



COBRAMSEG 2024
XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnica
X Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Meio Ambiente: Soluções Sustentáveis e Combate às Mudanças Climáticas

Prof. Ennio Marques Palmeira
Universidade de Brasília




Realização:    

Organização: 

1



GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Conteúdo

- Introdução
- Geossintéticos e redução de impactos ambientais
- Contribuições na disposição de resíduos
- Contribuições no desaguamento de resíduos
- Contribuições no controle de erosões
- Proteção de recursos hídricos e controle de inundações
- Viabilização do uso de materiais de construção alternativos
- Comentários finais

2



COBRAMSEG 2024
XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnica
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Introdução

3



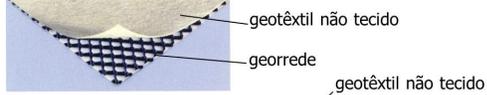
COBRAMSEG 2024
XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnica
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

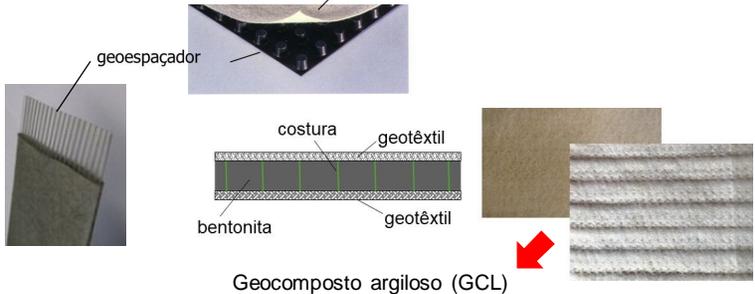
Tipos

- Geotêxteis (Tecidos e Não Tecidos)
- Geogrelhas
- Geotiras
- Geomantas
- Georredes
- Geomembranas
- Geocélulas
- Geofibras
- Geoexpandidos
- Geoespaçadores
- Tubos Geossintéticos
- Geocompostos



geotêxtil não tecido
georrede
geotêxtil não tecido

➔ Geocomposto p/ drenagem



geoespaçador
costura
geotêxtil
bentonita
geotêxtil

➔ Geocomposto argiloso (GCL)

4



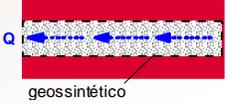
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Juvenis

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

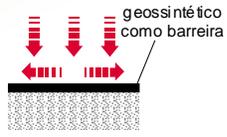
Funções

Drenagem



geossintético

Barreira

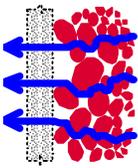


geossintético como barreira

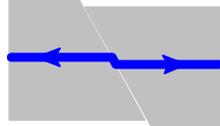
Proteção



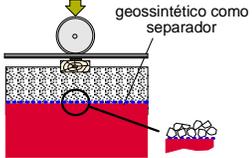
Filtração



Reforço

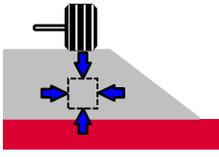


Separação



geossintético como separador

Enrijecimento



5

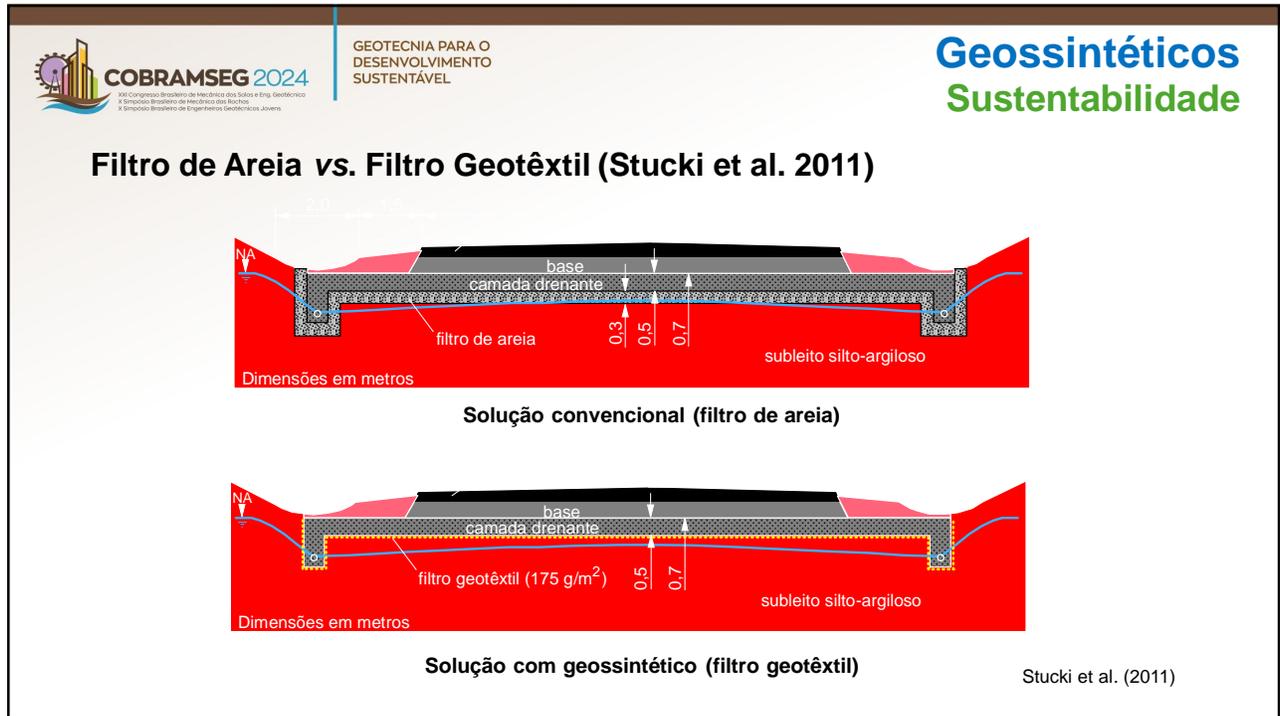


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Juvenis

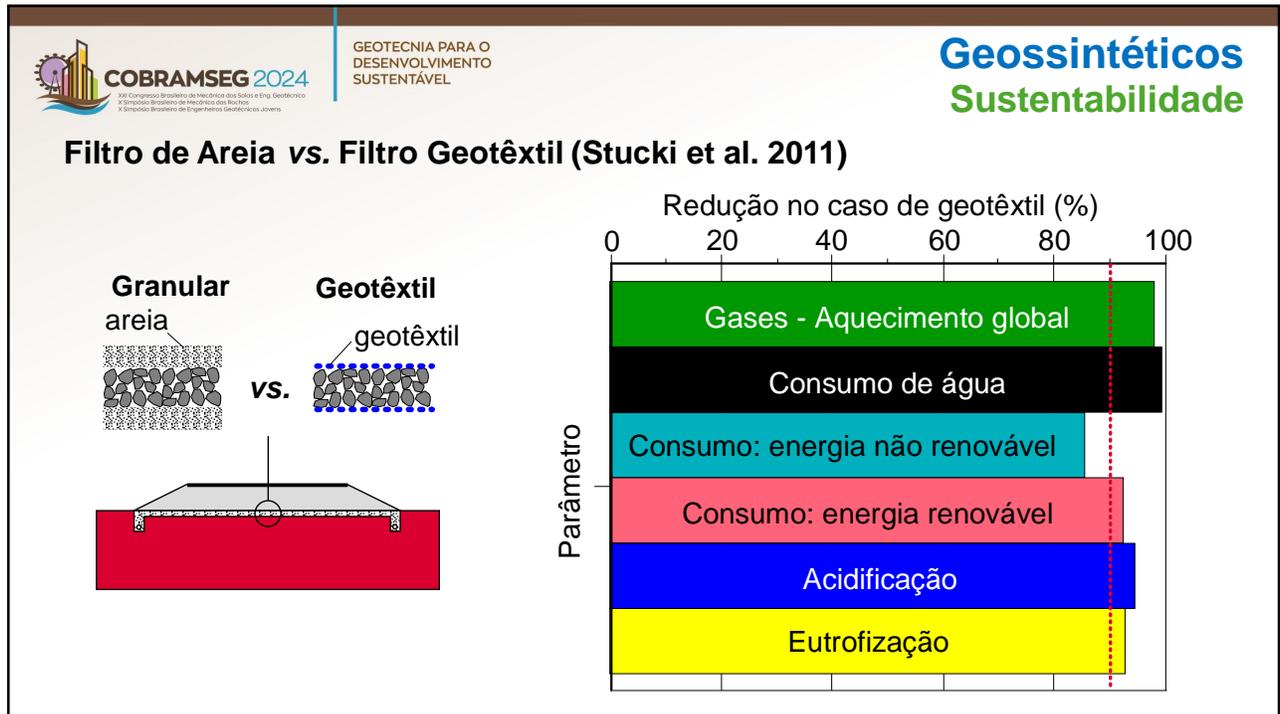
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Redução de Impactos Ambientais

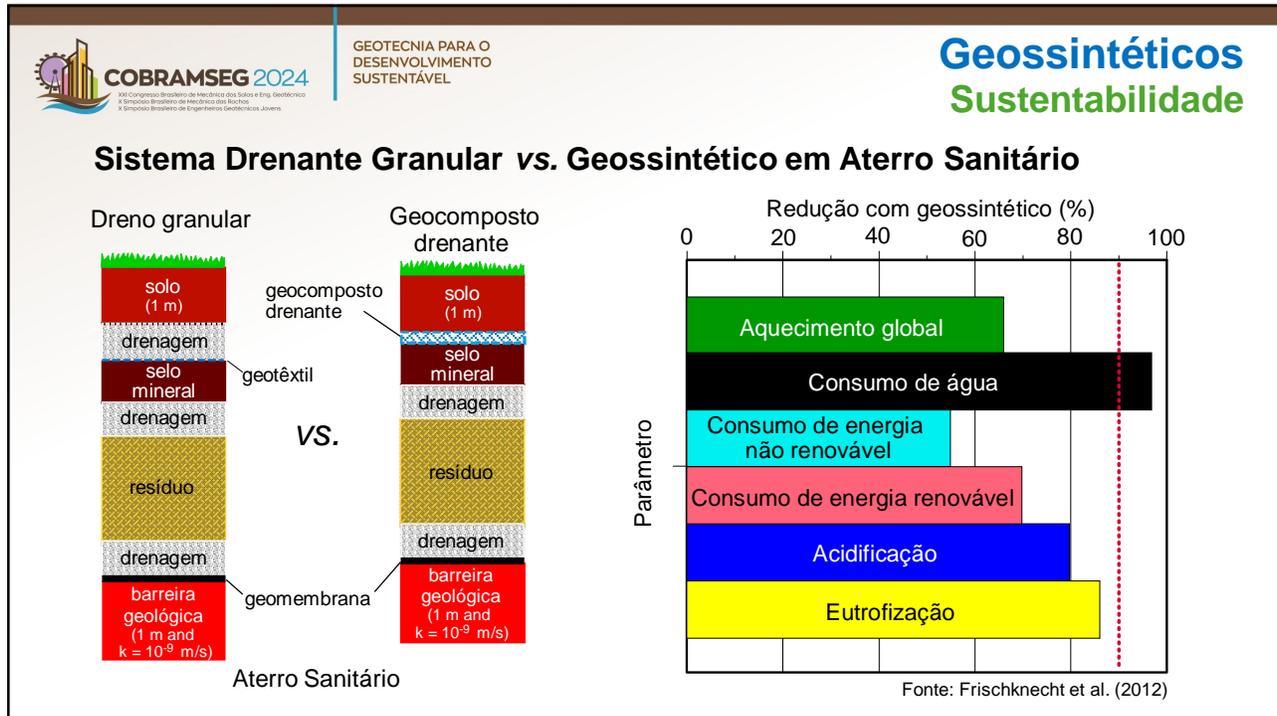
6



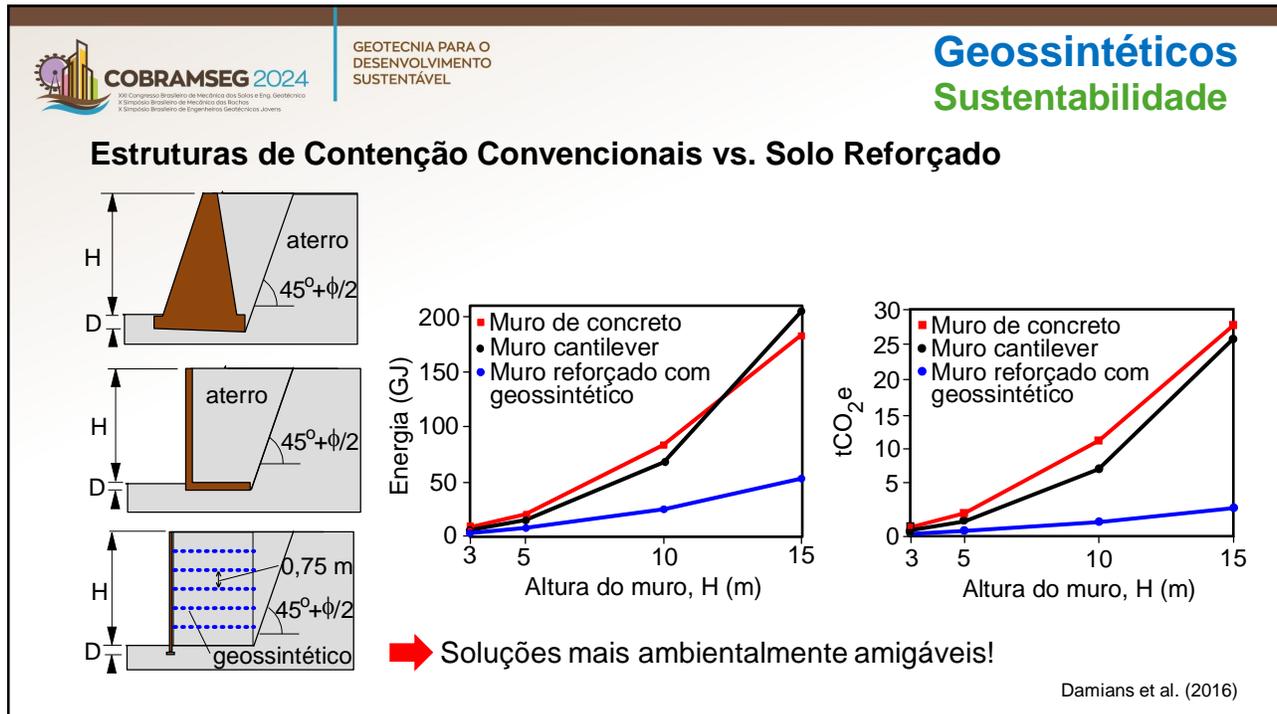
7



8



9



10



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Disposição de Resíduos

11



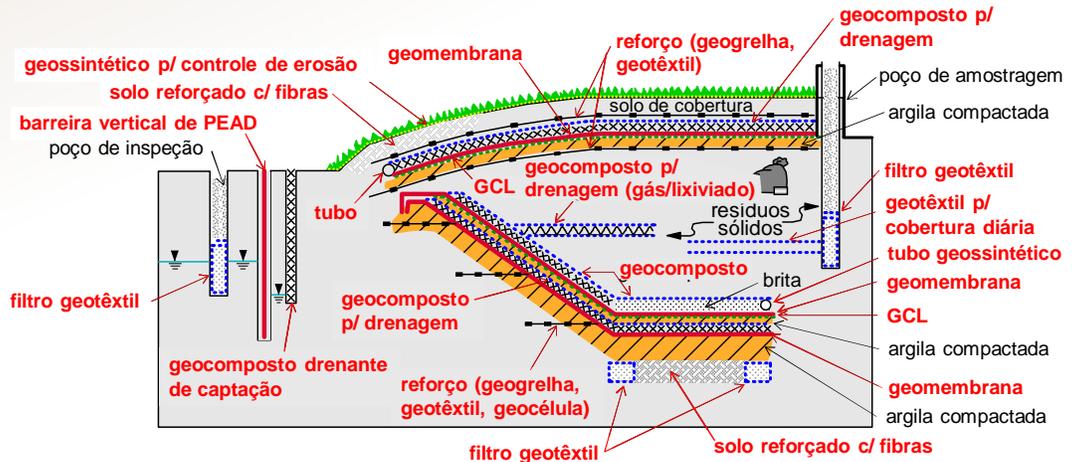
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Disposição de Resíduos

Potenciais Aplicações em Aterros Sanitários



Mod. Bouazza & Zornberg (2006)

12



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Disposição de Resíduos

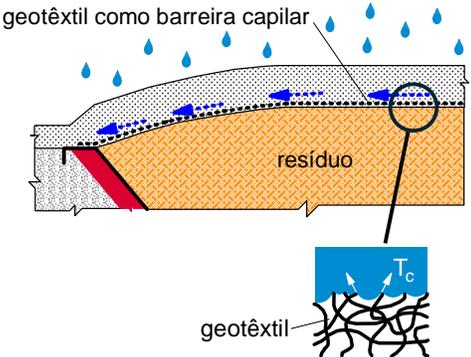
Potenciais Aplicações em Aterros Sanitários

Outras Aplicações/Funções de Geotêxteis



geotêxtil como proteção

Geotêxtil para proteção de geomembrana



geotêxtil como barreira capilar

resíduo

geotêxtil

Geotêxtil como barreira capilar

13



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

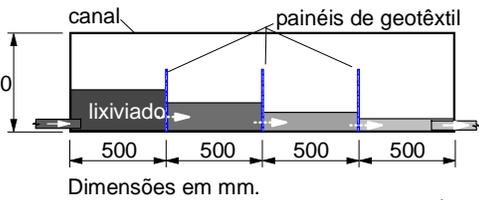
Disposição de Resíduos

Pré-Tratamento de Lixiviados

Ensaios em Grande Escala



$M_A = 134 \text{ g/m}^2 \text{ a } 1800 \text{ g/m}^2$
 $FOS = 0,08 \text{ mm a } 0,15 \text{ mm}$

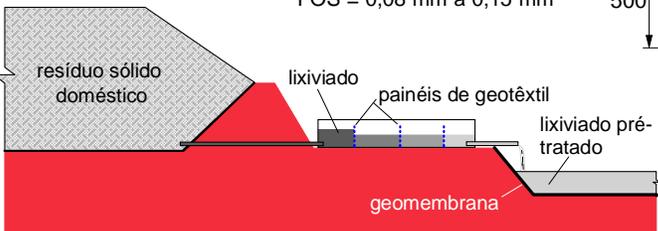


canal

painéis de geotêxtil

lixiviado

Dimensões em mm.



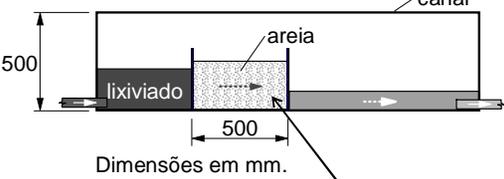
resíduo sólido doméstico

lixiviado

painéis de geotêxtil

geomembrana

lixiviado pré-tratado



canal

areia

lixiviado

Dimensões em mm.

$D_{50} = 0,29 \text{ mm}, D_{85} = 0,5 \text{ mm},$
 $C_u = 1,7, D_{constricção} = 0,048 \text{ mm}$

Silva & Palmeira (2016)

14



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

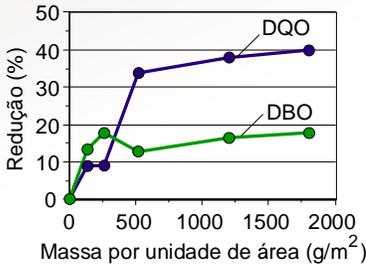
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Disposição de Resíduos

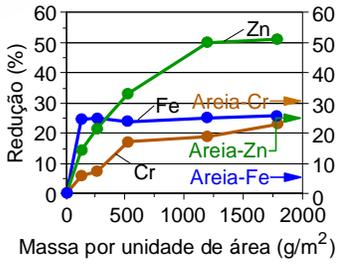
Pré-Tratamento de Lixiviados

Ensaio em Grande Escala



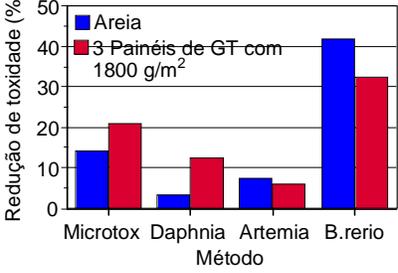
Redução (%)

Massa por unidade de área (g/m²)



Redução (%)

Massa por unidade de área (g/m²)



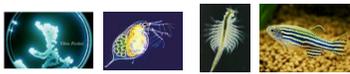
Redução de toxicidade (%)

Método

Silva & Palmeira (2016)

Solução interessante para comunidades menores

Possibilidade de reutilização (limpeza) do geotêxtil



15



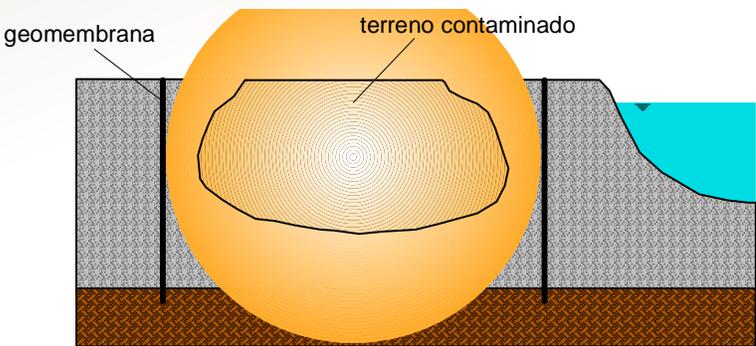
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Disposição de Resíduos

Barreiras Verticais com Geomembranas





16

Geossintéticos Disposição de Resíduos

Barreiras Verticais com Geomembranas



17

Desaguamento de Resíduos

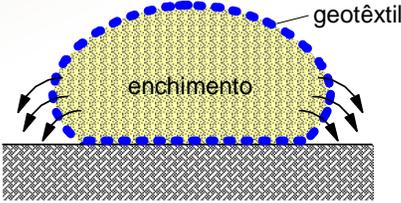
18

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desaguamento de Resíduos

Desaguamento de Rejeitos e Lodos Tubos Geotêxteis, Geofôrmas e Geocontainers




Cortesia: Profª M.G. Gardoni

19

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Desaguamento de Resíduos

Desaguamento de Rejeitos Tubos Geotêxteis, Geofôrmas e Geocontainers



Cortesia: Dr. André Fahel

20



COBRAMSEG 2024
XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Desaguamento de Resíduos

Desaguamento de Rejeitos

Tubos Geotêxteis, Geofôrmas e Geocontainers



Cortesia: Dr. André Fahel

21



COBRAMSEG 2024
XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Desaguamento de Resíduos

Desaguamento de Rejeitos

Tubos Geotêxteis

Experimentos em Grandes Dimensões





Barrantes et al. (2023)

22

Desaguamento de Resíduos

Tubos Geotêxteis

Ensaio em Grandes Dimensões

Geotêxtil Não-Tecido Agulhado

Propriedade	Valor
Polímero	PET ⁽¹⁾
Massa por unidade de área (g/m ²)	200
Espessura (mm)	2,2
Abertura de filtração (mm) ⁽²⁾	0,115
Rigidez à tração, J _{5%} (kN/m) ⁽³⁾	11,5
Resistência à tração, T _{max} (kN/m) ⁽³⁾	9,8
Deformação máxima (%) ⁽³⁾	83

Notas: (1) PET= poliéster; (2) O₉₅, ASTM D6767; (3) ASTM D4595.

Barrantes et al. (2023)

Material de enchimento

Propriedade	Valor
D ₁₀ (mm) ⁽¹⁾	0,0036/0,040 ⁽²⁾
D ₅₀ (mm)	0,027/0,120
D ₈₅ (mm)	0,063/0,259
Coefficiente de uniformidade	8,4/3,7
% passando na #200	87/29
Limite de liquidez (%)	37
Limite de plasticidade (%)	28
Índice de Plasticidade (%)	9

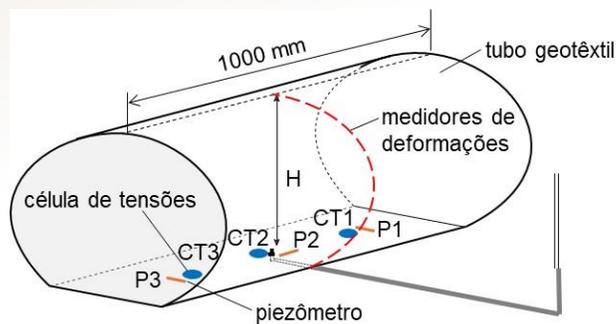
Notas: (1) D_n = diâmetro para o qual n% das demais partículas são menores. (2) Valores à esquerda e à direita são de ensaios sem e com o uso de defloculante, respectivamente.

23

Desaguamento de Resíduos

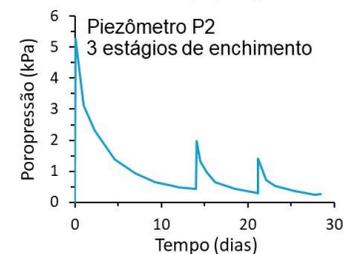
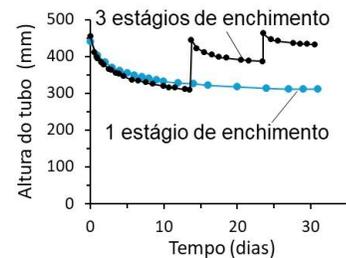
Tubos Geotêxteis

Experimentos em Grandes Dimensões

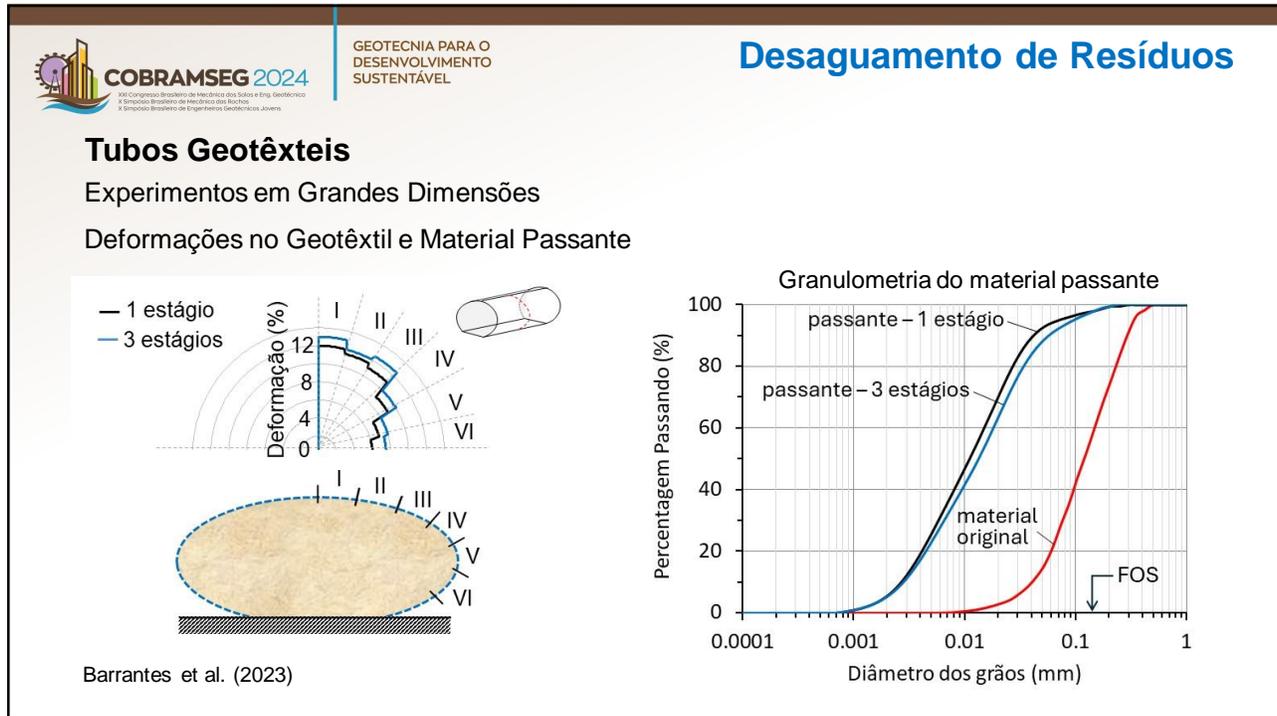


Perímetro inicial do tubo = 2514 mm (dia. = 800 mm)

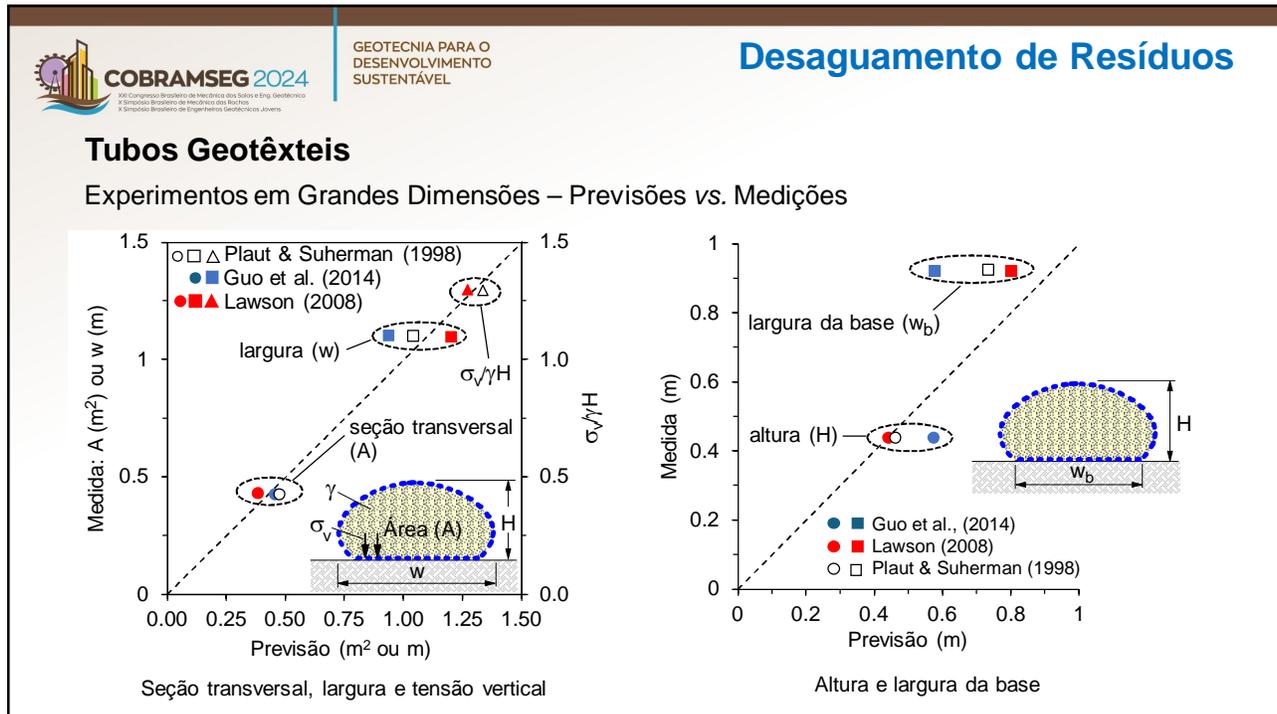
Barrantes et al. (2023)



24



25



26

Desaguamento de Rejeitos de Mineração Experimento de Campo

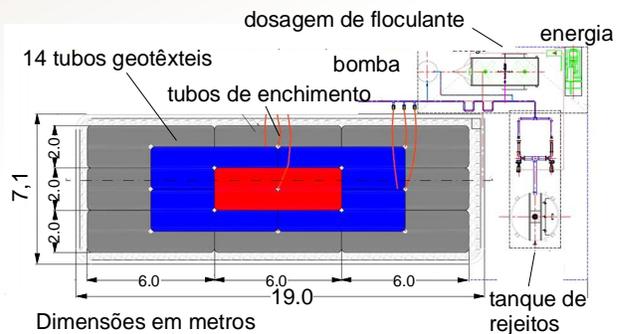
Características:

- Mineradora: FBDM S/A
- Local: Município de Barrocas, BA
- Rejeitos de mineração de ouro
- 14 tubos geotêxteis com 2 m de diâmetro e 6 m de comprimento
- Rejeito: $D_{85} = 0,17 \text{ mm}$, $D_{50} = 0,042 \text{ mm}/0,062 \text{ mm}$, $C_u = 19,6/3,4$ (CD/SD)
- Geotêxtil tecido, $T_{\text{max}} = 110 \text{ kN/m}$, $\epsilon_{\text{max}} = 11\%$, $J = 1000 \text{ kN/m}$

Morais (2020)

27

Desaguamento de Rejeitos de Mineração Experimento de Campo



Silva (2017), Gardoni & Morais (2020), Palmeira et al. (2021)

28

Desaguamento de Rejeitos de Mineração Experimento de Campo

Vista aérea

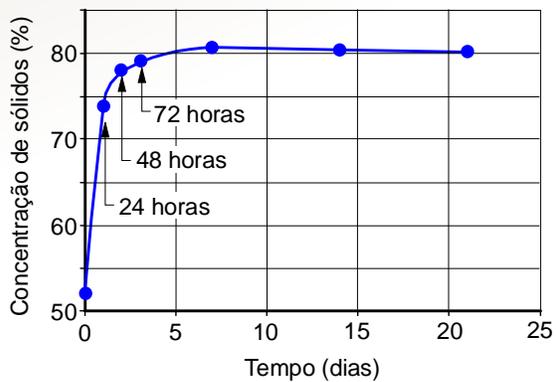


Fotos: cortesia Prof. M.G. Gardoni e F. Moraes

29

Desaguamento de Rejeitos de Mineração Experimento de Campo

Varição de Concentração de Sólidos vs. Tempo



Silva (2017), Gardoni & Moraes (2020), Palmeira et al. (2021)

Rejeito após desaguamento



Cortesia Prof. M.G. Gardoni e F. Moraes

30

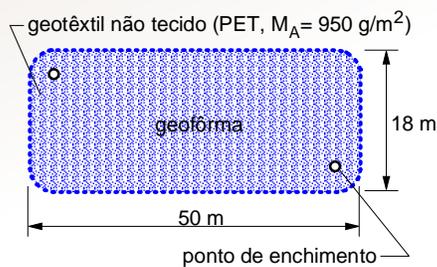
Desaguamento de Rejeitos de Mineração Caso-Histórico – Geofôrmas – UHE Candonga



Cortesia: Terratek, Dr. A. Ortigão, Dr. André Fahel

31

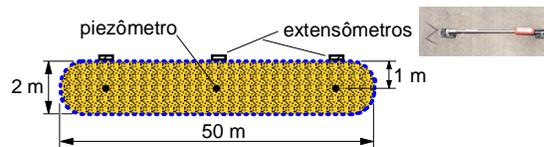
Desaguamento de Rejeitos de Mineração Caso-Histórico



Capacidade de armazenamento: 2350 m^3
 Resistência à tração do geotêxtil: 60 kN/m
 Deformação na ruptura: 79%
 Filtração sob gravidade $> 500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
 Desaguamento de rejeito de minério de ferro
 de dragagem de reservatório (UHE Candonga)



Cortesia: Dr. André Fahel



Cortesia: Terratek, Dr. A. Ortigão, Dr. André Fahel

32

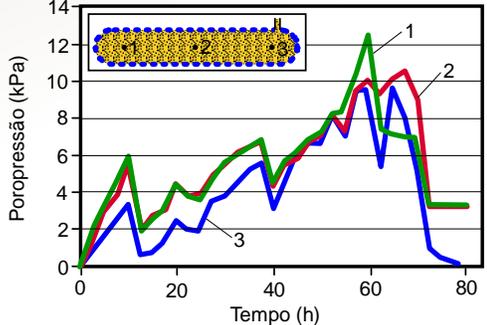


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

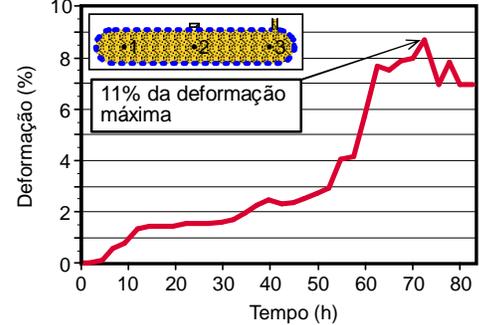
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Desaguamento de Resíduos

Desaguamento de Rejeitos de Mineração Caso-Histórico



Poropressões vs. tempo



Deformações no geotêxtil vs. tempo

Cortesia: Terratek, Dr. A. Ortigão, Dr. André Fahel

33

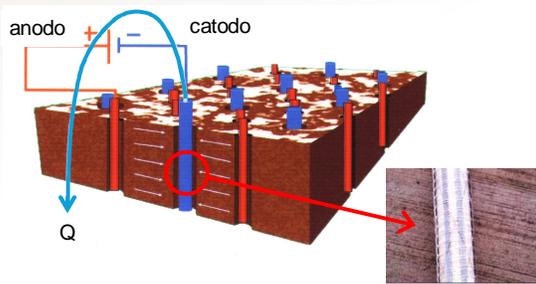


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

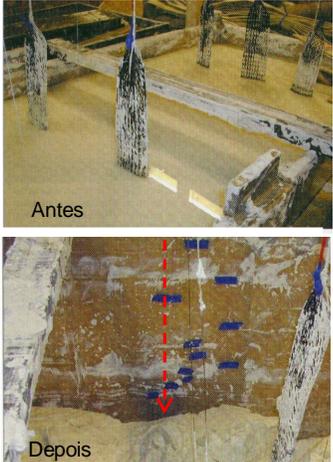
Desaguamento de Resíduos

Desaguamento de Rejeitos Finos e Lodos Drenos Geossintéticos Eletrocínéticos (EKG)



Jones et al. (2006)

- Aceleração de adensamento de solos moles
- Descontaminação de terrenos
- Estabilização de encostas argilosas



34

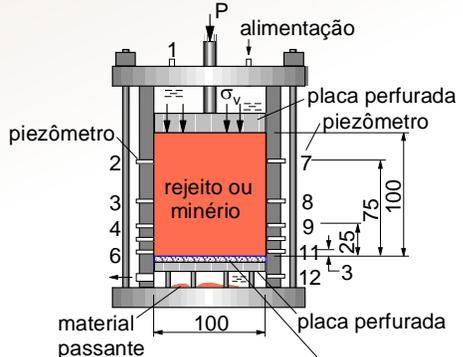


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

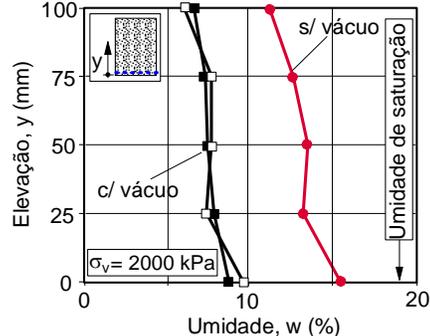
Desagumamento de Resíduos

Desagumamento de Rejeitos Finos e Lodos Drenos Geossintéticos c/ Vácuo



Dimensões em mm.

Ferreira (2009)



Umidade, w (%)

Umidade de saturação

$\sigma_v = 2000 \text{ kPa}$

- ➔ Reduções de umidade: 44% a 48%
50% a 64% da umidade inicial
- ➔ Redução no custo de transporte!

35

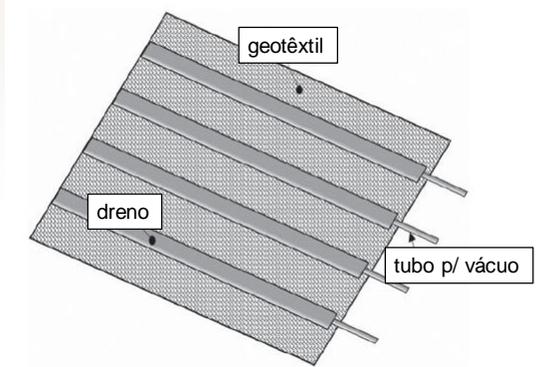


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

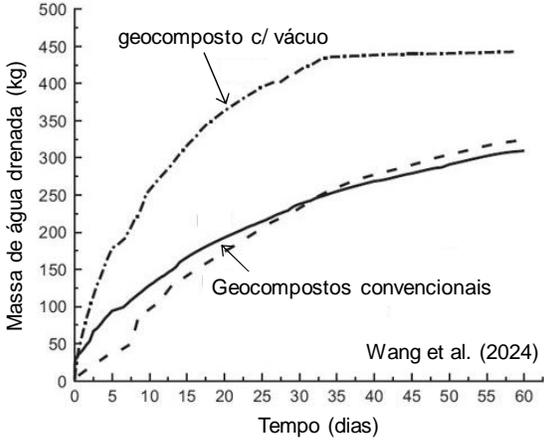
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Desagumamento de Resíduos

Desagumamento de Rejeitos Finos e Lodos Drenos Geossintéticos c/ Vácuo



Chen et al. (2023)



Massa de água drenada (kg)

Tempo (dias)

Wang et al. (2024)

36

 **COBRAMSEG 2024**
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões

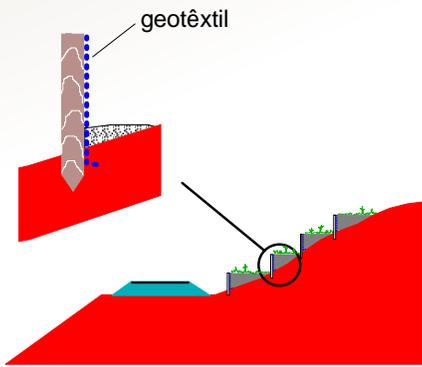
37

 **COBRAMSEG 2024**
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões Barreira de Sedimentos

Barreiras de Sedimentos (*Silt Fences*)



geotêxtil



38



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Barreira de Sedimentos

Barreiras de Sedimentos (*Silt Fences*)

Ensaio em Grande Escala




Ensaio em geotêxteis mais leves (mais econômicos). Capacidade de retenção?

Farias et al. (2006)

39



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

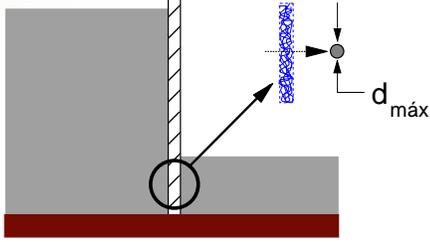
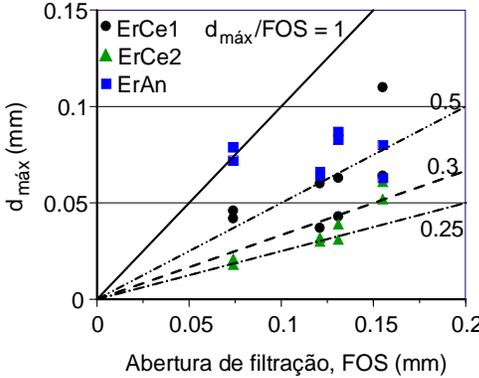
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Barreira de Sedimentos

Barreiras de Sedimentos (*Silt Fences*)

Ensaio em Grande Escala

Diâmetro da partícula passante vs. abertura de filtração do geotêxtil

Farias et al. (2006)

40



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Barreira de Sedimentos

Barreiras de Sedimentos (*Silt Fences*)

Aplicações no Campo

Obras de Baixo Custo no Distrito Federal




41



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Barreira de Sedimentos

Barreiras de Sedimentos (*Silt Fences*)

Aplicações no Campo




DF

Serra da Mesa, GO (Eletrobras/Furnas)

Conclusões

- Os geotêxteis leves ensaiados tiveram capacidade de retenção satisfatória
- Redução de custos desse tipo de solução

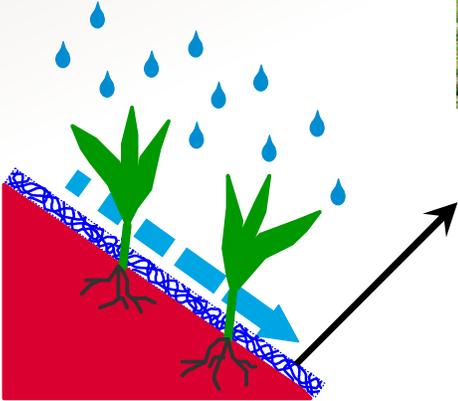
42

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Erosão Superficial

Proteção do Terreno com Geossintéticos
Geocélulas e Geomantas



43

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Erosão Superficial

Geomantas Investigadas



Geomanta A
GMT-A

Geomanta B
GMT-B

Geomanta C
GMT-C

Geomanta D
GMT-D

Melo et al. (2021)

44

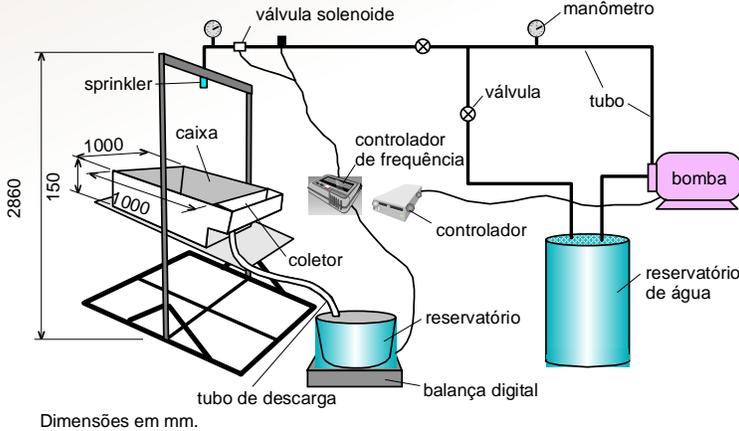


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Erosão Superficial

Equipamento (Simulador de Chuvas)



Dimensões em mm.



Melo et al. (2021)

45

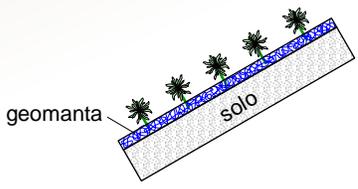


COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Controle de Erosões
Erosão Superficial

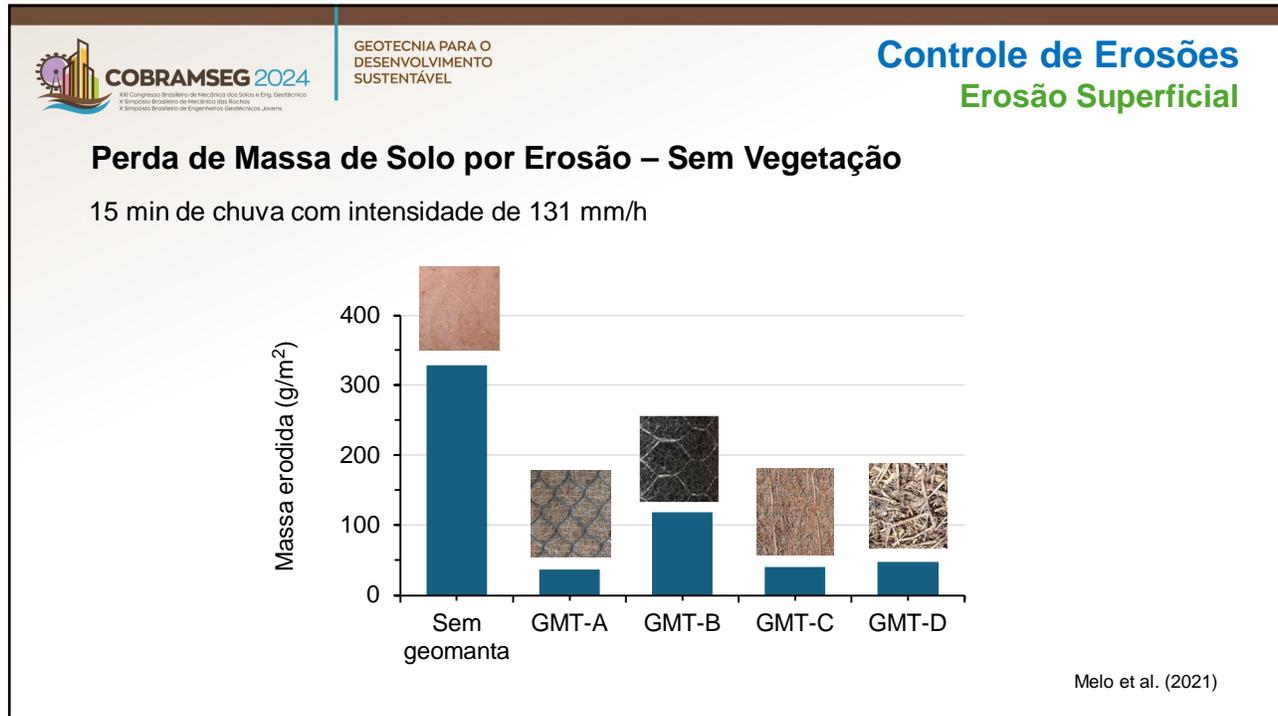
Influência da Presença de Vegetação



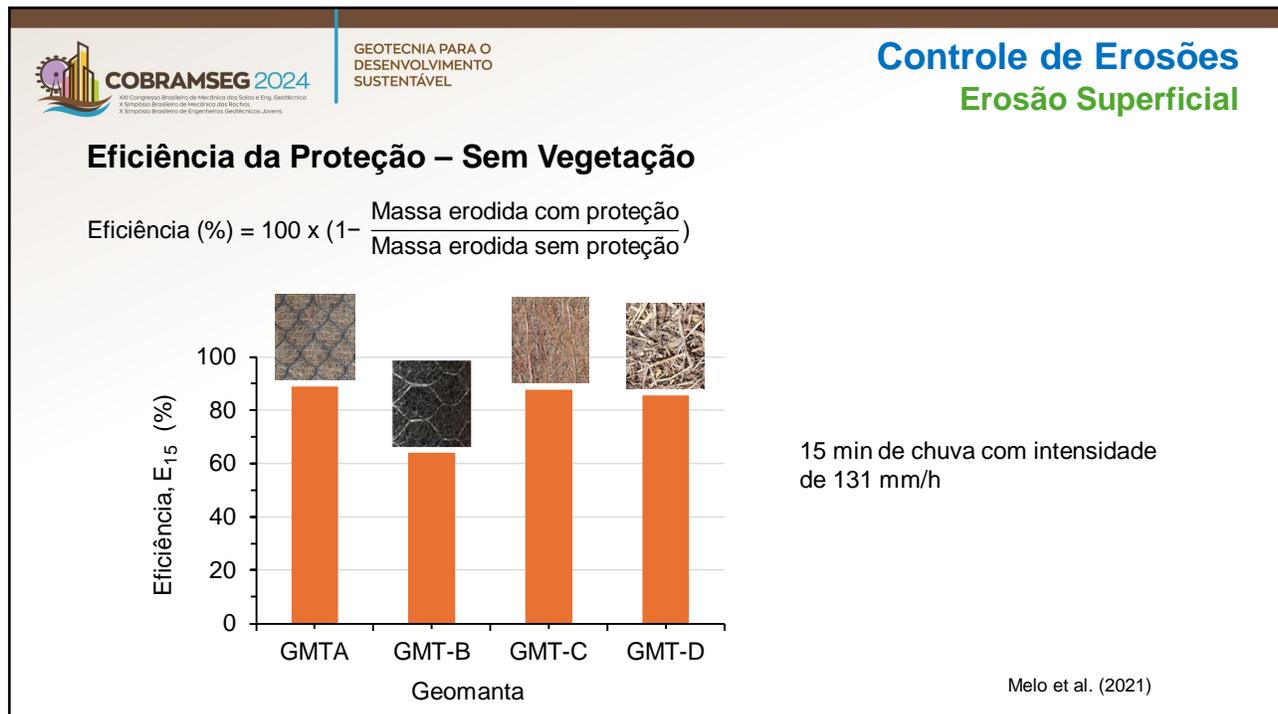
Densidade da Vegetação		
Densidade 1	Densidade 2	Densidade 3
		
Percentagem de cobertura 24%	Percentagem de cobertura 42%	Percentagem de cobertura 76%

Melo et al. (2021)

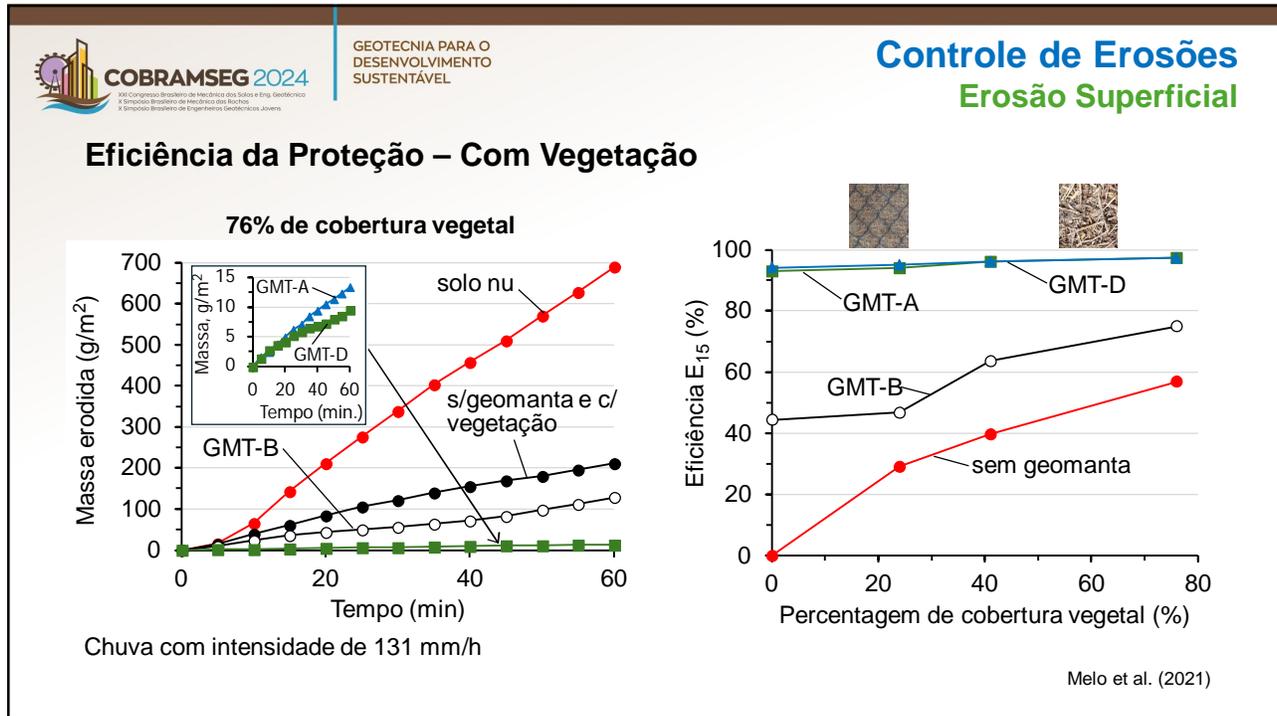
46



47



48



49



50

COBRAMSEG 2024
 VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
 X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Fluidos
 X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos
Proteção de Recursos Hídricos

Cortinas de Turbidez (Floating Silt Curtains)
 Retenção de Sedimentos

água c/ turbidez elevada
 material floculado
 cortina de turbidez
 corrente
 fluxo de lama
 profundidade efetiva da cortina
 sedimento de fundo

Fonte: Modificado de Johanson (1978)

51

COBRAMSEG 2024
 VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
 X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Fluidos
 X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos
Proteção de Recursos Hídricos

Cortinas de Turbidez (Floating Silt Curtains)
 Princípio de Funcionamento

52

Cortinas de Turbidez (*Floating Silt Curtains*) Caso Histórico

- Localização: Município de Patrocínio, Triângulo Mineiro, MG
- Depósito de estéril de mineração de rocha fosfática
- Volume: 35,5 Mm³
- Área ocupada: 9,34 ha
- Altura máxima: 137 m
- Inclinação dos taludes: H:V = 2:1
- Preocupação c/ assoreamento de cursos d'água vizinhos



Macedo (2023)

53

Cortinas de Turbidez (*Floating Silt Curtains*) Caso Histórico

Sistema de Drenagem para Escoamento Superficial



Macedo (2023)



→ Córrego Bonito → Ribeirão Salitre

54

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos
Proteção de Recursos Hídricos

Cortinas de Turbidez (Floating Silt Curtains)
Caso Histórico

Instalação das Cortinas



Macedo (2023)

55

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos
Proteção de Recursos Hídricos

Cortinas de Turbidez (Floating Silt Curtains)
Caso Histórico

Cortinas Instaladas



56



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos
Proteção de Recursos Hídricos

Cortinas de Turbidez (Floating Silt Curtains)
Caso Histórico

Barreira de Sedimentos Auxiliar



barreira de sedimentos

57



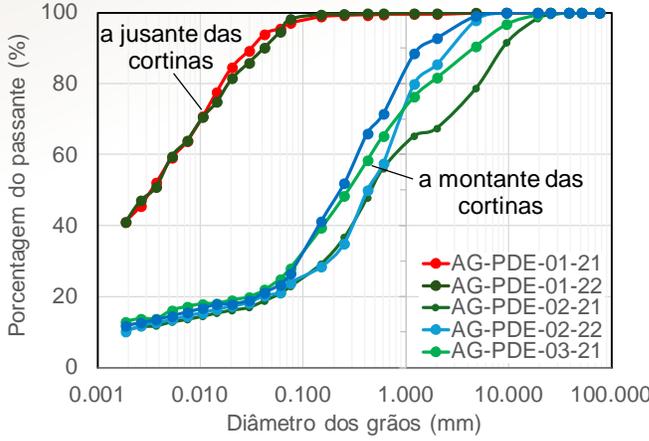
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

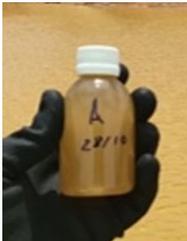
Geossintéticos
Proteção de Recursos Hídricos

Cortinas de Turbidez (Floating Silt Curtains)
Caso Histórico

Granulometria dos Sedimentos e Turbidez



- Redução de turbidez de até 93% para fluxo intenso (regime lóxico).
- Pouca redução no regime lântico (influência de direção de ventos e da temperatura)



Montante das cortinas



Jusante das cortinas

58



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Proteção de Recursos Hídricos

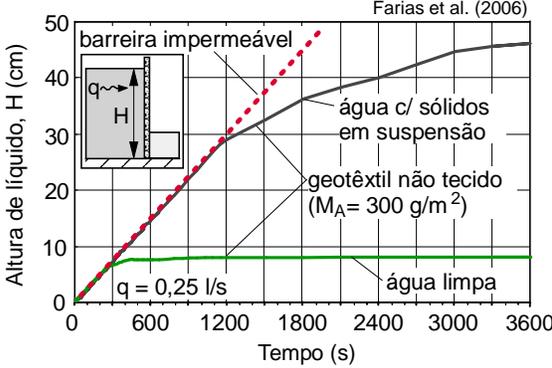
Cortinas de Turbidez (*Floating Silt Curtains*)

Caso Histórico

Colapso Parcial da Barreira de Sedimentos após Chuvas Atípicas na Região



Macedo (2023)



Importância da existência de vertedor e limpezas (ou trocas) periódicas do geotêxtil

59



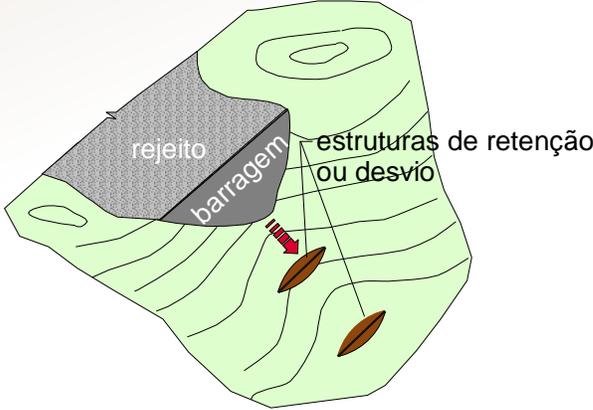
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

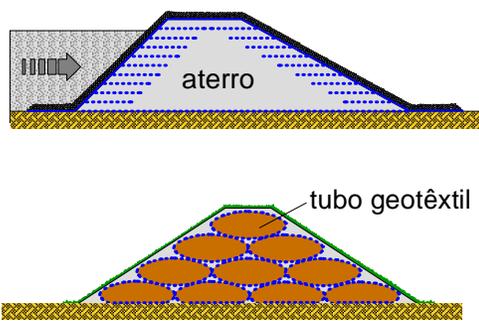
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Proteção Contra Inundações

Sistemas de Contenção/Proteção contra Vazamentos e Inundações Estruturas Temporárias ou Permanentes





60



COBRAMSEG 2024
XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

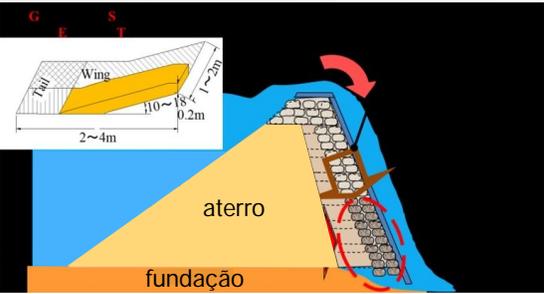
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

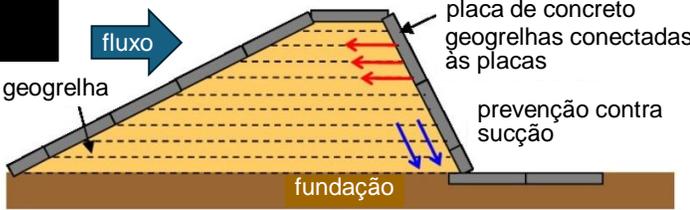
Proteção Contra Inundações

Sistemas de Contenção/Proteção contra Vazamentos e Inundações

Experiência Japonesa – Tsunamis/Terremotos



aterro
fundação



fluxo
geogrelha
placa de concreto
geogrelhas conectadas às placas
prevenção contra sucção
fundação

Kuwano et al. (2018)

61



COBRAMSEG 2024
XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

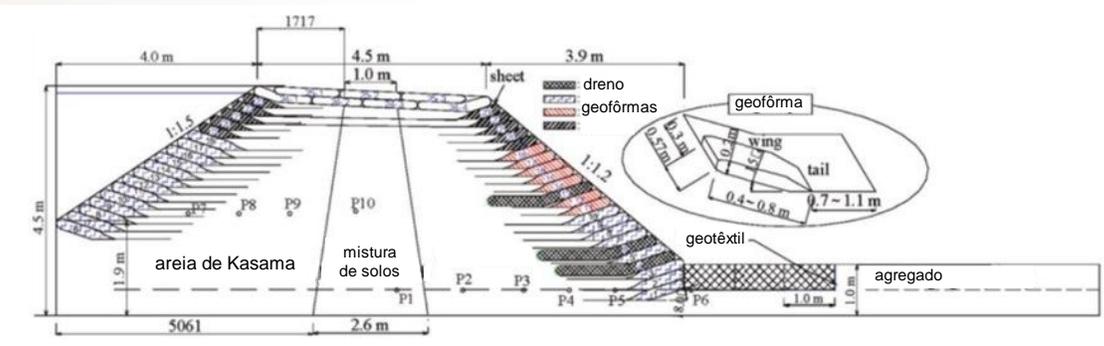
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Proteção Contra Inundações

Sistemas de Contenção/Proteção contra Vazamentos e Inundações

Experiência Japonesa – Tsunamis/Terremotos



Mori et al. (2007), Kuwano et al. (2018)

62



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

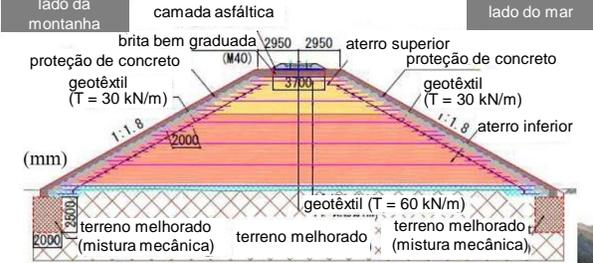
GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos

Proteção Contra Inundações

Sistemas de Contenção/Proteção contra Vazamentos e Inundações

Experiência Japonesa – Tsunamis/Terremotos



lado da montanha camada asfáltica lado do mar

proteção de concreto (M40) aterro superior proteção de concreto

geotêxtil (T = 30 kN/m) geotêxtil (T = 30 kN/m)

1:1.8 2000 aterro inferior

(mm)

2000 terreno melhorado (mistura mecânica) geotêxtil (T = 60 kN/m) terreno melhorado (mistura mecânica)

Utilização para controle de inundações

→ Aplicações em mineração

Shindo & Tatsuoka (2017)

Geocélula preenchida com concreto



63



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais de Construção Alternativos

64

Geossintéticos e Materiais Alternativos - Garrafas PET e Pneus

Danos Ambientais



65

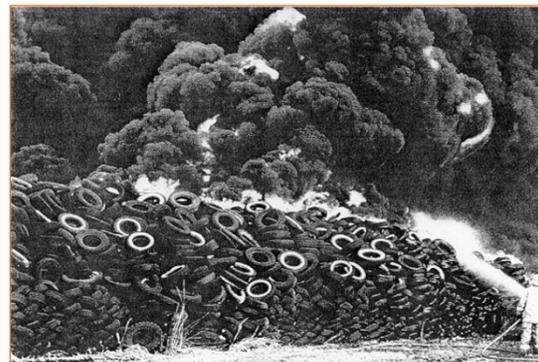
Geossintéticos e Materiais Alternativos - Garrafas PET e Pneus

Danos Ambientais



Danos ao meio ambiente
 Perigos à saúde pública

Incêndios



66

COBRAMSEG 2024
XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos - Garrafas PET e Pneus

Garrafas PET e Pneus Usados com Meios Drenantes



Garrafas PET prensadas



Pneus usados

67

COBRAMSEG 2024
XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos - Garrafas PET e Pneus

Garrafas PET e Pneus Usados com Meios Drenantes



Filtro de geotêxtil não tecido



Tiras de pneus + filtro geotêxtil



Garrafas PET prensadas

Econômico quando materiais naturais são escassos!

68



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simóbio Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simóbio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos - Garrafas PET e Pneus

Garrafas PET em Trincheiras de Infiltração

Trincheiras de infiltração para combate a inundações em áreas urbanas






Silva (2012)

69



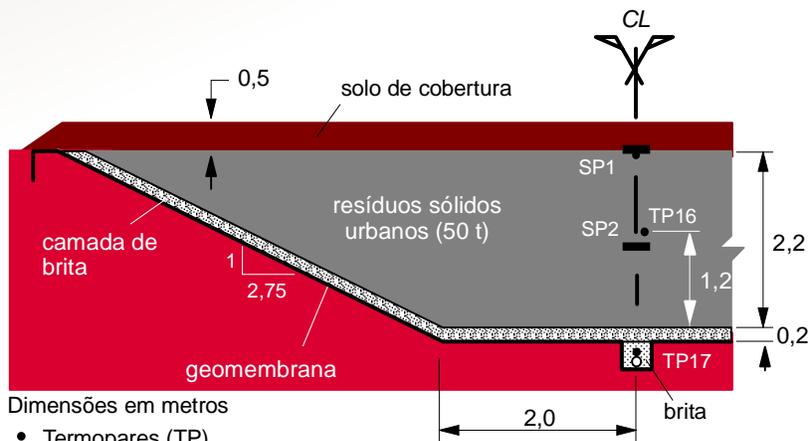
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simóbio Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simóbio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos - Garrafas PET e Pneus

Pneus e Geotêxtil para Drenagem em Aterros Sanitários

Célula Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos Convencional

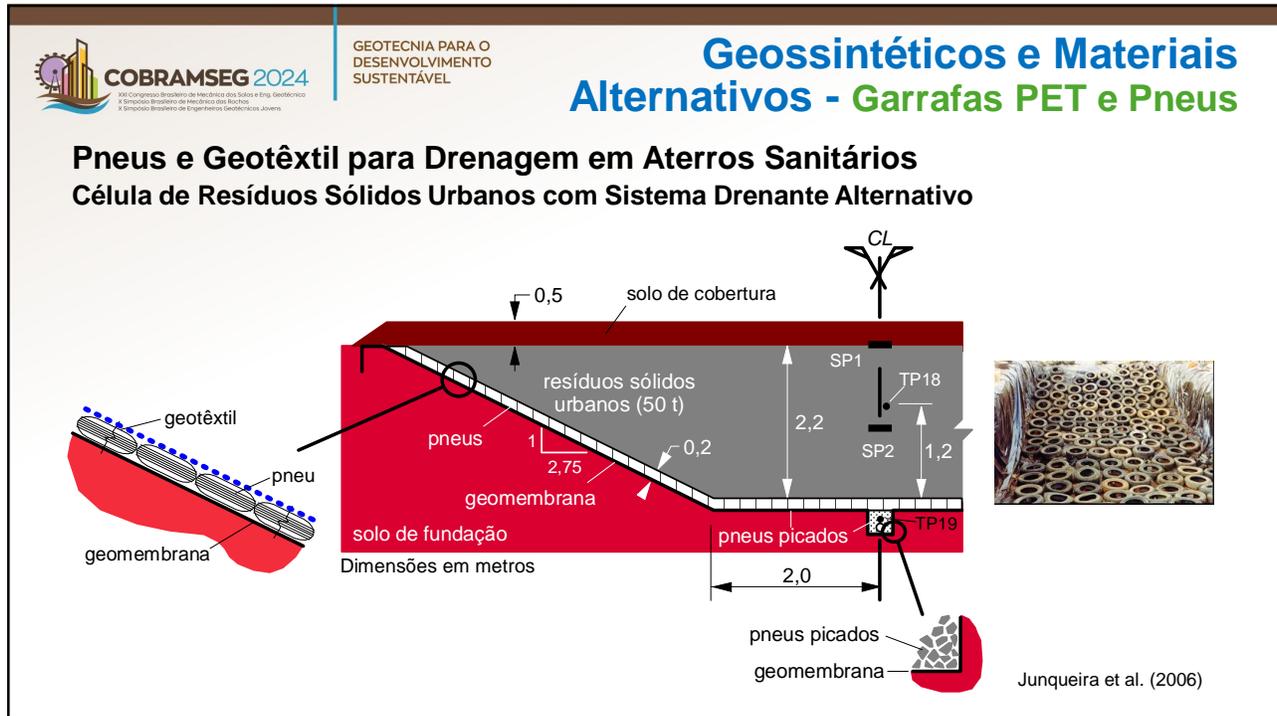


Dimensões em metros

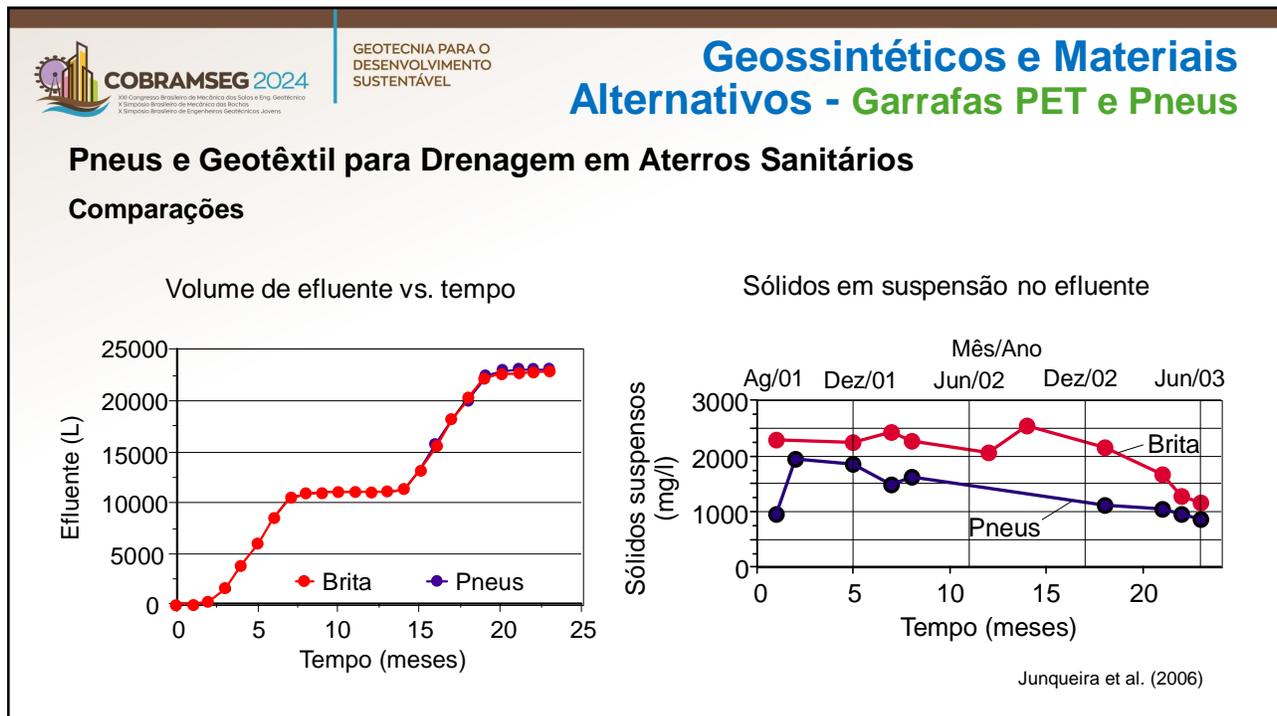
- Termopares (TP)
- Placas de recalques (SP)

Junqueira *et al.* (2006)

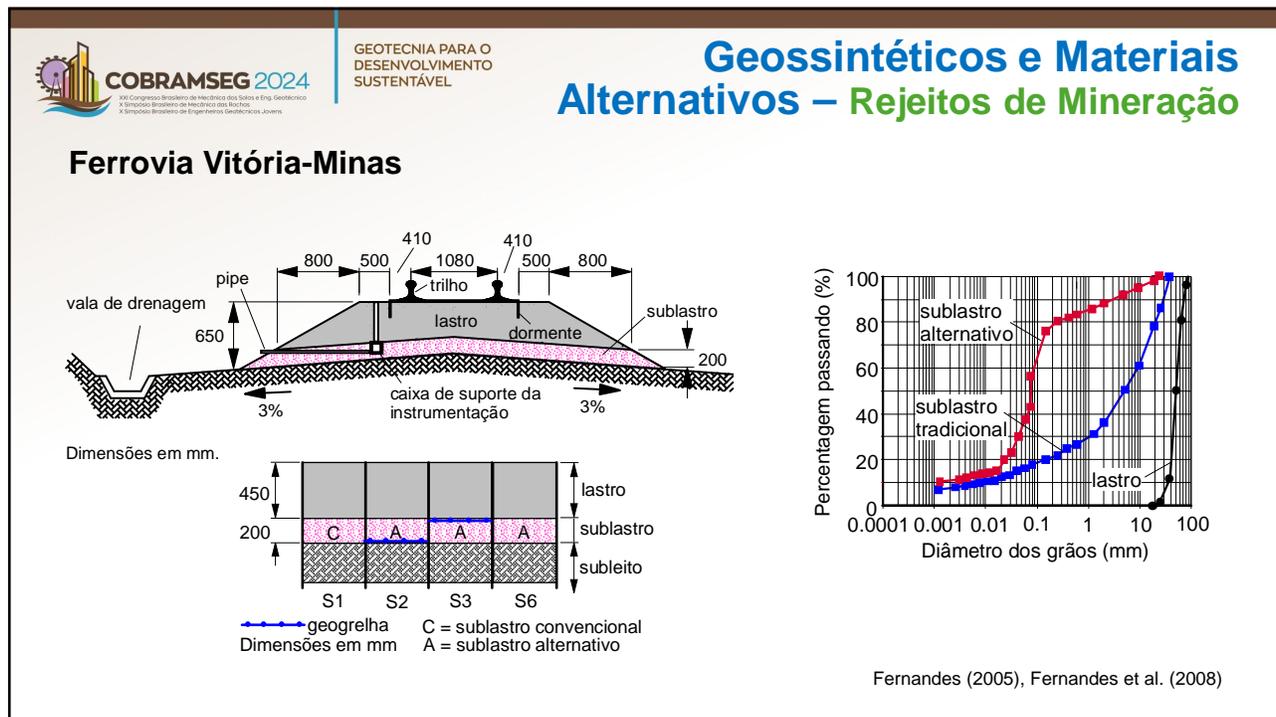
70



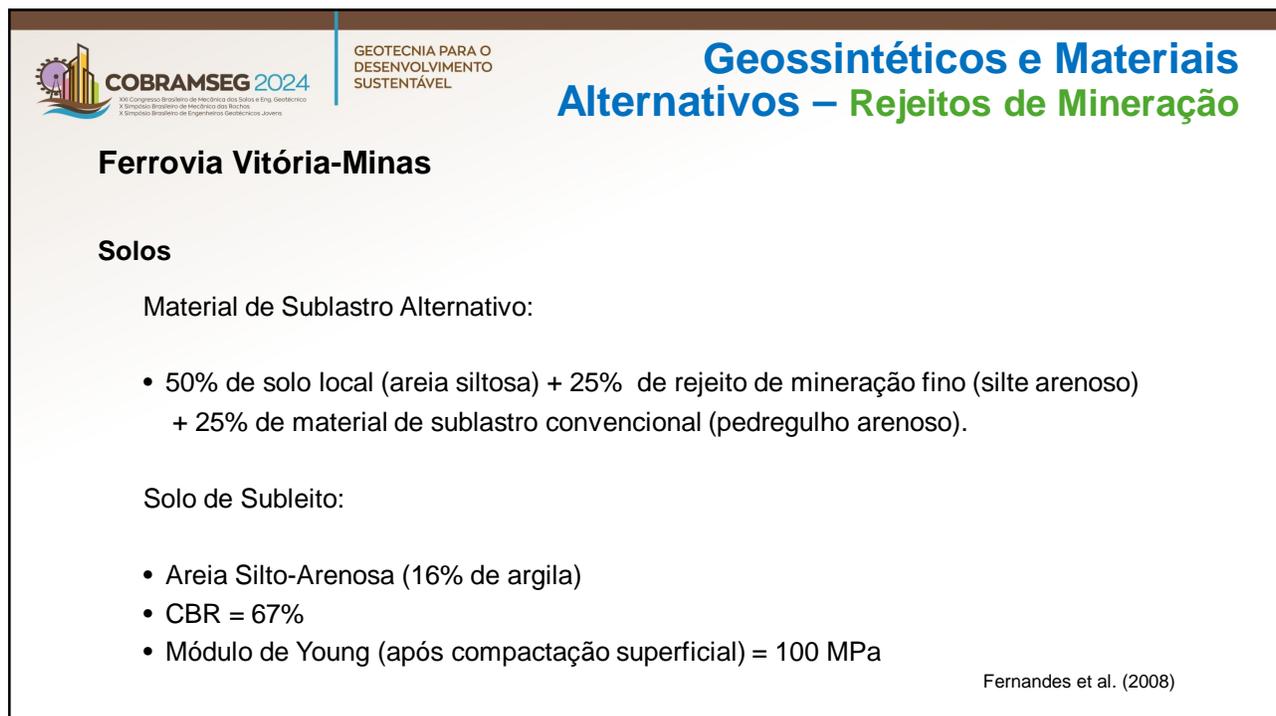
71



72



73



74

Ferrovias Vitória-Minas

Reforço

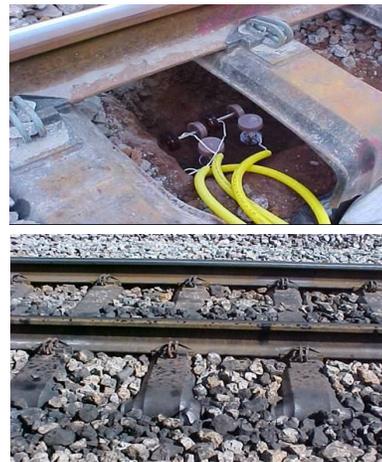
- Geogrelha com aberturas com 30 mm x 30 mm
- Filamentos de poliéster revestidos com PVC
- Resistência à tração (ensaio de faixa-larga) = 65 kN/m
- Deformação à tração máxima = 10 %
- Rigidez à tração ($J_{5\%}$) = 520 kN/m

75

Ferrovias Vitória-Minas



Obs: mesmo tráfego nas seções experimentais e na ferrovia



76



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos – Rejeitos de Mineração

Ferrovía Vitória-Minas

Alguns Resultados

Ensaio de viga Benkelman

Deformações horizontais no sublastro

Fernandes (2005), Fernandes et al. (2008)

77



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos – Rejeitos de Mineração

Ferrovía Vitória-Minas

Quebra de Grãos do Material de Lastro

Quebra de grãos do lastro

Fernandes et al. (2008)

—●— geogrelha C = sublastro convencional
 A = sublastro alternativo

➔ **Redução de custos de manutenção**

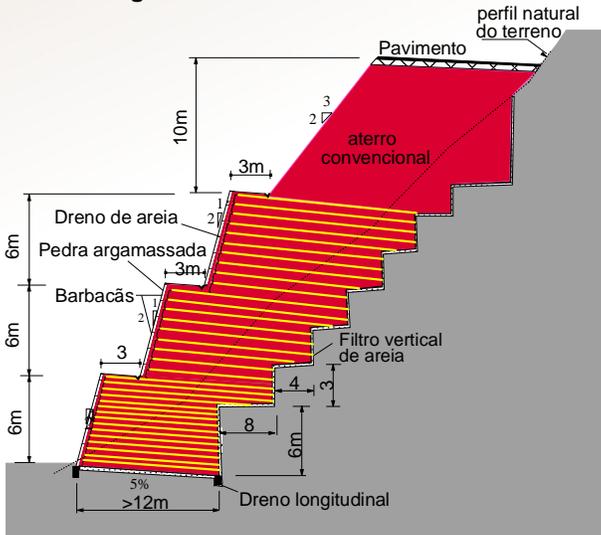
78

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos – Rejeitos de Mineração

Variante da Ingá – BR 381



Reforço:
Geotêxtil não tecido (600 g/m²)
Espaçamento: 0,2 a 0,4m

Material de aterro na massa reforçada:
Rejeito de minério de ferro
30% a 40% passando na # 200

Martins (2002)

79

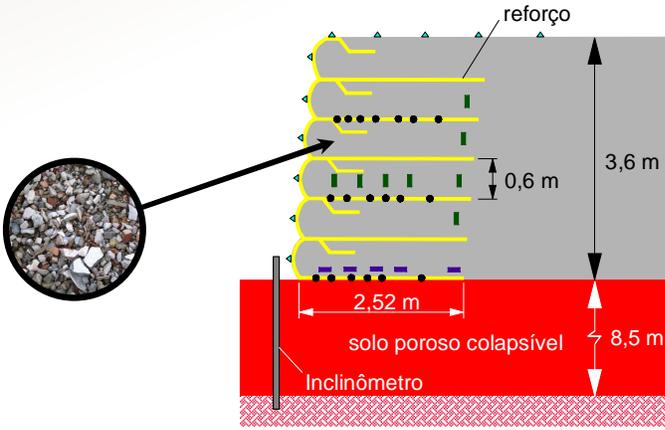
COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Rochos
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos – Resíduos de Construção

Muros Reforçados Experimentais – RCDR

Seção Transversal dos Muros Experimentais



Santos et al. (2014)

80

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos – Resíduos de Construção

Muros Reforçados Experimentais - RCDR

Vista dos Muros ao Final da Construção



Santos et al. (2014)

81

COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simposio Brasileiro de Engenharia Geotécnicas Jovens

GEOTECNIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais Alternativos – Resíduos de Construção

Colapso do Solo Poroso de Fundação por Aumento de Umidade

Casos Comuns



82



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais

Alternativos – Resíduos de Construção

Muros Reforçados Experimentais - RCDR

Sistema de Inundação do Solo de Fundação



reservatórios

Santos (2011)



Objetivo: avaliar as consequências do colapso do solo de fundação no comportamento dos muros

83



COBRAMSEG 2024
XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnicos
X Simposio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

Geossintéticos e Materiais

Alternativos – Resíduos de Construção

Muros Reforçados Experimentais - RCDR

Materiais

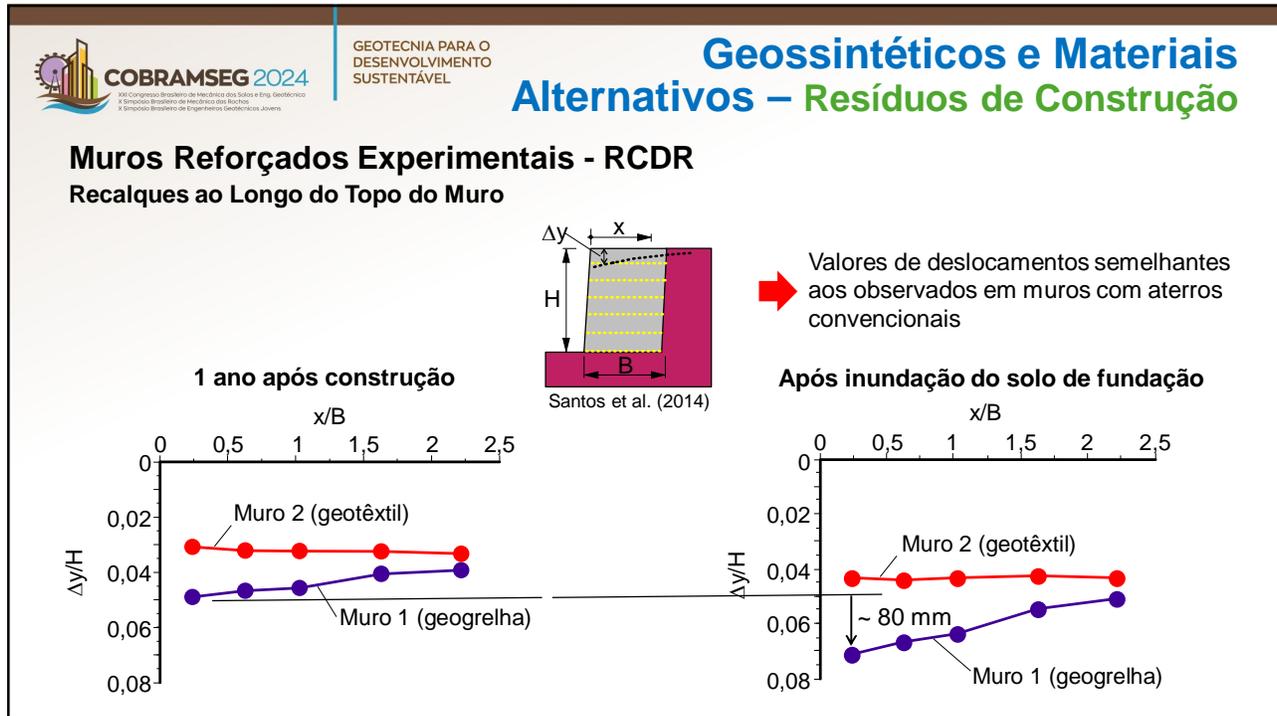
RCDR	
Propriedade	Valor
D ₈₅ (mm)	15,0
D ₅₀ (mm)	2,1
D ₁₀ (mm)	0,032
C _U	106
pH do aterro	8,9
Peso específico (kN/m ³)	17,8
Umidade (%)	6,6
Ângulo de atrito (graus)	41
Coesão (kPa)	6

Propriedade	Geossintéticos	
	Geogrelha (Muro 1)	Geotêxtil NT (Muro 2)
Polímero	Poliéster	Polipropileno
Aberturas (mm x mm)	20 x 20	NA
Resistência à tração (kN/m)	20 ⁽¹⁾	24 ⁽¹⁾
Rigidez à tração(kN/m), J _{5%}	300	15 ⁽¹⁾ ≅ 160-280 ⁽²⁾
Deformação máxima (%)	12 *	70

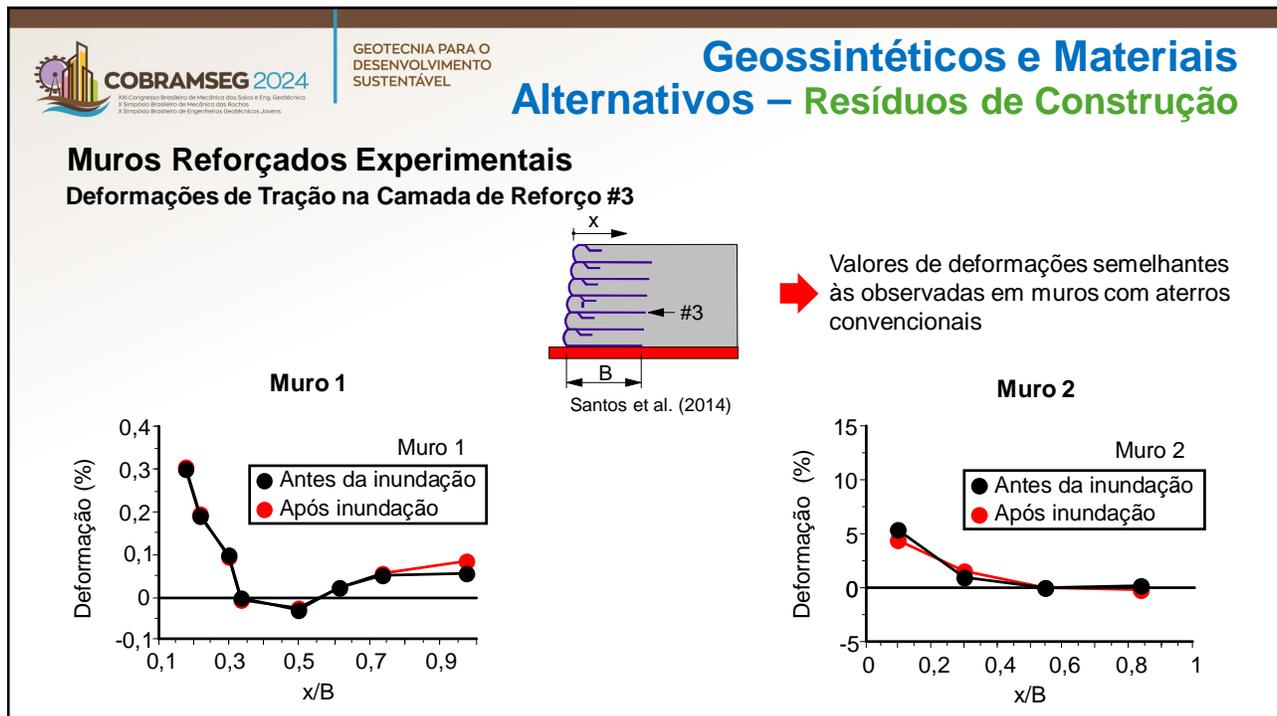
Notas: D_n = diâmetro das partículas passantes correspondente a n% em massa; C_U = coeficiente de uniformidade do solo (= D₆₀/D₁₀).

Notas: NA = não aplicável; (1) na direção do carregamento (membros transversais), Santos (2011); (2) Faixa de variação para ensaios de tração confinados por aterros similares; Dados de fabricantes, exceto onde indicado o contrário. Propriedades sob tração segundo a ASTM D6637.

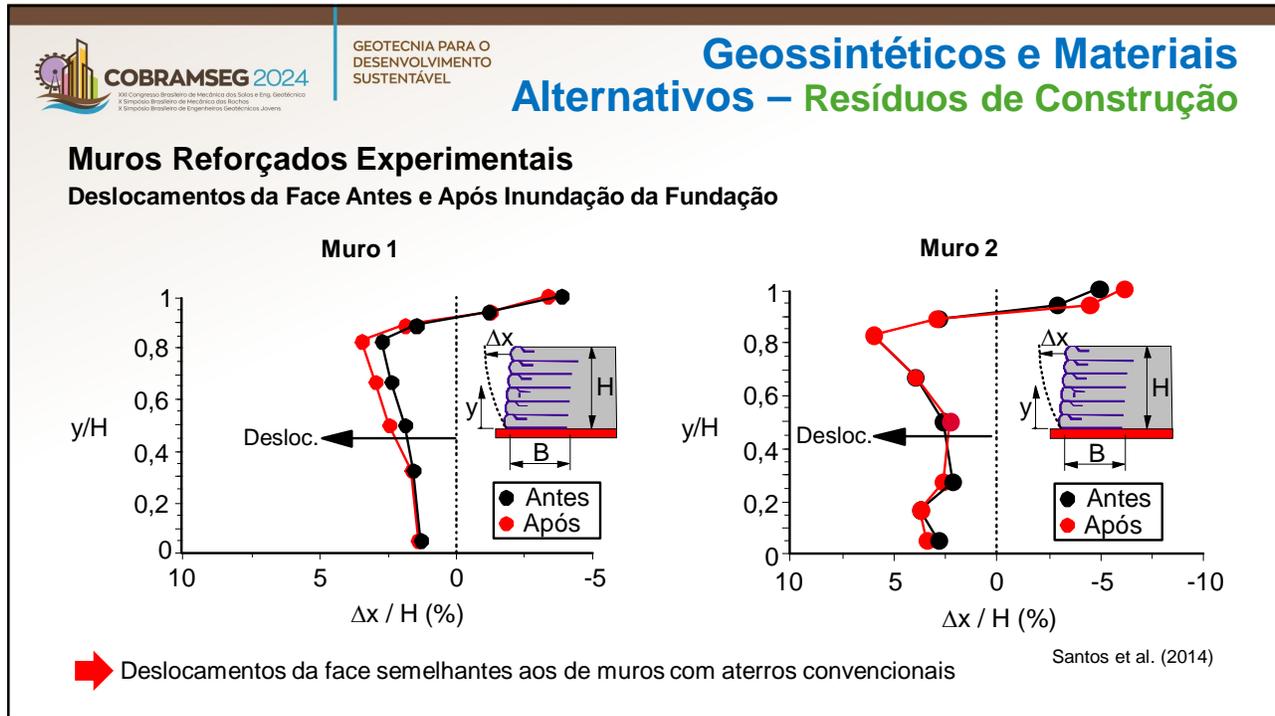
84



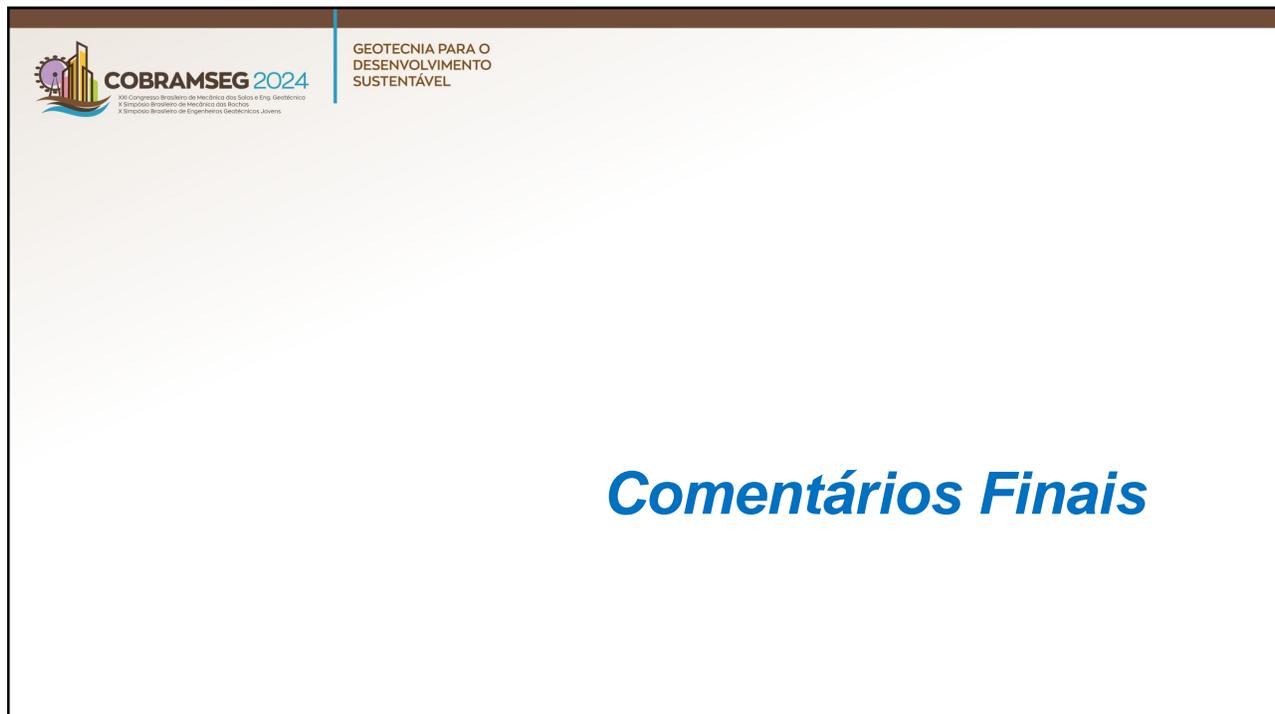
85



86



87



88

- Mudanças climáticas vieram para ficar
- Eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes
- Soluções com geossintéticos para combate a consequências desses eventos
- Geossintéticos fornecem soluções de engenharia mais sustentáveis
- Geossintéticos podem viabilizar a utilização de rejeitos, resíduos etc.
- Desenvolvimentos em ciências dos materiais → geossintéticos inteligentes, produtos mais modernos etc.

89

- ABMS
- Comissão Organizadora do Cobramseg 2024
- UnB e órgãos de fomento
- Alunos de graduação e pós-graduação
- Empresas parceiras de geossintéticos

90



COBRAMSEG 2024
XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnica
X Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

**GEOTECNIA PARA O
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

Obrigado pela atenção!

91



COBRAMSEG 2024
XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Eng. Geotécnica
X Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

Realização

Apoio

Apoio Institucional

Organização



92