um chão firme e plano, o que facilita a movimentação da carga e minimiza as deformações nos rolos de geomembrana de PEAD. Além disso, a superfície deve estar livre de pedras, pregos e outros materiais pontiagudos que possam causar danos às bobinas. Recomenda-se usar quatro vigas de madeira (com dimensões de 8 x 8 cm) como berço de apoio, o que facilita a movimentação dos rolos durante o armazenamento. O empilhamento das bobinas deve seguir as orientações de segurança, não ultrapassando três bobinas na vertical (uma sobre o berço e duas acima) ou conforme as recomendações específicas do fabricante. Além disso, é importante evitar o armazenamento das bobinas próximas a agentes químicos agressivos e fontes de calor, pois isso pode comprometer a qualidade e a durabilidade do material.

Essas práticas garantem que as geomembranas de PEAD sejam mantidas em condições ideais, preservando suas propriedades e assegurando que estejam em perfeito estado para aplicação quando necessário. (Neoplastic, 2019)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de geomembranas em obras de engenharia civil representa um avanço significativo na implementação de soluções eficazes e sustentáveis para desafios de impermeabilização e contenção. Este trabalho de conclusão de curso mostrou detalhadamente as múltiplas vantagens oferecidas por esses materiais, destacando sua capacidade de proporcionar excelente impermeabilidade, durabilidade e versatilidade. Esses atributos tornam as geomembranas essenciais em diversas aplicações, incluindo o controle de efluentes, a contenção de resíduos e a proteção de recursos hídricos.

As vantagens das geomembranas são numerosas e incluem a resistência a produtos químicos, a flexibilidade para se adaptar a diferentes contornos do terreno e a facilidade de instalação em comparação com métodos tradicionais de impermeabilização. No entanto, é crucial reconhecer que a eficácia das geomembranas está intrinsecamente ligada à observância rigorosa das práticas recomendadas para seu transporte, armazenamento e instalação. O cumprimento das normas técnicas, como a GRI-GM19, e a atenção aos detalhes em cada etapa do processo são fundamentais para garantir que as geomembranas desempenhem suas funções de maneira confiável e duradoura.

O processo de instalação deve ser conduzido com extremo cuidado, assegurando que a superfície esteja adequadamente preparada e que as emendas sejam realizadas com precisão. A resistência das soldas, por exemplo, deve ser rigorosamente testada para evitar

falhas que possam comprometer a integridade do sistema de contenção. Além disso, o investimento inicial mais elevado na aquisição e instalação das geomembranas é amplamente compensado pela durabilidade e pelo baixo custo de manutenção a longo prazo, destacando-se como uma solução econômica e eficaz.

A conscientização sobre os impactos ambientais associados à produção e ao descarte de geomembranas é igualmente importante. A indústria tem avançado na direção de desenvolver materiais que minimizem esses efeitos, contribuindo para a sustentabilidade das soluções oferecidas. A gestão adequada do ciclo de vida das geomembranas, desde a produção até o descarte, é essencial para mitigar os impactos ambientais e maximizar os benefícios ecológicos de sua utilização.

Concluindo, as geomembranas emergem como uma ferramenta poderosa na engenharia moderna, proporcionando soluções robustas e sustentáveis para desafios complexos de contenção e impermeabilização. A contínua evolução tecnológica e o compromisso com as melhores práticas garantirão que esses materiais continuem a desempenhar um papel vital na proteção ambiental e na segurança das obras de engenharia. É imperativo que os profissionais da área se mantenham atualizados e comprometidos com a excelência na utilização das geomembranas, assegurando assim a integridade e a sustentabilidade dos projetos futuros.

Em suma, a incorporação de geomembranas em projetos de engenharia civil não apenas representa um avanço técnico significativo, mas também um compromisso com a inovação e a sustentabilidade. O sucesso na aplicação dessas soluções depende do conhecimento técnico, da atenção aos detalhes e do compromisso contínuo com a melhoria das práticas industriais. A engenharia do futuro deve, portanto, integrar essas tecnologias de forma holística, promovendo a sustentabilidade e a resiliência das infraestruturas que sustentam nossas comunidades e nosso meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS

Zavarize Erik, SCRIBID, **ABNT NBR 16199/2020**, 25 de junho de 2023 disponível em: <https://pt.scribd.com/document/655335849/ABNT-NBR-16199-2020>. Acesso em 20/03/2024

Silva, A. B., & Ferreira, C. D. (2017). Impermeabilização de estruturas de concreto armado: uma revisão sobre métodos e materiais. *Revista de Engenharia Civil*, 25(2), 84-96.

ENGEPOL GEOSSINTÉTICOS, Geomembrana PEAD e as suas Informações para o uso e instalação, Canoas -RS, 21 de fevereiro de 2022, disponível em <https://engepol.com/geomembrana-pead-e-as-suas-informacoes-de-uso-e-instalacao/?unapproved=626&moderation-hash=f03468a3d035b887fc20af1a32f2c1f7#comment-626>. Acesso em 26 de maio 2024

Neoplastic, Geomembrana de Polietileno de Alta Densidade, Franco da Rocha -SP, 14 de nov. de 2019, disponível em: <https://cromelec.com.br/wp-content/uploads/2019/10/FOLDER-NEOPLASTIC.pdf>. Acesso em 26 de maio de 2024

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575. Impermeabilização e Seleção de Projetos Impermeáveis – Apresentação. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16199-2013. Geomembranas termoplásticas – Instalação em obras geotécnicas e de saneamento ambiental – Apresentação. Rio de Janeiro, 2013a.

ARANTES, Y. de K. Uma Visão Geral sobre Impermeabilização na Construção Civil. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 81 p. Disponível em: http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/monografia_Impermeabiliza%E7%E3o.pdf. Acesso em 25 de março de 2024.

COLMANETTI, J. P. Estudos sobre a Aplicação de Geomembranas na Impermeabilização da face de Montante de Barragens de Enrocamentos. Brasília: UdB, 2006. 40 e 43 p. Disponível em: https://www.google.com/search?q=COLMANETTI%2C+J.+P.+Estudos+sobre+a+Aplicação+de+Geomembranas+na+Impermeabilização+da+face+de+Montante+de+Barragens+de+Enrocamentos.+Brasília+UdB%2C+2006.+40+e+43&oq=COLMANETTI%2C+J.+P.+Estudos+sobre+a+Aplicação+de+Geomembranas+na+Impermeabilização+da+face+de+Montante+de+Barragens+de+Enrocamentos.+Brasília+UdB%2C+2006.+40+e+43&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCTE5NDNqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8. Acesso em 15 de abril de 2024.

DUARTE, A. P. Classificação das Barragens de Contenção de Rejeitos de Mineração e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais em relação ao Potencial de Risco. Belo Horizonte: UFMG, 2008. 103 p. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/502M.PDF>>. Acesso em 15 de abril de 2024.

FELDKIRCHER, W. Impermeabilização de Aterro Sanitário com Geomembrana. Itatiba/SP: USF, 2008. 51 p. Disponível em: lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1193.pdf>. Acesso em 16 de abril 2024.

IBI – INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. Referência técnica do setor de impermeabilização e especialidades químicas, contribuindo para que toda a cadeia produtiva ofereça materiais e serviços de qualidade. Estudar questões técnicas visando interesse público e avanço tecnológico com consequente desenvolvimento do setor. NBR'S 13531:1995, NBR 9575:2003. – Apresentação. São Paulo SP, 2003a.

LEITE, W. P. Recuperação e Recirculação de Água no Processamento Mineral. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 01 p e 06. Disponível em: <http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/45.PDF>>. Acesso em 17 de abril 2024.

MIRANDA, M. Avaliação de Processo Difusivo de Geomembranas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD). Bauru SP, 2018. 36 p. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154586/miranda_m_me_bauru.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em 20 de março de 2024.

RAMOS, C.J. METODOLOGIA PARA CONTROLE OPERACIONAL DE BARREIRAS GEOSSINTÉTICAS EMPREGADAS EM DEPÓSITOS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO. Ouro Preto: MG, UFOP, 2013. 7.8.11.P. Disponível em < https://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/dissertacao_metodologiacontroleoperacional.pdf>. Acesso em 18 de março 2024.

REBELO, K. M. W. Avaliação de Camada de Proteção para Geomembranas de PVC e PEAD. São Paulo: USP, 2009. 67 p. Disponível em < www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde.../Tese_REBELO.pdf >. Acesso em 05 de março de 2024.

SOARES, F. F. A Importância do Projeto de Impermeabilização em Obras de Construção Civil. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. 92 p. Disponível em < monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012331.pdf>. Acesso em 03 de março de 2024.

GOIAS IMPERMEABILIZAÇÕES, Geomembrana e todas as suas informações de uso, 16 de setembro de 2022. Disponível em: <https://goiasimpermeabilizacoes.com.br/manutencao/geomembrana-pead-e-todas-as-suas-informacoes-de-uso/>. Acesso em 13 de junho de 2024

PALMEIRAS, E. M. (2018). Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente. Oficina de Textos.

VERTEMATTI, J. C. (2015). Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Blucher.