



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMILA SILVA CASTELO BRANCO

**APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS
CONTAMINADAS POR ATIVIDADES INDUSTRIAIS**

JOÃO PESSOA

2020

CAMILA SILVA CASTELO BRANCO

**APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS
CONTAMINADAS POR ATIVIDADES INDUSTRIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como um dos
pré-requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr. Aline Flávia Nunes
Remígio Antunes

JOÃO PESSOA

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B816a Branco, Camila Silva Castelo.

Aplicação de Geossintéticos na Remediação de Áreas
Contaminadas por Atividades Industriais / Camila Silva
Castelo Branco. - João Pessoa, 2020.

62 f. : il.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Geossintéticos. 2. Áreas Contaminadas. 3.
Indústrias. 4. Meio Ambiente. I. Título

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

CAMILA SILVA CASTELO BRANCO

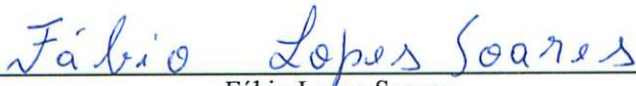
APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR ATIVIDADES INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso em 01/04/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



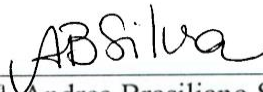
Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, por todo o apoio e compreensão durante a longa jornada que foi a graduação. Por ter acreditado em mim e por todo sacrifício para que meus estudos fossem possíveis.

Aos meus animais de estimação pelo amor incondicional, carinho e companhia nas inúmeras noites de estudos.

Aos meus colegas de estudos, que foram fundamentais durante toda a graduação, que me acompanharam e ajudaram durante os momentos de dúvidas e dificuldades. Vocês foram responsáveis por tornar tudo mais leve.

À minha orientadora Aline Remígio, pelo direcionamento e cuidado na orientação desse trabalho e por ser além de professora, uma educadora. Assim como, aos professores Fábio Lopes e Clóvis Dias, por aceitarem o compromisso de participar na avaliação desse trabalho.

À equipe da Huesker Brasil pela disponibilidade e informações passadas.

Aos meus amigos, por cada palavra de incentivo, cada risada e todos os momentos de distração que tornaram esse caminho mais fácil.

A todos, o meu muito obrigada.

*“Por ser estreita a fenda - eu não declino,
Nem por pesada a mão que o mundo espalma,
Eu sou o senhor do meu destino,
Eu sou o capitão da minha alma.”*

William E. Henley

RESUMO

A contaminação de solos e corpos de água causa prejuízos que podem destruir ecossistemas inteiros. Este trabalho apresenta os impactos negativos gerados pela contaminação de áreas por atividades industriais e como os geossintéticos podem diminuir os danos causados por tais atividades. O estudo de caso da cidade de Santo Amaro contaminada por resíduos de chumbo e mercúrio é um exemplo de como a irresponsabilidade de empresas pode causar impactos negativos graves à saúde do ser humano. O estudo de caso do Rio Paraíba do Sul é apresentado para mostrar como o meio ambiente está vulnerável às ações inconsequentes de companhias sem responsabilidade ambiental. Dada a importância da necessidade de proteger o meio ambiente, os geossintéticos surgem como uma alternativa inovadora, eficiente e barata para recuperar locais contaminados por resíduos industriais com alto potencial contaminante como óleo, chumbo, mercúrio, urânio, zinco, entre outros. O projeto de descontaminação do aterro industrial K20 na Áustria se mostra um exemplo de eficiência e praticidade da combinação de geossintéticos como geocompostos, geogrelhas e geomembranas quanto à recuperação de locais contaminados. Os geocompostos Tektoseal Active surgem como uma criação altamente inovadora e versátil capaz lidar com qualquer tipo de contaminação industrial que possa surgir. Com isso, conclui-se que há a urgente necessidade da inserção desses produtos como uma alternativa de remediação durante o gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil.

Palavras-chaves: Geossintéticos, Áreas Contaminadas, Meio Ambiente, Indústria, Contaminação.

ABSTRACT

Contamination of soils and bodies of water causes damage that can destroy entire ecosystems. This work presents the negative effects generated by the contamination of areas by industrial activities and how geosynthetics can suffer damage caused by these activities. The case study of the city of Santo Amaro contaminated by lead and mercury residues is an example of how the irresponsibility of companies can cause serious negative damage to human health. The Paraíba do Sul River case study is presented to show how the environment is vulnerable to inconsequential actions by companies without environmental responsibility. Given the importance of the need to protect the environment, geosynthetics emerge as an innovative, efficient and inexpensive alternative to recover places contaminated by industrial waste with high contaminating potential such as oil, lead, mercury, uranium, zinc, among others. The decontamination project for the K20 industrial landfill in Austria shows an example of the efficiency and practicality of combining geosynthetics such as geocomposites, geogrids and geomembranes for the recovery of contaminated sites. Tektoseal Active geocomposites appear as a highly innovative and versatile creation capable of dealing with any type of industrial contamination that may arise. With that, it is concluded that there is an urgent need to insert these products as an alternative of correction during the management of contaminated areas in Brazil.

Keywords: Geosynthetics, Contaminated Areas, Environment, Industry, Contamination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Manta Geotêxtil Não-Tecido	16
Figura 2 - Geotêxtil Tecido Basetrac Woven	17
Figura 3 - Geotêxtil Tricotado	17
Figura 4 - Geogrelha Extrudada	18
Figura 5 - Geogrelha Soldada	19
Figura 6 - Geogrelha Tecida	19
Figura 7 - Geomembrana lisa	20
Figura 8 - Geotubo PEAD	21
Figura 9 - Desenho esquemático de georrede	21
Figura 10 - Geocélula aplicada em talude	22
Figura 11 - Geocélula aplicada em reforço de solo	23
Figura 12 - Geocomposto drenante formado por georrede e geotêxtil não-tecido	23
Figura 13 - Geossintético exercendo a função de separação	24
Figura 14 - Geossintético exercendo a função de reforço	25
Figura 15 - Geossintético separando pavimento fissurado e revestimento novo	26
Figura 16 - Geossintético exercendo a função de filtro	26
Figura 17 - Exemplo de aplicação de geotêxtil de filtragem em aterros	27
Figura 18 - Geossintético exercendo a função de drenagem	28
Figura 19 - Geossintético exercendo a função de barreira	29
Figura 20 - Geossintético exercendo a função de proteção	29
Figura 21 - Geossintético exercendo a função de controle de erosão	30
Figura 22 - Atividades de áreas contaminadas no Estado de São Paulo	39
Figura 23 - Escória de chumbo desencavado em obra no Centro de Santo Amaro	41
Figura 24 - Rompimento de barragem de areia em Jacareí	42
Figura 25 - Mancha de óleo aparece às margens do Rio Paraíba do Sul, em Barra Mansa	43
Figura 26 - Aplicações do Tektoseal Active AS	45
Figura 27 - Cortina de absorção de óleo na água feita com geocomposto de carvão ativado	46
Figura 28 - Aplicações do Tektoseal Active AC	47
Figura 29 - Encapsulamento em leitos de corpos d'água	48
Figura 30 - Aplicações do Tektoseal Active CP	49
Figura 31 - Camadas do geocomposto Tektoseal Active CP	50
Figura 32 - Área contaminada K20	51

Figura 33 - Tektoseal Active AC aplicado no local contaminado.....	52
Figura 34 - Instalação do sistema de cobertura	52
Figura 35 - Desenho esquemático da vedação da superfície	53
Figura 36 - Projeto de remediação finalizado.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Propriedades do geocomposto Tektoseal Active AS.....	45
Quadro 2 - Propriedades do geocomposto Tektoseal Active AC.....	47
Quadro 3 - Propriedades do geocomposto Tektoseal Active CP.....	49

LISTA DE SIGLAS

ABINT	Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AVICCA	Associação das Vítimas por Contaminação por Chumbo e Mercúrio da Bahia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COBRAC	Companhia Brasileira de Chumbo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSN	Companhia de Siderúrgica Nacional
DVP	Drenos Verticais Pré-fabricados
GCL	Geocomposto Argiloso
IGS	Associação Brasileira de Geossintéticos
PMBM	Prefeitura Municipal de Barra Mansa
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos.....	13
2	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	GEOSSINTÉTICOS.....	15
3.1.1	Classificação.....	16
3.1.2	Funções.....	24
3.1.3	Propriedades	30
3.2	GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	33
4	METODOLOGIA DO TRABALHO	36
5	ÁREAS CONTAMINADAS POR INDÚSTRIAS.....	37
5.1	ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SANTO AMARO - BA.....	40
5.2	ESTUDO DE CASO DO RIO PARAÍBA DO SUL	41
6	GÉOSSINTÉTICOS UTILIZADOS NA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR ATIVIDADES INDUSTRIAIS.....	44
6.1	GEOCOMPOSTO TEKTOSEAL ACTIVE.....	44
6.1.1	Tektoseal Active AS	44
6.1.2	Tektoseal Active AC.....	46
6.1.3	Tektoseal Active CP	48
6.2	APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NA DESCONTAMINAÇÃO DE ATERRO INDUSTRIAL ..	50
7	CONCLUSÃO	55
8	REFERÊNCIAS	56
	ANEXOS	5960

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, é denominada área contaminada qualquer local que contenha concentrações de substâncias poluentes que possam causar prejuízos à saúde dos seres humanos, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger. Tais substâncias contaminadas podem se espalhar através do próprio meio em que se encontram, como também por diversos outros como o ar, águas subterrâneas e o solo.

Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81), são considerados bens a proteger:

- i. A saúde e o bem-estar da população;
- ii. A fauna e a flora;
- iii. A qualidade do solo, das águas e do ar;
- iv. Os interesses de proteção à natureza/paisagem;
- v. A ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- vi. A segurança e ordem pública.

Nos últimos anos do século XX e início do século XXI, a criação de políticas governamentais favoráveis impulsionou o desenvolvimento da industrialização brasileira, conseqüentemente, ela obteve um crescimento vertiginoso em muito pouco tempo. Com isso muitos complexos industriais começaram a se instalar no país.

Os processos de produção industrial passam por mudanças significativas a todo o momento e o desenvolvimento tecnológico acelerado acaba tornando obsoletas atividades que há pouco eram consideradas imprescindíveis ao mercado. Em decorrência disso, o número de estabelecimentos industriais desativados ou fechados tornou-se cada vez maior. Esse dinamismo ocorre há várias décadas em diversos setores, como por exemplo, o da indústria têxtil (Sánchez, 2001).

Locais usados para fins industriais muitas vezes são abandonados sem qualquer tratamento ou remoção de resíduos poluentes. Essas áreas podem conter fontes de contaminação no solo, nas paredes, nos pisos e até mesmo nas águas subterrâneas. Como resultado, populações vizinhas ficam expostas a agentes nocivos à saúde, além de possíveis danos ambientais. Segundo dados da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São

Paulo), só no Estado de São Paulo no ano de 2019, haviam 4.510 áreas cadastradas como contaminadas (em estado de investigação, remediação ou reutilização) e 1.775 áreas já reabilitadas para uso declarado.

Dada essa problemática, uma alternativa eficaz e de uso crescente na remediação de áreas contaminadas ao redor do mundo é a utilização de geossintéticos. Introduzidos no Brasil no final dos anos de 1970 e início dos anos de 1980, esse material vem sendo desenvolvido e tem ajudado a Engenharia Civil a se modernizar, no sentido de melhoria da qualidade, aumento da vida útil da obra, melhor trabalhabilidade, maior rapidez e menores custos (ABINT, 2004). Com isso, buscou-se investigar quais os geossintéticos e qual a melhor forma de aplicação dos mesmos nas resoluções dos problemas de contaminações industriais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Evidenciar a importância do uso de geossintéticos na recuperação de áreas contaminadas por complexos industriais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para a obtenção do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- i. Apresentar estudos de caso de contaminações remediadas com o uso de geossintéticos.
- ii. Orientar a escolha correta de geossintéticos na remediação de contaminações.
- iii. Estimular a introdução do uso de geossintéticos na aplicação de remediação de áreas contaminadas por indústrias no Brasil.

2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O seguinte trabalho é composto por 7 capítulos:

No capítulo 1 a introdução do trabalho apresenta a problemática causada pelo desenvolvimento crescente de indústrias pelo mundo, consequências desse crescimento, além de introduzir a solução sugerida para tais problemas. Os objetivos gerais e específicos também são apontados nesse capítulo. O capítulo 2 mostra a forma como o trabalho está organizado.

O capítulo 3 se refere à revisão bibliográfica, onde o material de estudo do trabalho é apresentado em todas as suas variações, propriedades, funções e vantagens. Nele também é explicado como é feito o gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil. O capítulo 4 apresenta a metodologia do trabalho.

O capítulo 5 explica como se deu o início dos problemas ambientais causados por indústrias no Brasil, como se encontra a situação atual e quais as medidas estão sendo tomadas para tentar reverter esse quadro. Nele também são apresentados estudos de caso de contaminações ocorridas no País.

No capítulo 6 é apresentado uma classe inovadora de geossintéticos muito eficiente na resolução dos problemas retratados no capítulo anterior, suas características, propriedades, vantagens e exemplos de aplicação.

O capítulo 7 traz as considerações finais a respeito do trabalho desenvolvido, nele é feita uma análise geral do assunto de acordo com os objetivos traçados no início do trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GEOSSINTÉTICOS

Geossintéticos são produtos poliméricos industrializados utilizados para solucionar problemas em obras de proteção ambiental e geotécnicas. Esses produtos podem ser utilizados em uma grande variedade de aplicações, tais como reforço (estruturas de contenção, taludes íngremes ou aterros sobre solos moles) ou estabilização de solos, drenagem, filtração, barreiras para fluidos e gases, controle de erosão, barreira de sedimentos, proteção ambiental, remediação de áreas contaminadas, etc. Sua natureza sintética os torna próprios para uso em obras onde um alto nível de durabilidade é obrigatório.

Sua invenção se deu após a Segunda Guerra Mundial com o desenvolvimento da indústria petroquímica. Apesar de não ser um material tão novo, foi apenas nos anos de 1990 que sua utilização foi impulsionada e houve o surgimento de uma maior gama de variedade de produtos. No Brasil, o emprego de geossintéticos, embora acelerado nas últimas duas décadas, ainda pode ser considerado tímido em comparação ao de países desenvolvidos, e até inferior ao de países com economias ou extensões territoriais menores (Palmeira, 2018). Suas principais vantagens são:

- i. Versatilidade, o que permite a disponibilização constante de novos produtos, com propriedades que atendem necessidades específicas de cada projeto;
- ii. A confiabilidade de produtos com controle industrial capazes de suportar solicitações extremas;
- iii. Menos tempo de execução de obras, devido à facilidade de instalação;
- iv. Preservação de recursos naturais, por serem produtos alternativos aos materiais naturais como solos e materiais granulares;
- v. Baixo custo.

Nas últimas décadas, os geossintéticos vêm desempenhando um papel fundamental, substituindo e aprimorando técnicas existentes, permitindo associações com solos e agregados, resultando em soluções mais rápidas, mais leves, mais esbeltas, mais confiáveis e mais econômicas (Vertematti, 2004).

3.1.1 Classificação

A classificação desses produtos é feita levando em consideração fatores como seu processo de fabricação, a função que desempenha e sua estrutura física. Os principais tipos de geossintéticos são denominados e apresentados a seguir de acordo com a NBR ISO 10318-1:2018.

- **Geotêxtil**

Produto têxtil bidimensional com fibras contínuas, permeável, polimérico (sintético ou natural), composto de fibras cortadas, monofilamentos, laminetes ou fios. É utilizado em diversos tipos de funções, pois possui uma versatilidade muito grande. Muito usado na construção de estradas, vias férreas e túneis subterrâneos. De acordo com sua fabricação pode ser:

a) **Geotêxtil Não-tecido**

Seus filamentos são distribuídos de forma aleatória. Um exemplo desse tipo de geossintético é visto na Figura 1. Dependendo do seu processo de interligação pode ser subclassificado:

- Agulhado: fibras são ligadas mecanicamente por processo de agulhagem.
- Termoligado: as fibras são interligadas por fusão parcial por meio de aquecimento.
- Resinado: fibras são interligadas com produtos químicos.

Figura 1 - Manta Geotêxtil Não-Tecido



Fonte: Dalagro, 2018.

b) Geotêxtil Tecido

Seus filamentos são distribuídos de forma organizada segundo direções preferenciais de fabricação, denominadas trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal). Na Figura 2 é mostrado um exemplo desse produto.

Figura 2 - Geotêxtil Tecido Basetrac Woven

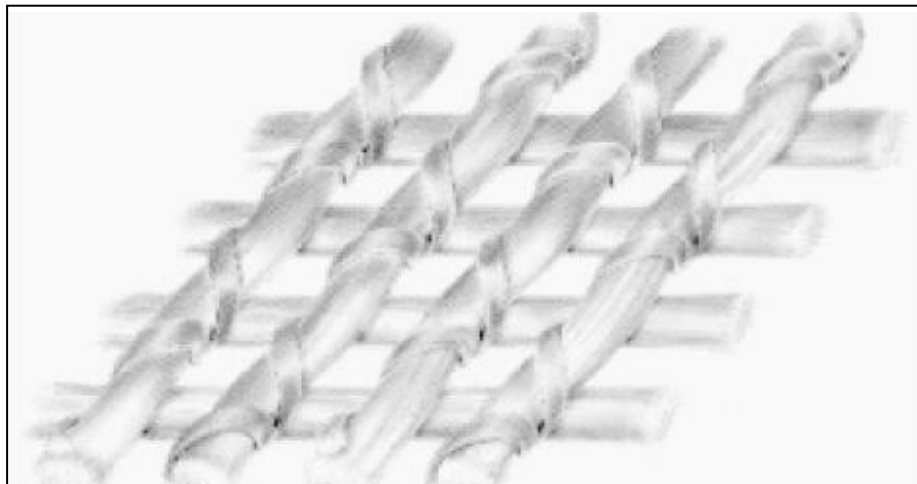


Fonte: Huesker, 2019.

c) Geotêxtil Tricotado

Filamentos são entrelaçados por tricotamento. Um exemplo desse tipo de geossintético pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Geotêxtil Tricotado



Fonte: ABINT, 2001.

- **Geogrelha**

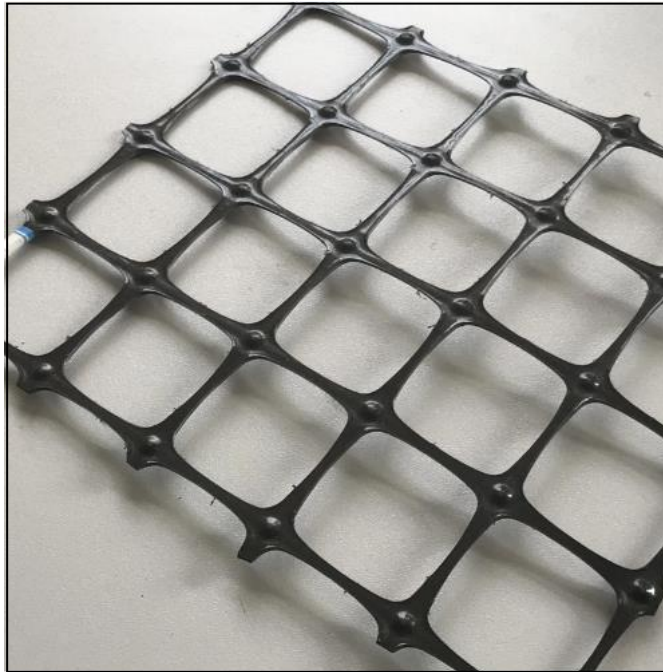
Como o próprio nome diz, trata-se de produto em formato de grelha, sua função predominante é de resistência à tração. Suas aberturas permitem uma eficaz interação com o meio, especialmente quando este é granular, proporcionando confinamento.

De acordo com seu processo de manufatura, pode ser subclassificada em:

a) **Geogrelha Extrudada**

Obtida por meio de extrusão, seu estiramento pode ser unidirecional ou bidimensional. Um exemplo desse produto pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Geogrelha Extrudada

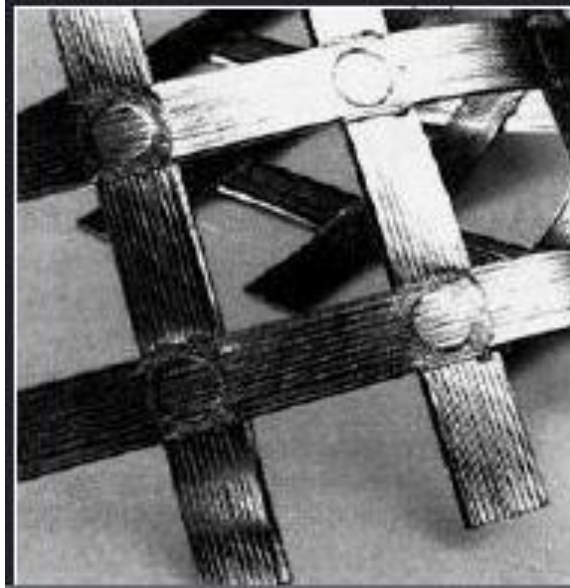


Fonte: FeichengLianyi Engineering Plastics, 2019.

b) **Geogrelha Soldada**

Geotiras de filamentos de poliéster são soldadas nas juntas e recobertas por capas protetoras. Na figura 5 é mostrado um exemplos desse tipo de geogrelha.

Figura 5 - Geogralha Soldada

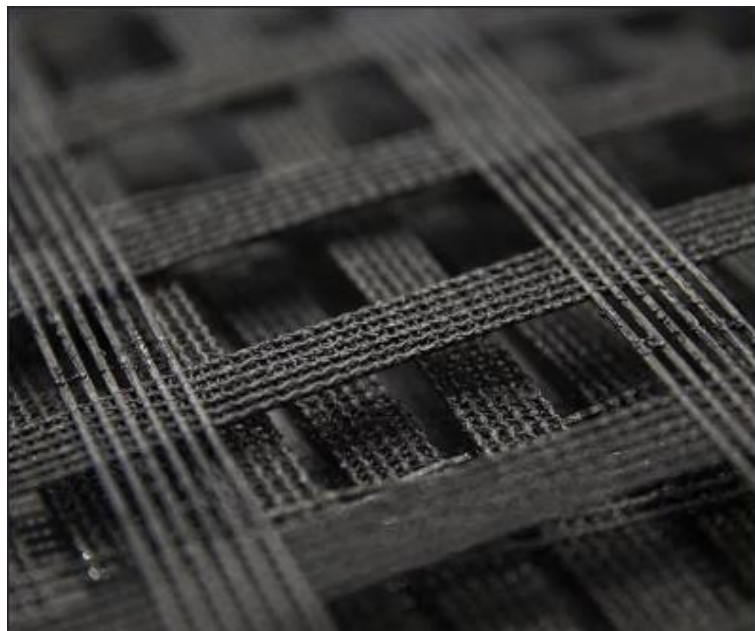


Fonte: Sierra, 2003.

c) Geogrelha Tecida

Constituídas de fibras sintéticas tecidas nas juntas e recobertas por capa protetora. Um exemplo desse geossintético pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Geogrelha Tecida



Fonte: Geosolução, 2019.

- **Geomembrana**

A geomembrana, mostrada na Figura 7, é produzida em forma de lâmina, possui baixíssima permeabilidade e desempenha principalmente papel de barreira e separação. Pode possuir superfície lisa ou rugosa. Aplica-se em aterros, reservatórios, canais e outras instalações para contenção de líquidos.

Figura 7 - Geomembrana lisa



Fonte: Embu Geomembrana PEAD, 2016.

- **Geotubo**

Geotubo é um tubo polimérico utilizado para drenagem de líquidos ou gases e pode conter perfurações para a confecção de drenos. É de fácil instalação e possui boa resistência a ataques químicos e biológicos, o que impulsionou sua utilização em obras de disposição de resíduos. Um exemplo desse produto pode ser visto na Figura 8:

Figura 8 - Geotubo PEAD

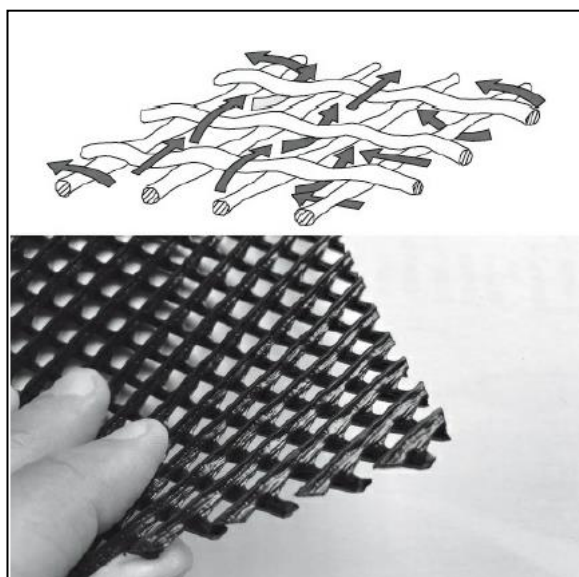


Fonte: Campos e Panta, 2016.

- **Georrede**

Possui aparência semelhante a da geogrelha, é confeccionada de modo a ter grande volume de vazios. Enquanto que as geogrelhas têm como funções primordiais baseadas no reforço, as georredes destinam-se às funções de drenagem (MEDEIROS, 2019). Na Figura 9, pode ser visto o detalhamento do entrelaçamento de suas fibras.

Figura 9 - Desenho esquemático de georrede



Fonte: Maccaferri, 2017.

- **Geocélula**

São geossintéticos com estrutura tridimensional aberta, que confinam mecanicamente os materiais. As células formadas pelas ligações podem ser preenchidas com solo, areia ou brita, dependendo da disponibilidade e finalidade a que se destina. Possuem função predominantemente de reforço e controle de erosão. Na Figura 10, geocélulas são utilizadas para estabilização de talude:

Figura 10 - Geocélula aplicada em talude



Fonte: ArchiExpo, 2015.

Na Figura 11 pode-se ver geocélulas preenchidas com solo para dar reforço ao solo:

Figura 11 - Geocélula aplicada em reforço de solo

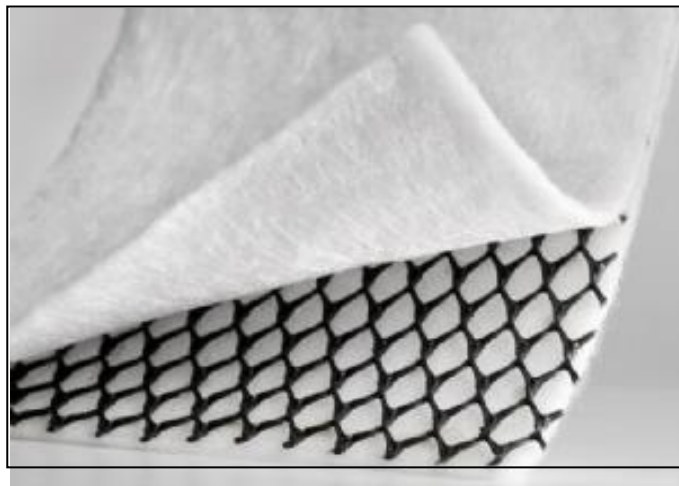


Fonte: Ecosalix – Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, 2010

- **Geocomposto**

Formado pela associação de dois ou mais geossintéticos como, por exemplo: geotêxtil-geogrelha e georrede-geomembrana. Quando fabricados com uma camada de bentonita incorporada entre suas camadas, são chamados de geocompostos argilosos (GCL's). Um exemplo desse tipo de geossintético pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Geocomposto drenante formado por georrede e geotêxtil não-tecido



Fonte: Eco engenharia e distribuição, 2015.

3.1.2 Funções

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geossintéticos (IGS), as funções primárias dos geossintéticos se resumem a: separação, filtração, reforço, proteção, drenagem, e barreira. É importante ressaltar que uma camada desses geossintéticos pode desempenhar uma ou mais funções em uma mesma obra. Abaixo temos o detalhamento de cada função seguido de exemplos de aplicações, de acordo com a NBR ISO 10318-1:2018.

- **Separação**

Muitas vezes em uma obra é preciso que camadas de solos adjacentes de diferentes granulometrias ou tipos mantenham-se separados para garantir a integridade do projeto. Para isso se faz necessário o uso de um separador físico, como pode ser visto na Figura 13, que impeça sua mistura, contato ou até mesmo contaminação entre eles.

Figura 13 - Geossintético exercendo a função de separação



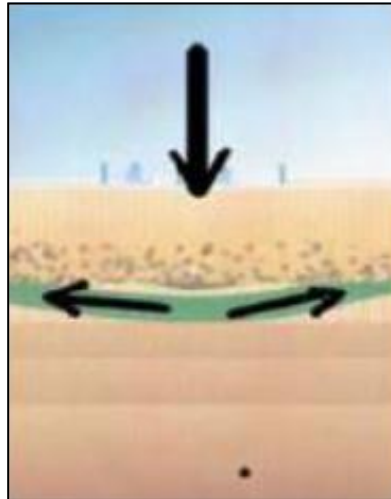
Fonte: Duarte, 2009.

- Geossintéticos utilizados: geotêxtil, geomembrana, geogrelha.
- Exemplos de aplicações: geotêxtil é utilizado na construção de estradas, sendo introduzido para impedir que materiais da base penetrem no solo mole de camadas subjacentes; evita “bombeamentos” de finos para o interior da camada granular permeável de estradas.

- **Reforço**

A camada de geossintético reforça um maciço de solo, como mostra a Figura 14, proporcionando menor deformabilidade e maior resistência mecânica na estrutura geotécnica. Muito utilizado em solos que não apresentam boa resistência à tração, o geossintético melhora a capacidade do solo dando maior capacidade de estabilidade e suporte (Duarte, 2009). Isso acontece porque o material atua como um distribuidor das cargas em uma superfície maior.

Figura 14 - Geossintético exercendo a função de reforço



Fonte: Duarte, 2009.

- ✓ Geossintéticos utilizados: geotêxtil, geogrelha, geocélula.
- ✓ Exemplos de aplicações: geotêxtil intercalando entre pavimentos fissurado e revestimento novo em obras de restauração de pavimentos, como pode ser visto na Figura 15; dá reforço à base de pavimentos evitando problemas como afundamento de trilha de roda e trincamento por fadiga; possibilita a construção de aterros e muros íngremes sobre fundações de solo moles.

Figura 15 - Geossintético separando pavimento fissurado e revestimento novo



Fonte: Huesker, 2018.

- **Filtração**

O geossintético desempenha o mesmo papel de um filtro de areia convencional, ou seja, permite a passagem de líquidos enquanto impede a passagem de partículas de solo, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Geossintético exercendo a função de filtro



Fonte: Duarte, 2009.

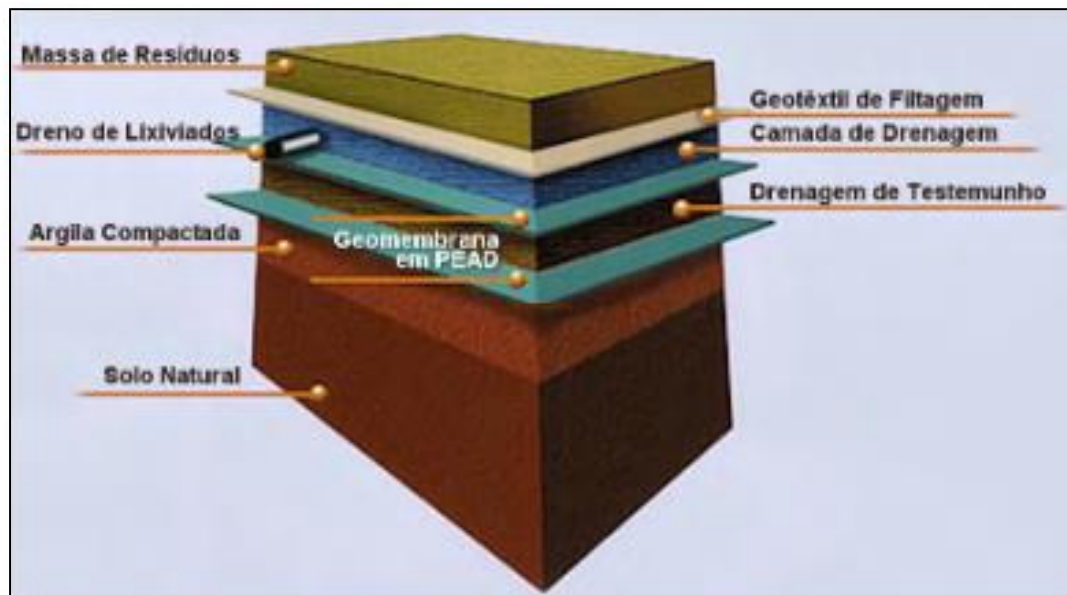
De acordo com Vertematti e Aguiar (2004), as principais vantagens do uso de geossintéticos como substitutos dos filtros granulares são:

- i. A espessura do filtro é menor;
- ii. Possui controle de qualidade por se tratar de um produto industrial;
- iii. Baixo custo;
- iv. Facilidade de instalação;
- v. Continuidade da estrutura filtrante, mesmo com a ocorrência de recalques.

Os geossintéticos são bem aceitos e muito utilizados em obras de barragens, proteções costeiras e marinas, obras em margens de rios, estruturas rodoferroviárias, etc. Na Figura 17 é mostrado um desenho esquemático da utilização desse produto exercendo a função de filtragem em aterros.

- Geossintéticos utilizados: Geotêxtil
- Exemplos de aplicações: evitam que o solo penetre no agregado drenante ou em tubulações, sem interferir no fluxo do sistema; também usados como filtro para reduzir o potencial poluente de resíduos e lixiviados em aterros.

Figura 17 - Exemplo de aplicação de geotêxtil de filtragem em aterros



Fonte: Duarte, 2009.

- **Drenagem**

Nesse caso, o geossintético recolhe e direciona fluídos para uma região apropriada através de solo com menor permeabilidade como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Geossintético exercendo a função de drenagem



Fonte: Duarte, 2009.

- Geossintéticos utilizados: geotêxtil, geotubo, geomantas, georredes.
- Exemplos de aplicações: geotêxtil usados para dissipar poro-pressão na base de aterros; uso de geocompostos na drenagem de fluxos mais elevados; drenagem de taludes e muros de contenção; drenos verticais pré-fabricados (DVP's) usados para acelerar a consolidação do solo mole de fundações de aterros.

- **Barreira (Contenção de fluidos/gases)**

Nesse caso, o material geossintético de baixa permeabilidade trabalha reduzindo ou prevenindo a percolação de fluidos através da estrutura, como pode ser visto na Figura 19. Esse tipo de aplicação é de extrema importância em obras hidráulicas e de proteção ambiental.

Figura 19 - Geossintético exercendo a função de barreira



Fonte: Adaptado de Duarte, 2009.

- Geossintéticos utilizados: geomembrana, geocomposto argiloso (GCL's), geotêxtil revestido.
- Exemplos de aplicações: exercem função de capa asfáltica de pavimentos; envelopamento de solos expansivos; contenção de resíduos.
- **Proteção**

O geossintético é aplicado para evitar ou reduzir a danificação de outra superfície, camada de solo ou até mesmo outro material geossintético, como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Geossintético exercendo a função de proteção



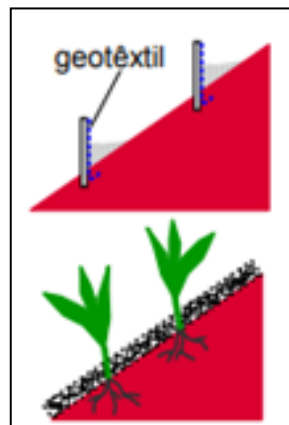
Fonte: Duarte, 2009

- Geossintéticos utilizados: geotêxtil, georrede, geocélula.
- Exemplos de aplicações: geotêxtil usado como camada protetora para evitar que haja furos na geomembrana em contato com pedregulhos.

- **Controle de Processo Erosivo**

Os geossintéticos são aplicados para minimizar os efeitos da erosão do solo causados por impacto da chuva e escoamento artificial em taludes e margens de rios. Para essa função, esses produtos podem ser divididos em dois grupos: os temporários e os permanentes. Sendo o segundo grupo constituído por material total ou parcialmente degradável (Theisen, 1992). Na Figura 21 um geotêxtil pode ser visto exercendo essa função.

Figura 21 - Geossintético exercendo a função de controle de erosão



Fonte: IGS, 2013.

- Geossintéticos utilizados: geotêxtil, geocélula, geomanta.
- Exemplo de aplicações: mantas ou colchões de geossintéticos dispostos ao longo de taludes.

3.1.3 Propriedades

Os geossintéticos podem desempenhar diversas funções em uma mesma obra de engenharia, para que desempenhe seu papel de forma eficaz é necessário que ele possua determinadas propriedades físicas, mecânicas, hidráulicas e de durabilidade que garantam sua

funcionalidade. São essas propriedades que determinam a seleção do produto adequado para cada situação.

Para identificar essas propriedades, devem ser realizados ensaios de campo ou de laboratório, que traduzam os aspectos importantes da interação do geossintético com o meio em que será inserido (Medeiros, 2019).

A seguir descrevem-se as propriedades mais importantes dos geossintéticos segundo Ferreira (2010).

- **Propriedades Físicas**

São determinadas por ensaios de caracterização. Muito importante, pois sua determinação é necessária para identificar se o produto está de acordo com o que foi especificado para o projeto em que será aplicado. São elas:

- i. Gramatura ou Massa por Unidade de Área (g/m^2): indicador de homogeneidade e qualidade de um geossintético.
- ii. Espessura Nominal (mm): distância entre sua superfície superior e inferior. Esta propriedade permite inferir acerca de outras propriedades mecânicas e hidráulicas de um geossintético e acerca da sua compressibilidade ao relacionar-se a espessura e a pressão correspondente.
- iii. Porosidade ou Densidade Relativa dos Polímeros (%): equivale aos espaços vazios resultantes do processo de fabricação. Pode ser usada para a identificação e controle de qualidade, pois é um indicador do tipo de polímero e permite saber se o geossintético flutua, aspecto importante em algumas aplicações.

- **Propriedades Mecânicas**

Importante para analisar a respostas dos geossintéticos às solicitações mecânicas as quais serão submetidos durante o período de vida útil da obra. São elas:

- i. Resistência à tração: a resposta de um geossintético às solicitações de tração depende de fatores como tipo de polímero, processo de fabricação e estrutura. Essa propriedade é analisada observando o gráfico que relaciona a força por unidade de largura e as deformações.
- ii. Resistência à penetração por punção: geossintéticos podem sofrer descontinuidades provenientes de uma perfuração ou punção quando em contato com grãos isolados. Propriedade importante para analisar a fragilidade do material quando sujeito a compressões ou a choques causados pela queda de materiais.
- iii. Resistência ao rasgamento: ensaio determina o maior valor de esforço de rasgamento que o geossintético suporta ao sofrer uma perfuração seguida de tração.
- iv. Resistência ao estouro: o estouro de um geotêxtil ou geomembrana pode acontecer quando ele é sujeito à expansão para dentro de um vazio. O ensaio analisa a resistência do material a esse tipo de solicitação.
- v. Fluência: tem relação com a suscetibilidade que um material tem ao alongamento quando é submetida a um carregamento estático de longa duração. Segundo Bush (1990), o nível de fluência de um material está diretamente relacionado à porcentagem de carga máxima e à temperatura em que ele se encontra.
- vi. Compressibilidade: análise da variação espessura do geossintético de acordo com diferentes tipos de carregamento aplicados a um corpo de prova.

- **Propriedades Hidráulicas**

Muito importante para geossintéticos usados em funções de barreira, filtração e drenagem. São elas:

- i. Permeabilidade Planar e Transmissividade: a transmissividade trata-se da capacidade que o geossintético tem de permitir que haja a passagem de fluido ao longo do seu próprio plano. A permeabilidade planar é função do esforço normal aplicado, à medida que o geossintético se comprime, a vazão no plano decresce. A transmissividade é determinada pelo produto da permeabilidade do plano e da espessura do material, sob determinada tensão normal de confinamento (Amaral, 2019).
- ii. Permeabilidade Normal a Água e Permissividade: depende da distribuição e dimensão das aberturas, é expressa em m/s. Propriedade muito importante quando o geossintético exerce a função de filtro (Ferreira, 2010).
- iii. Abertura de filtração: determinada por peneiramento úmido, é descrita como a abertura do geotêxtil correspondente ao maior diâmetro do agregado granular que por ele pode passar (MUÑOZ, 2005).

- **Propriedades de Durabilidade**

Ensaios são feitos para determinar o espaço de tempo em que geossintético continua desempenhando perfeitamente as funções para qual foi designado, quando expostos a agentes químicos e biológicos, radiação UV, exposição à luz, calor, etc. São elas:

- i. Resistência a agentes químicos
- ii. Resistência a agentes biológicos
- iii. Resistência a radiação ultravioleta e calor

3.2 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

O gerenciamento de áreas contaminadas é estabelecido pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) como um conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à

população e ao meio ambiente. Essas medidas devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

O procedimento que envolve o processo de gerenciamento procura direcionar todas as etapas, desde a identificação e reabilitação de áreas contaminadas, até a desativação e reutilização de locais que possuem ou já possuíram algum potencial de contaminação.

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, de 1999, as áreas são classificadas da seguinte forma:

- ✓ Área Potencialmente Contaminada (AP): aquela em que ocorreram ou ocorrem atividades que possam acumular concentrações de substâncias em condições de ocasionar uma contaminação.
- ✓ Área Suspeita de Contaminação (AS): área que apresentou indícios da presença de contaminação após uma avaliação preliminar.
- ✓ Área Contaminada Sob Investigação (Ai): área em que foi constatada com investigação confirmatória a contaminação no solo ou em águas subterrâneas.
- ✓ Área Contaminada Sob Intervenção (ACI): área em que após investigação detalhada e avaliação de risco, foi constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for confirmada o risco à saúde humana.
- ✓ Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR): área que atingiu a redução dos riscos a um grau tolerável de acordo com o que foi estipulado na avaliação de risco.
- ✓ Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR): área em que foi confirmada a eliminação do perigo ou a redução dos riscos de modo que já está reabilitada para uso declarado.

A CETESB possui uma metodologia no gerenciamento de áreas contaminadas que se divide em Processo de Identificação e Processo de Recuperação.

O Processo de Identificação possui as seguintes etapas:

- i. Definição da região de interesse.
- ii. Identificação de áreas potencialmente contaminadas.
- iii. Avaliação preliminar.
- iv. Investigação confirmatória.

O Processo de Recuperação adota medidas corretivas divididas nos seguintes passos:

- i. Investigação detalhada.
- ii. Avaliação de risco.
- iii. Concepção para remediação.
- iv. Projeto de remediação.
- v. Remediação da AC.
- vi. Monitoramento.

4 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia utilizada nesse trabalho é o método de pesquisa exploratória através de leitura de artigos, livros, dissertações, notícias e dados de órgãos competentes com objetivo de construir um levantamento bibliográfico sobre o tema.

A pesquisa viabilizou a compreensão dos motivos do início e aumento das áreas contaminadas por atividades industriais, enquanto os dados fornecidos pela CETESB possibilitaram dimensionar a quantidade dos problemas gerados no país.

Os estudos de caso da cidade de Santo Amaro na Bahia e do rio Paraíba do Sul foram usados para exemplificar os prejuízos causados por contaminações industriais, mostrando as causas, alguns contaminantes e as consequências para o meio ambiente e população.

Depois de estudados os transtornos ambientais provocados por essa poluição industrial, foram apresentados geossintéticos capazes de remediar tais contaminações. São apresentadas propriedades, métodos inovadores de fabricação, vantagens e exemplos de aplicações em outros países com o objetivo de impulsionar a entrada desse método de remediação no Brasil.

Por fim, é feita uma análise de tudo o que foi estudado na tentativa de prever possíveis impactos positivos na utilização dos geossintéticos sugeridos.

5 ÁREAS CONTAMINADAS POR INDÚSTRIAS

A industrialização no Brasil iniciada a partir da década de 1950 incorporou padrões tecnológicos avançados no que se refere ao meio de produção do País, mas ultrapassados no que se refere à relação com o meio ambiente. Esse processo resultou na formação de centros de alta concentração populacional, uma vez que cada vez mais as pessoas deixavam as cidades do interior em busca de emprego nos grandes centros urbanos. Nessa situação de crescimento metropolitano acelerado, o poder público não estava preparado para fiscalizar qualquer ordenação ao uso do solo (Kowarick, 1979).

O surgimento de áreas contaminadas decorrentes das atividades industriais pode se dar de inúmeras formas:

- i. Incidentes causados pela indisposição inadequada de resíduos no passado;
- ii. Disposição inadequada de resíduos ou emissões industriais;
- iii. Desativação de processos produtivos;
- iv. Armazenamento inadequado;
- v. Manejo inadequado de substâncias perigosas nos processos em operação;
- vi. Perdas durante o processo produtivo;
- vii. Vazamentos e acidentes.

Quando não remediadas, essas áreas contaminadas tornam-se uma fonte de contaminação secundária, visto que através de mecanismos como vento e chuvas os poluentes podem ser transportados e acabam contaminando outros locais.

Na década de 1980 iniciou-se um processo conhecido como desindustrialização (Sánchez, 2001), caracterizado por uma migração do setor industrial para cidades do interior, o que gerou o surgimento de instalações e equipamentos abandonados – *brownfields*, que são espaços urbanos desocupados que por muitas vezes muitas vezes estão contaminados.

De acordo com Silva (2002), em uma amostra de 309 indústrias instaladas no Município de São Paulo na década de 1980, apenas 46% permaneciam em atividade enquanto o restante estava desativado ou em novo uso.

Situações de risco têm ocorrido devido à reutilização dessas áreas contaminadas pelo fato disso ocorrer sem qualquer controle ambiental. A adoção de políticas públicas de fiscalização e remediação visando à saúde ambiental e a implementação de medidas jurídico-legais representam estratégias de preservação ambiental e à saúde. Segundo Juras (2015), essa

preocupação só surgiu nos anos de 1970, quando ocorreram diversos problemas de saúde pública em alguns pólos industriais e houve a associação desses episódios com as atividades industriais ali desenvolvidas. A primeira iniciativa de gerenciamento de áreas contaminadas no País ocorreu com o Decreto nº 1.413, de 1975. A Lei se refere ao controle da poluição do meio ambiente que é provocada por atividades industriais.

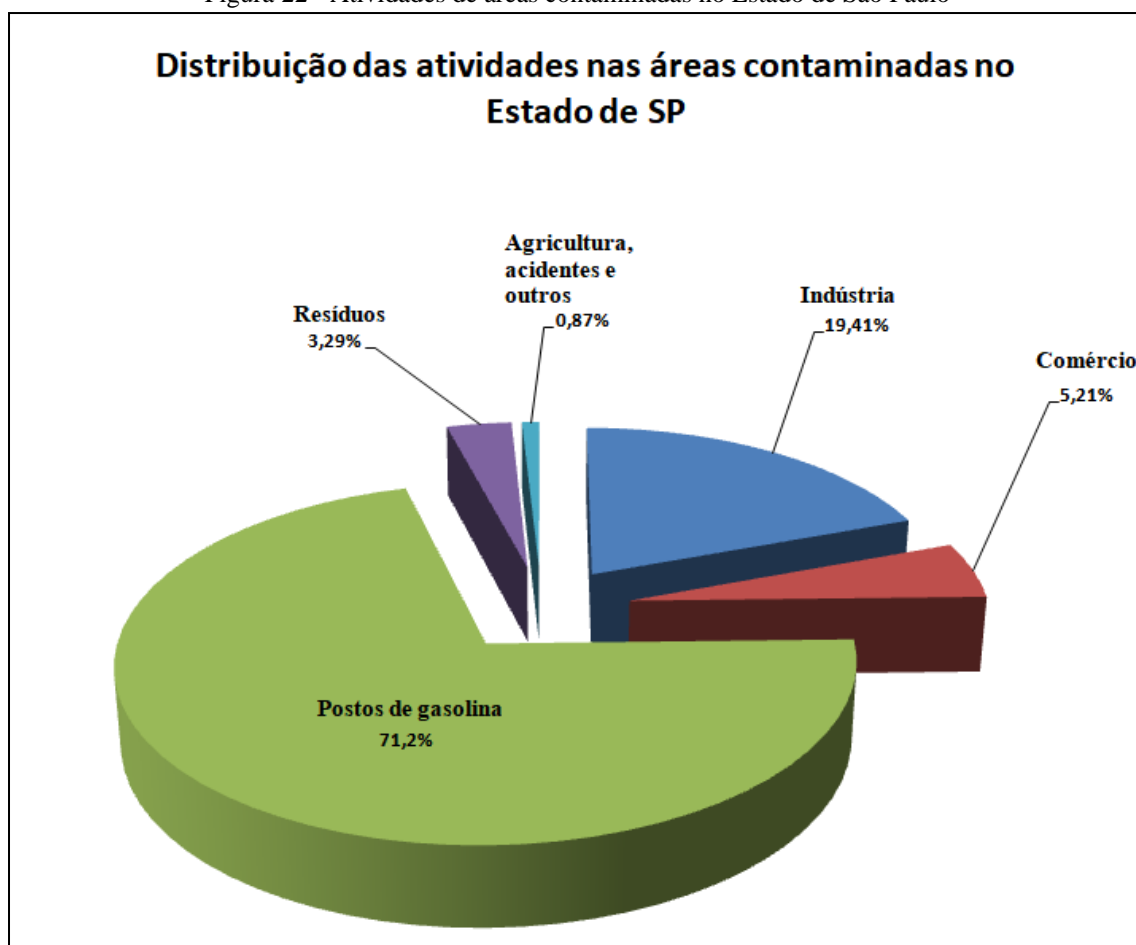
No Estado de São Paulo, a questão passou a chamar mais atenção em meados de 1993 quando houve uma cooperação entre a CETESB e uma entidade técnica do governo alemão, GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Como resultado da cooperação foi produzido o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 1999) e o Cadastro de Áreas Contaminadas (CETESB, 2006), que estabelecem metodologias de gerenciamento no estado.

De acordo com Sanchez (2001), existem quatros principais problemas em decorrência da existência de áreas contaminadas: risco à saúde humana e aos ecossistemas, risco à segurança dos indivíduos da propriedade, redução do valor imobiliário da propriedade e restrições ao desenvolvimento urbano.

Dados disponibilizados pela CETESB através do Anexo 1 deste trabalho, mostram que no ano de 2019 haviam registradas no estado de São Paulo 4.510 áreas contaminadas, sendo as atividades industriais responsáveis por 19,41% das contaminações. No entanto, o problema de áreas contaminadas por esse tipo de atividade pode ser muito maior do que se tem conhecimento, uma vez que a CETESB possui catalogadas apenas 0,87% das áreas industriais do Estado.

Na Figura 22 podem ser vistas as atividades contaminadoras do Estado de São Paulo e a porcentagem de contaminação pela qual cada uma é responsável:

Figura 22 - Atividades de áreas contaminadas no Estado de São Paulo



Fonte: CETESB, 2019. Elaboração: Camila S. Castelo Branco.

Vale salientar que no que se refere às áreas contaminadas, o seu real sentido vai muito além do lócus da contaminação, ou seja, o solo que recebeu os resíduos contaminantes. A área contaminada engloba todo o conjunto ambiental (água, solo, vegetação, ar) afetados, além das construções, instalações e equipamentos ainda presentes no local, as atividades ali desenvolvidas e as populações (humana ou animal) sob risco da exposição aos seus contaminantes.

A poluição das águas tem sido motivo de muitas preocupações para todo o mundo, pois decorre de diversas atividades humanas consideradas essenciais para o desenvolvimento dos países. A situação se agrava devido à possibilidade de contaminação dos recursos hídricos, principalmente águas subterrâneas utilizadas para abastecimento, o comprometimento de aquíferos e reservas importantes de águas subterrâneas. Tal fato se torna mais preocupante no Brasil, uma vez que a proporção de utilização de águas subterrâneas para abastecimento público atinge níveis altíssimos.

A lista de contaminantes que afetam a qualidade dos recursos hídricos próximos à atividades industriais é extensa. Dela podemos citar: contaminantes químicos e biológicos, bifenilos policlorados (PCB's), amianto, metais, chumbo, mercúrio, zinco, agrotóxicos orgânicos e inorgânicos, cádmio, etc.

As indústrias lançam por ano entre 300 e 400 milhões de toneladas de metais pesados, lodo tóxico, solventes e outros resíduos em corpos de água, de acordo com o Programa Mundial para Avaliação dos Recursos Hídricos da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO).

5.1 ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SANTO AMARO - BA

Em 1960 se instalou na cidade de Santo Amaro - Bahia, a Companhia Brasileira de Chumbo (COBRAC), uma usina metalúrgica para a produção de ligas de chumbo.

Durante seu funcionamento a fábrica produziu cerca de 900 mil toneladas de concentrado de chumbo e gerou cerca de 500 mil toneladas de resíduos de escória de chumbo. Como forma de descarte desse resíduo, a empresa distribuía a escória contaminada e a prefeitura usava na pavimentação de ruas e construções públicas como creches e escolas.

Em 1975, mesmo com estudos confirmando a contaminação de moradores próximos ao Rio Subaé, contaminado pelo despejo dos esgotos da fábrica, a metalúrgica continuou no local exercendo as mesmas atividades, com a piora do processo de degradação ambiental e a contaminação não apenas do solo, da água, da fauna e da flora, mas também da população local, por chumbo e cádmio.

Após 30 anos de fechamento da fábrica, a Associação das Vítimas por Contaminação por Chumbo e Mercúrio do Estado da Bahia (AVICCA) calcula que cerca de mil pessoas morreram vítimas de doenças causadas pela contaminação de chumbo e cádmio, outras três mil adquiriram doenças em consequência da exposição aos metais.

No ano de 2014 a justiça condenou a empresa a indenizar os moradores prejudicados pela contaminação e a realizar o cercamento da área da fábrica e instalar placas de sinalização alertando sobre o perigo. Não foi encontrado na literatura qualquer plano de gerenciamento para descontaminação da área.

No ano de 2019, durante uma obra de infra-estrutura para escoamento de água da chuva, foi encontrada parte da escória utilizada nas obras de pavimentação da cidade, como

pode ser visto na Figura 23. Análises feitas nesse material detectaram presença de 16.700 mg/kg de chumbo no material da zona urbana, valor que supera em 5.566% o valor de 300mg/kg que é o limite estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama).

Figura 23 - Escória de chumbo desencavado em obra no Centro de Santo Amaro



Fonte: Yuri Rosat/CORREIO, 2019.

5.2 ESTUDO DE CASO DO RIO PARAÍBA DO SUL

O Rio Paraíba do Sul atravessa a região sócio-econômica conhecida como Vale do Paraíba, banha os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, sendo o rio mais importante do estado do Rio de Janeiro, pois se trata da principal fonte de abastecimento público da região metropolitana. Por estar localizado entres os maiores pólos industriais e populacionais do País, sua bacia hidrográfica tem um papel representativo nas atividades de abastecimento, irrigação, geração de energia elétrica e diluição de esgotos da região.

Por estar no centro de uma região de alto grau de industrialização, sofre com problemas recorrentes de acidentes industriais, principalmente derramamento de óleos. Segue uma lista dos acidentes ocorridos no rio na última década:

- ✓ 04 de agosto de 2009: vazamento de óleo causado pela Companhia de Siderúrgica Nacional (CSN). Abastecimento das cidades não é interrompido, pois as bombas se encontram acima do local afetado.

- ✓ 07 de agosto de 2009: CSN divulga nota informando que novo vazamento de óleo ocorreu nas barreiras de contenção instaladas no emissário principal da unidade carboquímica para conter o vazamento registrado no início da semana.

- ✓ 29 de outubro de 2010: captação e distribuição de água potável nas cidades de Volta Redonda e Barra do Piraí são interrompidas devido ao derramamento de 26 mil litros de resíduos de óleo mineral em um afluente do rio. O derramamento ocorreu em consequência de um acidente de trânsito entre um caminhão e uma carreta carregada de óleo. 400 mil pessoas ficaram sem água.

- ✓ 05 de fevereiro de 2016: Mineradora Rolando Comércio de Areia lançava, irregularmente, os rejeitos do tratamento de areia na lagoa da Mineração Meia Lua 1, empresa que estava com as atividades paralisadas. Lançamento gera elevação do nível da lagoa e provoca o rompimento da barragem, instalada entre a lagoa e o rio, lançando resíduos de mineração de areia no rio, como pode ser visto na Figura 24. O acidente provocou alteração na qualidade das águas do rio, constatada por análises dos parâmetros de turbidez.

Figura 24 - Rompimento de barragem de areia em Jacareí



Fonte: Reprodução/TV Vanguarda, 2016.

- ✓ 14 de março de 2018: óleo vaza de tanque de empresa desativada há mais de 20 anos e atinge o rio Paraíba do Sul. Investigações são feitas para descobrir tipo de óleo derramado e possíveis alterações no abastecimento nos municípios próximos.

- ✓ 17 de janeiro de 2020: abastecimento de água na cidade de Volta Redonda é interrompido devido a aparecimento de mancha de óleo no rio. Investigações são feitas para descobrir responsáveis.

- ✓ 10 de fevereiro de 2020: mancha de óleo aparece às margens do rio na cidade de Barra Mansa, como pode ser visto na Figura 25. Após investigações, constata-se ser óleo de motor de combustão. A empresa responsável foi notificada e a contenção do vazamento solicitada.

Figura 25 - Mancha de óleo aparece às margens do Rio Paraíba do Sul, em Barra Mansa



Fonte: Divulgação/PMBM, 2020.

6 GÉOSSINTÉTICOS UTILIZADOS NA REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR ATIVIDADES INDUSTRIAIS

É crescente o número de substâncias classificadas como nocivas ao meio ambiente, com isso se fazem necessárias diretrizes ambientais mais rigorosas não só para indústrias, mas para qualquer atividade que possua potencial poluidor.

As crescentes exigências de recuperação de áreas contaminadas evidenciam a necessidade de soluções e produtos em engenharia que gerem construções eco-eficientes e medidas sustentáveis. Materiais como geocompostos bentoníticos de multicamadas são alguns dos produtos que vêm desempenhando esse papel nos últimos anos.

6.1 GEOCOMPOSTO TEKTOSEAL ACTIVE

O Tektoseal Active é um produto resultante dos GCL's (geocompostos bentoníticos) composto por multicamadas feito sob medida para problemas específicos. Foi desenvolvido para obras de recuperação ambiental em que a remoção do material contaminado mostra-se inviável. Devido ao seu lançamento recente, ainda não existem obras no Brasil executadas com o Tektoseal, porém, ele já foi amplamente aplicado em obras na Europa.

O produto chegou ao Brasil nos últimos anos, com o objetivo de suprir a demanda gerada pelo grande desenvolvimento dos projetos de proteção ambiental no País, resultado de políticas públicas, legislação e consciência ambiental cada vez mais expressiva.

6.1.1 Tektoseal Active AS

Trata-se de um geocomposto de absorção de óleos com reforço mecânico. Muito versátil, pode ser usado tanto na água quanto no solo e com a seleção do geotêxtil adequado, possui a habilidade de flutuação. Possui uma camada de polímeros absorventes de óleo de alto desempenho envolta de camadas de geotêxtil que lhe conferem uma alta estabilidade mecânica. No Quadro 1 é apresentado um resumo de suas propriedades:

Quadro 1– Propriedades do geocomposto Tektoseal Active AS

Tektoseal Active AS	
Função	Absorção de óleo
Contaminantes	Ex.: óleo, diesel, gasolina, querosene
Capacidade de absorção de óleo	1m ² absorve 3,75 litros de óleo
Liberação de óleo sob carga	0% até 0,1 bar de carga imposta
Capacidade de flutuação	≥ 99% tanto em condições livres de óleo quanto saturado, com o não-tecido de PP
Certificação	Agente aglutinador de óleo oficial na Alemanha (LTwS)

Fonte: Huesker, 2017.

O processo de instalação desse produto tem um procedimento extremamente simples, assim como sua remoção para descarte. Pode ser aplicado em serviços como instalações de barreiras de contenção de óleo em postos de gasolina, ferrovias, estacionamento, cortina de absorção de óleo na água, contenção de óleo em acidentes industriais, de transporte e de trânsito, etc. Na Figura 26 pode-se ver alguma dessas aplicações.

Figura 26 - Aplicações do Tektoseal Active AS



Fonte: Huesker, 2017.

Suas camadas são compostas de:

- ✓ Camada superior: geotêxtil tecido ou não-tecido de polipropileno (PP) ou poliéster (PET)

- ✓ Camada ativa: polímero absorvente de óleos que possui propriedades específicas responsáveis por torná-lo adequado para a separação de misturas de água e óleo.
- ✓ Camada inferior: o material dessa camada varia de acordo com as propriedades que a aplicação do produto vai exigir. Pode ser utilizada além do geotêxtil uma geogrelha para dar reforço quando necessário.

Na Figura 27 pode ser visto um caso prático de utilização desse geocomposto trabalhando na absorção de óleo:

Figura 27 - Cortina de absorção de óleo na água feita com geocomposto de carvão ativado



Fonte: Huesker, 2017.

6.1.2 Tektoseal Active AC

Esse tipo de Tektoseal possui no seu interior uma camada de carvão ativado cuja principal função é de adsorção de alto desempenho de contaminantes. Vem sendo muito utilizado na indústria química, no tratamento de água potável e em estações de tratamento de água e esgoto. No Quadro 2 são apresentadas suas principais propriedades:

Quadro 2 - Propriedades do geocomposto Tektoseal Active AC

Tektoseal Active AC	
Função	Adsorção de contaminantes apolares
Contaminantes	Por exemplo: Compostos orgânicos voláteis (VOC), tributilestanho (TBT), bifenilos policlorados (PCB), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH).
Peso por unidade de área	Camada ativa: 800 a 1.600 g/m ²

Fonte: Huesker, 2017.

Assim como todos os produtos da linha Tektoseal, possui um alto grau de facilidade na sua instalação e uma grande flexibilidade de personalização durante seu processo de fabricação de acordo com as necessidades específicas de sua aplicação.

Pode ser utilizado em aplicações como filtração de contaminantes no solo de áreas industriais, encapsulamento ativo submerso, recuperação de lagoa de rejeitos, filtração de contaminantes em caso de acidentes industriais, de transporte e de trânsito, etc. Na Figura 28 são ilustradas algumas dessas aplicações.

Figura 28 - Aplicações do Tektoseal Active AC



Fonte: Huesker, 2017.

Suas camadas são constituídas de:

- ✓ Camada superior: geotêxtil não-tecido de polipropileno (PP) ou poliéster (PET)

- ✓ Camada ativa: carvão ativado, que é capaz de aglutinar uma vasta gama de contaminantes
- ✓ Camada inferior: o material dessa camada pode variar de acordo com sua aplicação, podendo ser fortalecido por geogrelhas para dar reforço.

Na Figura 29 é mostrado um caso prático de utilização desse produto no encapsulamento em corpo d'água:

Figura 29 - Encapsulamento em leitos de corpos d'água



Fonte: Huesker, 2017.

6.1.3 Tektoseal Active CP

O Tektoseal Active da classe CP traz uma combinação de camadas de geotêxtil com fosfato de cálcio natural com a finalidade de remover metais pesados de corpos d'água e solos. Sua utilização permite que um solo contaminado que seria descartado permaneça em seu local de origem sem causar qualquer risco ambiental, além de vedar qualquer nova contaminação próximo de sua fonte. A Figura 30 ilustra algumas de suas possíveis aplicações:

Figura 30 - Aplicações do Tektoseal Active CP



Fonte: Huesker, 2018.

Possui muitos benefícios, tais como a acelerada precipitação dos contaminantes, a duradoura e elevada estabilidade ao reter metais pesados e substâncias radioativas, a neutralização do pH água e sua função de fonte de fósforo. O Quadro 3 apresenta suas principais propriedades:

Quadro 3 - Propriedades do geocomposto Tektoseal Active CP

Tektoseal Active CP	
Função	Retenção de metais pesados através de quatro mecanismos não utualmente exclusivos
Contaminantes	Chumbo, urânio, plutônio, cádmio, zinco, estrôncio
Peso por unidade de área	Camada ativa: 3,6 kg/m ²

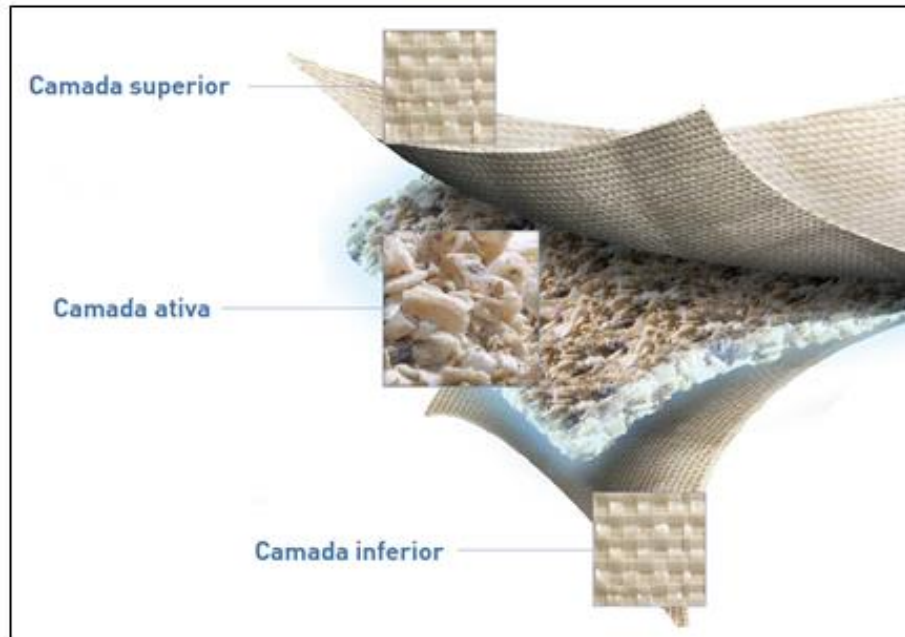
Fonte: Huesker, 2017.

Na remediação de áreas degradadas promove a regeneração de solo contaminado e possui a capacidade de manter a precipitação estável e permanente de metais por mais de mil anos. Como pode ser visto na Figura 31, suas camadas são compostas por:

- ✓ Camada superior: geotêxtil tecido de polipropileno (PP).

- ✓ Camada ativa: fosfato de cálcio granular natural capaz de precipitar de maneira permanente qualquer metal pesado dissolvido que entrar em contato.
- ✓ Camada inferior: geotêxtil tecido de polipropileno (PP).

Figura 31 - Camadas do geocomposto Tektoseal Active CP



Fonte: Huesker, 2017.

6.2 APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NA DESCONTAMINAÇÃO DE ATERRO INDUSTRIAL

O local contaminado próximo à cidade de Bruckl, no sul da Áustria, é um antigo aterro industrial de uma fábrica do ramo da indústria química. O lugar exibido na Figura 32 foi preenchido com resíduos de 1926 a 1981, onde foram depositadas cinzas, escórias, hidrocarbonetos clorados (CHC), resíduos contaminados com mercúrio, cal de carboneto e carvão. Quando deixou de ser usado pela empresa todo o aterro foi coberto com solo.

Figura 32 - Área contaminada K20



Fonte: Group Porr, 2017.

No total, cerca de 230.000m³ de resíduos foram depositados na área, dos quais cerca de 80.000m³ estavam fortemente contaminados com hidrocarbonetos clorados (CHCs). Devido às características materiais dos CHCs, a Agência do Meio Ambiente da Áustria considerou o potencial poluente extremamente alto. Como resultado, o local contaminado foi classificado como Prioridade Classe 1 em 2003, o que significa que medidas de remediação eram urgentemente necessárias, mas apenas em 2009 um aviso foi emitido para remediar o local através da remoção completa de todos os resíduos e utilização, tratamento ou eliminação dos mesmos.

Os trabalhos para limpar o local contaminado começaram no outono de 2011. O plano era processar, descartar ou tratar todo o material contaminado. No entanto, após a descoberta do hexaclorobenzeno em novembro de 2014, inclusive em alimentos produzidos nas proximidades das obras de cimento encomendadas para processar o lodo de cal contaminado, o trabalho para limpar o local foi interrompido. Este processo de remoção então foi abandonado e os resíduos remanescentes ainda no local exigiam um novo conceito de remediação.

Em vez de limpar o local, decidiu-se manter o material contaminado e fazer uma aplicação de uma cobertura multicamadas e multifuncional de geossintéticos. O sistema, que pode ser visto na Figura 33, envolveu o uso de um GCL com bentonita cálcica, geocomposto

de carvão ativado Tektoseal Active AC, uma geomembrana de polietileno de baixa densidade (LDPE), um elemento de drenagem de polietileno de alta densidade PEAD e duas camadas de geogrelhas.

Figura 33 - Tektoseal Active AC aplicado no local contaminado



Fonte: Huesker, 2017.

Como pode ser observado na Figura 34, no sistema de cobertura o material de cor preta corresponde ao GCL, o painel branco é o geocomposto ativo e o material cinza a geomembrana.

Figura 34 - Instalação do sistema de cobertura

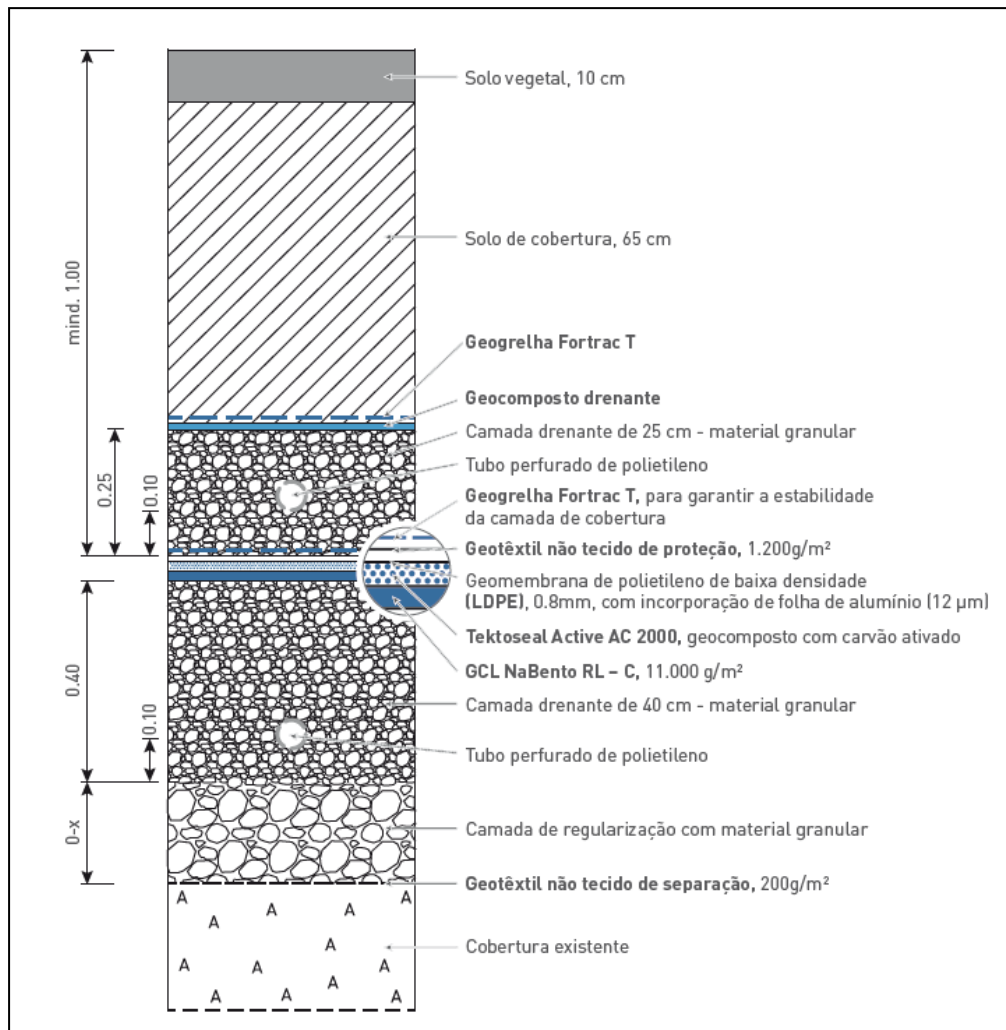


Fonte: Huesker, 2017.

O carvão ativado do geocomposto diminui a concentração de CHC abaixo da membrana sobrejacente e isso reduz a força motriz para a difusão através do sistema de revestimento, enquanto o geotêxtil garante a estabilidade mecânica da camada de carvão ativado. Essa interação entre as camadas permite que a instalação seja feita de modo simples e rápido. De modo simultâneo, duas camadas de geogrelhas conferem a resistência necessária para que a camada ativa seja protegida contra a erosão causada pela água ou pela inclinação da camada, uma vez que alguns trechos do terreno chegam a ter inclinação de 70°.

O desenho esquemático de todo o projeto de remediação pode ser visto na Figura 35. Uma camada de solo de cobertura foi colocada para proteger as camadas de selagem de estabilização e por cima uma camada vegetal para proteger o sistema contra erosão, além de trazer uma compatibilização com a paisagem ao redor, como pode ser visto na Figura 36 que mostra a região com o projeto de remediação pronto e em funcionamento.

Figura 35 - Desenho esquemático da vedação da superfície



Fonte: Huesker, 2017.

Além do encapsulamento do terreno contaminado, as águas subterrâneas também foram protegidas pela construção de paredes diafragma com profundidades de 15 a 35 metros em combinação com uma redução do lençol freático. A água contaminada é bombeada e tratada com carvão ativado.

Figura 36 - Projeto de remediação finalizado



Fonte: Huesker Group, 2019.

7 CONCLUSÃO

Diversos problemas relacionados à contaminação de ecossistemas por atividades industriais foram apresentadas no decorrer do trabalho. Notou-se que a quantidade de ocorrências dessa fatalidade é muito alta e representa uma parte significativa dos problemas de degradação ambiental em todo o País e no mundo.

Verificou-se nos estudos de caso de contaminações a dimensão da irresponsabilidade ambiental cometida por um grande número de indústrias que mesmo responsáveis por desastres ambientais catastróficos, como o caso da cidade de Santo Amaro, não possuem a preocupação necessária em remediar as áreas afetadas. Enquanto que no estudo de caso do Rio Paraíba do Sul, notou-se a repetição de casos de acidentes industriais sem culpabilização dos responsáveis. Em contrapartida, notou-se um esforço coletivo nas últimas décadas entre autoridades, órgãos ambientais e população com objetivo de reverter esse cenário através da criação de leis ambientais que auxiliam no combate à poluição.

O baixo custo, a facilidade de aplicação, a alta versatilidade e o controle industrial são vantagens dos geossintéticos em relação aos materiais convencionais que impulsionaram seu uso em obras nas mais diversas funções em todo o País. No entanto, notou-se um enorme atraso no uso desse material no âmbito de remediação de áreas contaminadas por resíduos industriais, uma vez que, segundo informações fornecidas pela empresa produtora do geocomposto em destaque no trabalho, não há no Brasil qualquer caso de aplicação desses produtos com essa finalidade. Já em outros países, revelou-se através de casos de aplicações a eficiência de geossintéticos em solucionar problemas ambientais em locais onde são desenvolvidas atividades industriais, como os vistos nos estudos de caso da cidade de Santo Amaro e no Rio Paraíba do Sul. Com isso, espera-se para os próximos anos que os problemas ambientais gerados por práticas de industriais passem a ser solucionados com o auxílio desses produtos que, como demonstrado neste trabalho, representam uma forma inovadora e eficiente de remediação de áreas contaminadas.

8 REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10318-1: **Geossintéticos Parte 1: Termos e definições**. 2018.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2º edição, Brasília, 2013.

AGUIAR, P.R. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1º edição, Editora Blucher, 2004.

AMARAL, N.B. **Geossintéticos aplicados a geotecnia ambiental**. 2019. 82 p. DISSERTAÇÃO (Graduação em engenharia civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

BATHURST, R.J. **Classificação dos geossintéticos**. Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), disponibilizado pela Associação Brasileira de Geossintéticos (IGSBRAZIL), traduzido por MENDES, M. J. A. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wpcontent/uploads/geossinteticos/1.pdf>>. Acesso em: 02 de fev. 2019.

BATHURST, R.J. **Funções dos geossintéticos**. Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), disponibilizado pela Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS BRASIL), traduzido por MAIA, K. C. A.P. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wpcontent/uploads/geossinteticos/1.pdf>>. Acesso em: 02 de fev. 2019.

BRASIL. Decreto nº 1.413, de 31 de julho 1975. **Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais**. Brasília, 1975. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del1413.htm> Acesso em 27 de dez. de 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Institui a Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1985. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 12 de nov. de 2019.

BUSH, D.I. **Variation of long-term design strength of geosynthetics in temperatures up to 40°C**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTEXTILES, GEOMEMBRANES AND RELATED PRODUCTS, Hague, 1990.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (Ordem Agência Ambiental) em 2019**. São Paulo, dez 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2020/02/Totaliza%C3%A7%C3%A3o-por-Departamento.pdf>>. Acesso em: 20 de jan. 2019.

Derramamento de óleo no rio paraíba do sul deixa 400 mil sem água no sul fluminense. Jornal de Brasília, 29 de outubro de 2010. Disponível em: <<https://jornaldebrasil.com.br/brasil/derramamento-de-oleo-no-rio-paraiba-do-sul-deixa-400-mil-sem-agua-no-sul-fluminense/>> Acesso em 05 de fev. de 2020.

DUARTE, A.S. **Aplicação de Geossintéticos na Impermeabilização e Selagem de Aterros**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.

FERREIRA, F.B. **Comportamento das interfaces solo - Geossintéticos**. 2010. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

FIEMG. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Cartilha de Gerenciamento de áreas contaminadas: conceitos e informações gerais**. – FIEMG. 76 p.

HUESKER BRASIL. **Soluções em geossintéticos**, 2019. Disponível em <<https://www.huesker.com.br/>>. Acesso em 07 de nov. de 2019.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas**. 1º edição, São Paulo, 2014. 396 p.

JURAS, I.A.G.M. **Os impactos da indústria no Meio Ambiente**. 1º edição, Brasília, 2015. 38 p.

KOERNER, R.M. **Designing with Geosynthetics**, 4th Ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, p. 775, 1998.

KOWARICK, L. **A espoliação urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

LYRIO, A.; GARRIDO, Y. “**Escória viva: obra da prefeitura de santo amaro desenterra resíduo tóxico de chumbo**”. Correio 24 horas, 22 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/escoria-viva-obra-da-prefeitura-de-santo-amaro-desenterra-residuo-toxico-de-chumbo/>> Acesso em 01 de fev. de 2020.

Mancha de óleo aparece às margens do rio paraíba do sul em barra mansa. G1 Portal de Notícias da Globo, 10 de fevereiro de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2020/02/10/mancha-de-oleo-aparece-as-margens-do-rio-paraiba-do-sul-em-barra-mansa.ghtml>> Acesso em 02 de mar. de 2020.

CETESB.COMPANHIA ESTADUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. – 2º edição, São Paulo, 2001. 389p.

MEDEIROS, A.P. **Análise da aplicação de geossintéticos no aterro sanitário de seropédica/rj**. 2019. 68 p. Dissertação (Graduação em engenharia civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

Melo, K. **Após vazamento de resíduos no paraíba do sul, amostras de água vão para análise**. AgênciaBrasil, 06 de fevereiro de 2016. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-02/apos-vazamento-de-residuos-no-paraiba-do-sul-amostras-de-agua-vaio-para-analise>> Acesso em 05 de fev. de 2020.

Ministério do Meio Ambiente. **Áreas contaminadas**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>> Acesso em: 09 nov. de 2019

MULLER, W. W. **Geosynthetics in geoenvironmental engineering**. Science and Technology of Advanced Materials. 16 (3). 2015.

MUNOZ, C. S. **Desempenho de geotêxteis na filtração de solos internamente instáveis**. Tese de mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 119, 2005.

Óleo vaza de empresa desativada e atinge Rio Paraíba do Sul. A Voz da Cidade, 14 de março de 2018. Disponível em: <<https://avozdacidade.com/wp/oleo-vaza-de-empresa-desativada-e-atinge-rio-paraiba-do-sul/>> Acesso em 05 de fev. de 2020.

OLIVEIRA, A.C. **Análisedo reuso de áreas industriais suspeitas de contaminação: um estudo de caso de quatro sítios no município de Petrópolis - RJ. 2006**. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2006.

PALMEIRA, E. M. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. São Paulo, Oficina de Textos, 2018.

PAUSWEG, A. HOGL, C. WOHLSCHLAGER, M. **Remediation of Contaminated Site K20 in Brückl. World of Porr, 2018**. Disponível em: <<https://worldofporr.com/uploads/pdf/RemediationofContaminatedSiteK20inBrckl.pdf>> Acesso em 15 de dez. de 2019.

SÁNCHEZ, L.E. **Desengenharia: O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; 2001.

SANTOS, F. B. **O início da industrialização brasileira**. *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiab/industrializacao-brasileira.htm>>. Acesso em 15 de dez. de 2019.

SILVA, A.C. M.A.. **A importância dos fatores ambientais na reutilização de imóveis industriais em São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo: 2002.

THEISEIN, M. S. **The role of geosynthetics in erosion and sediment control: as overview. Geotextiles and Geomembranes**, v. 11,p. 535-550, 1992.

THIMM, K. **Containment of K20 Contaminated Site Through A Multifunltional Active Cover Lining**. Ausrtalasian Land and Groundwater Association, 2019. Disponível em: <<https://landandgroundwater.com/story/containment-of-k20-contaminated-site-through-a-multifunltional-active-cover>> Acesso em 15 de dez. de 2019.

Vazamento de óleo contamina água do rio paraíba do sul. Bol entretenimento, 04 de agosto de 2009. Disponível em: <<https://www.bol.uol.com.br/videos/?id=vazamento-de-oleo-contamina-agua-do-rio-paraiba-do-sul-0402cc9b3166c8813326>> Acesso 01 de fev. de 2020.

Vazamento de óleo no rio paraíba do sul interrompe abastecimento de água em volta redonda. G1 Portal de Notícias da Globo, 17 de janeiro de 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2020/01/17/vazamento-de-oleo-no-rio-paraiba-do-sul-interrompe-abastecimento-de-agua-em-volta-redonda.ghtml>> Acesso em 02 de mar. de 2020.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** 1º edição, Editora Blucher, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1 – Áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo – Atividades (dezembro/2019)

