



Biorremediação

Eng. Ambiental Sérgio Veríssimo Filho
Esp. Remediação de Áreas Contaminadas



Biorremediação

Entendendo melhor o processo biológico.

Porquê Biorremediação?

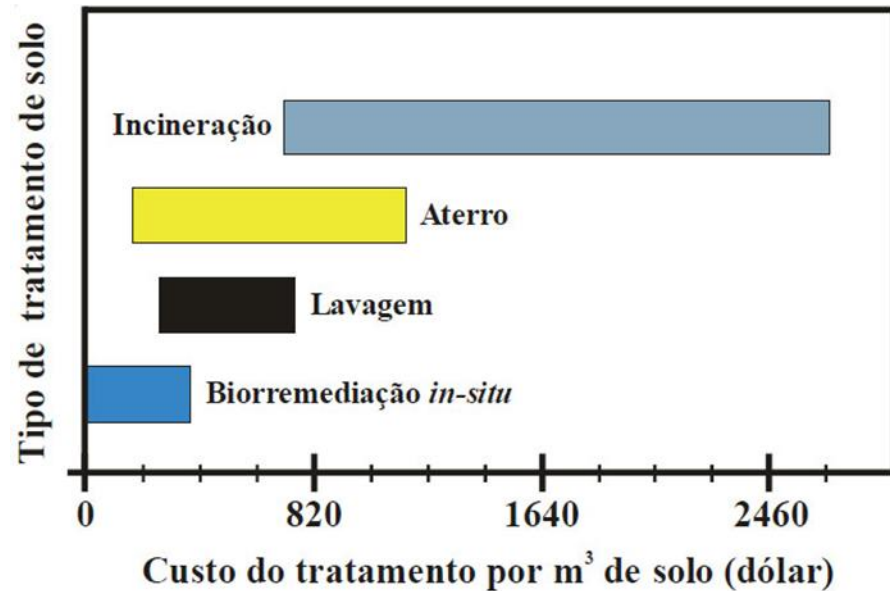
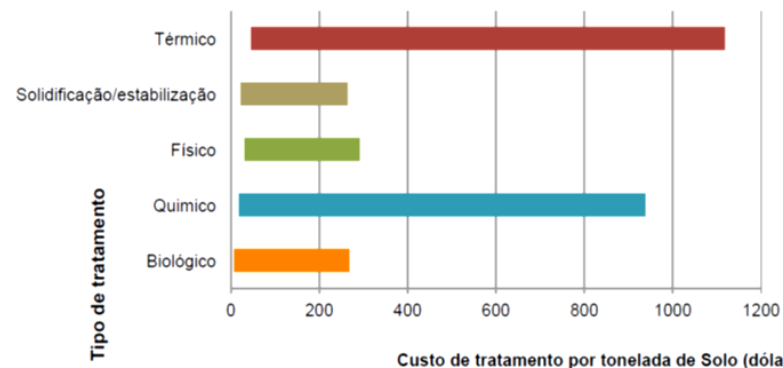


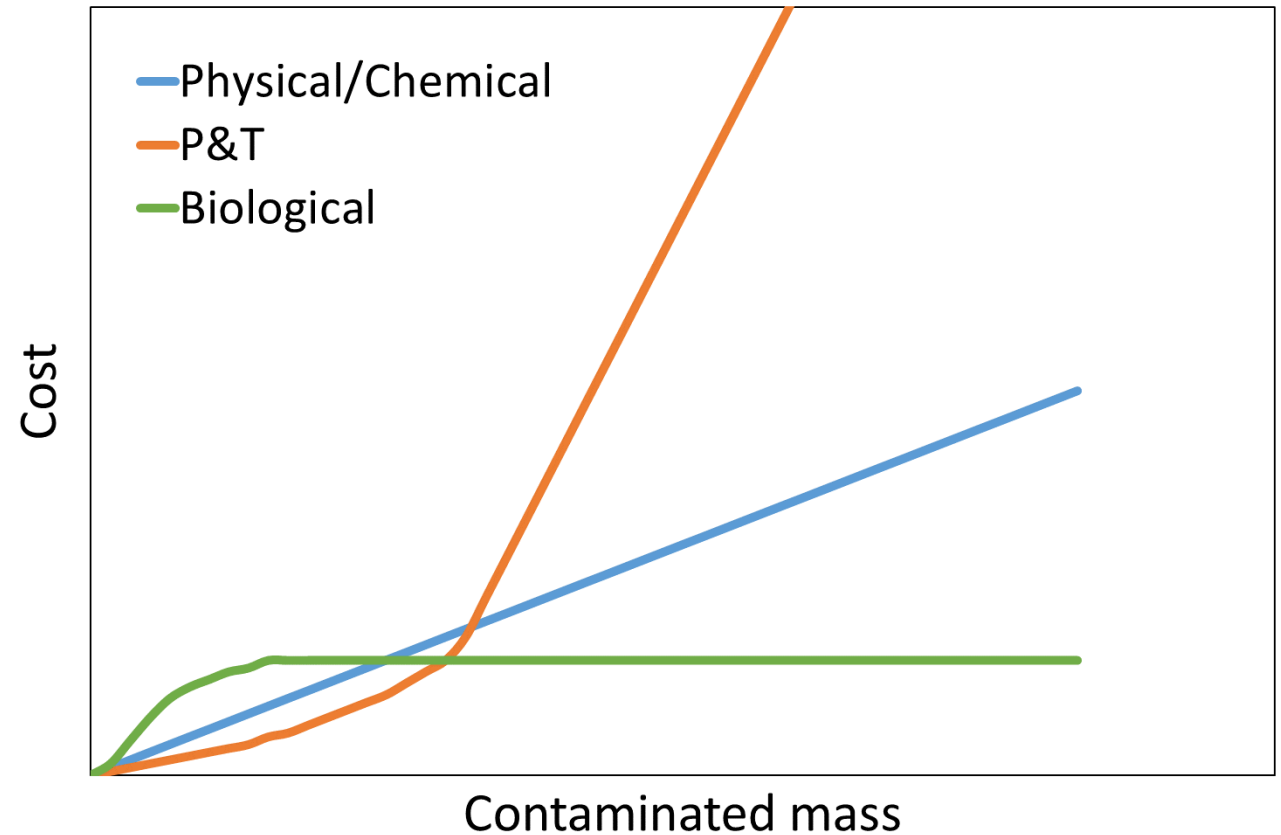
Figura 1. Comparação entre os custos do tratamento de solos empregando diferentes técnicas de remediação (modificado de EPA)

Figura 3 - Comparação entre os custos do tratamento de solos empregando diferentes técnicas de tratamento

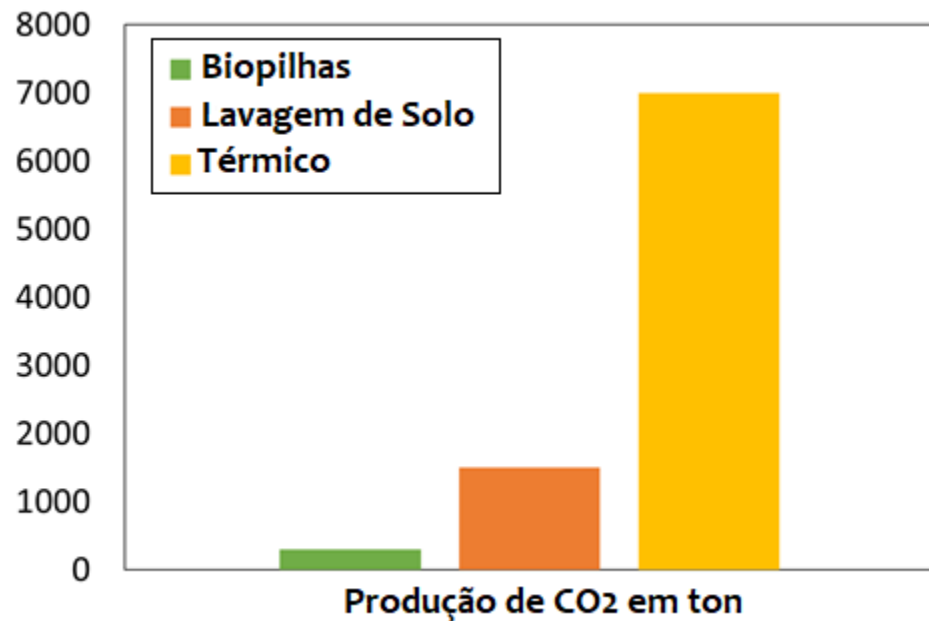
Fonte: Elaborado pelos autores com dados de Juwarkar, Singh e Mudhoo (2010)



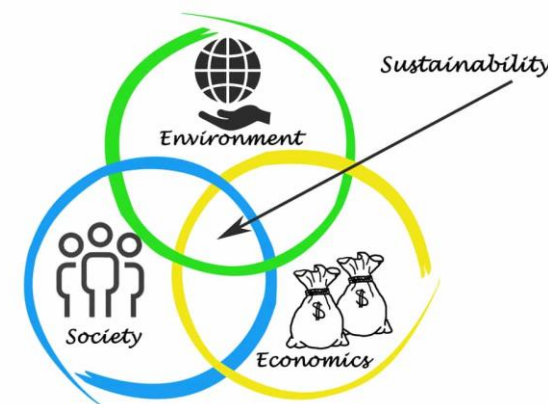
(IPT, 2014 1ª Edição, Guia de Gerenciamento de Áreas Contaminadas)



Sustentabilidade



- Eficiência de custo: Risco reduzido em grandes volumes
- Tecnologia robusta
- Redução de poluentes atmosféricos e gases do efeito estufa: pegada de CO₂
- Baixa geração de resíduo
- Uso de energias renováveis
- Proteção do Ecossistema
- Índice de Sustentabilidade Dow Jones



Abordagens



- ✓ Biorremediação Natural Estimulada (bioestimulação)
- ✓ Criando ótimas condições para as bactérias existentes no próprio site
- ✓ Nenhum inóculo ou substância exótica é injetada no meio
- ✓ Degradação Aeróbica (adição de oxigênio e nutrientes)
- ✓ Degradação Anaeróbica (adição de Dehalo GS[®], decloração redutiva)



Técnicas

A GreenSoil Group é especializada em técnicas de remediação com o viés biológico.

Metodologia GS



In-Situ

- Sistemas de Recirculação (Extração e Infiltração) com Biorreator
- Bioasping e Bioventing (aeróbico)
- Bioscreens (aeróbico e anaeróbico)

On-Site

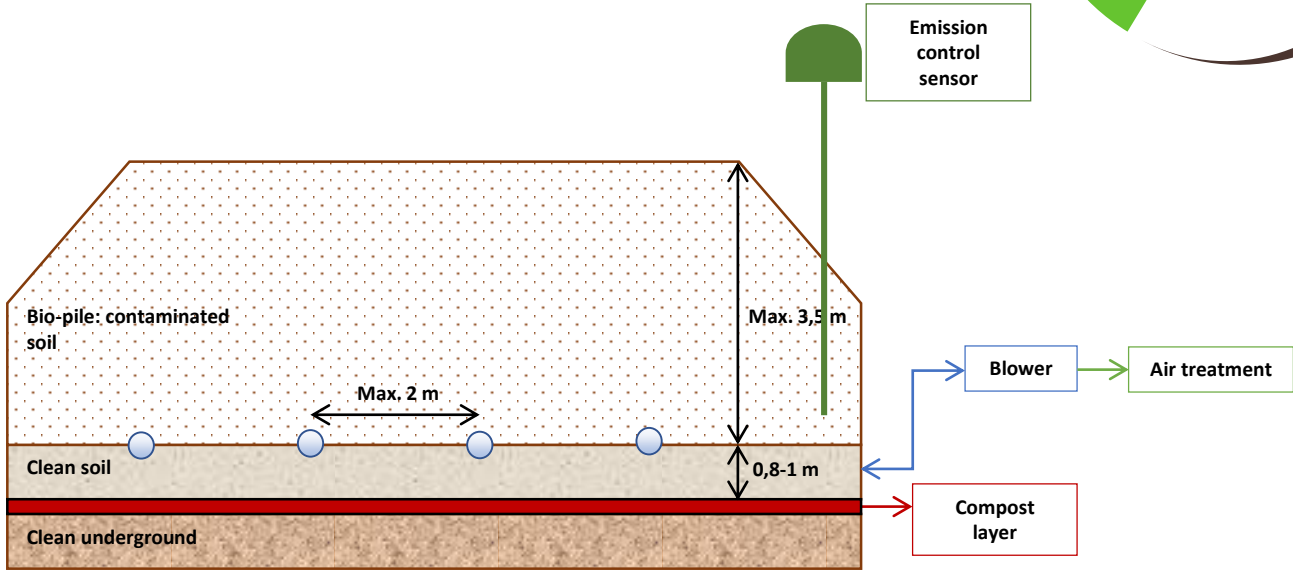
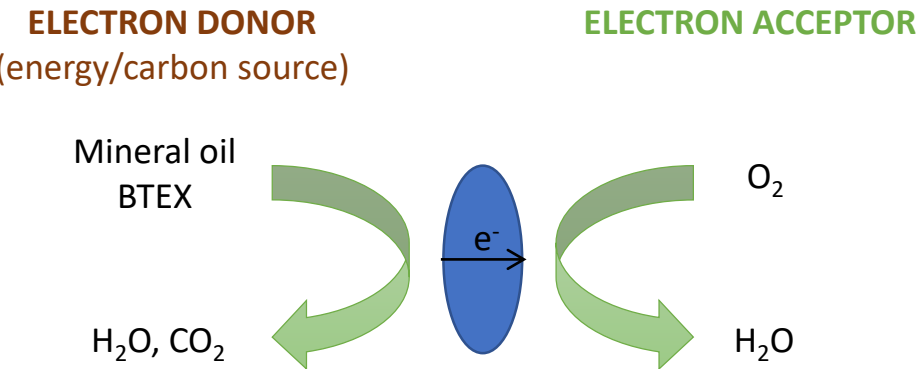
- BioPilhas
- Tratamento de solo anaeróbico
- Físico-químico móvel (em parceria)

Ex-Site

- Tratamento do solo contaminado em Biopintas

- ✓ Combinados com tratamento biológico de água subterrânea e de ar:
 - Compostagem, filtros de carvão ativado...
- ✓ Se necessário consorciamos com outras técnicas:
 - Escavação, SVE, MPE, AS, P&T, redução química/oxidação, recirculação de água subterrânea, aquecimento limitado...

Landfarming



Contaminantes Aeróbicos



- Hidrocarbonetos, álcoois, éteres, compostos de baixa cloração, COD, etc.
- Oxigênio extremamente importante.

NUTRIENTES E OXIGÊNIO

hydrocarbons

H₂O, CO₂



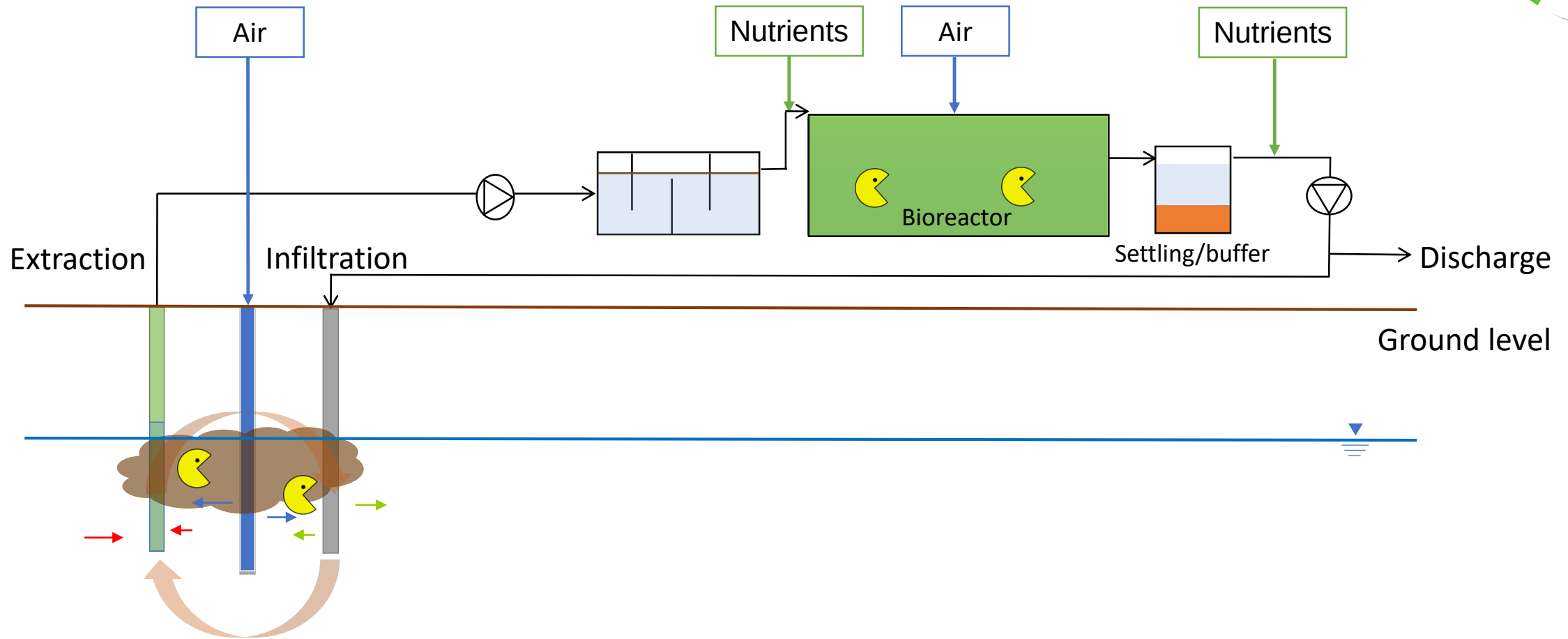
RECEPTOR DE ELÉTRON

O₂

H₂O

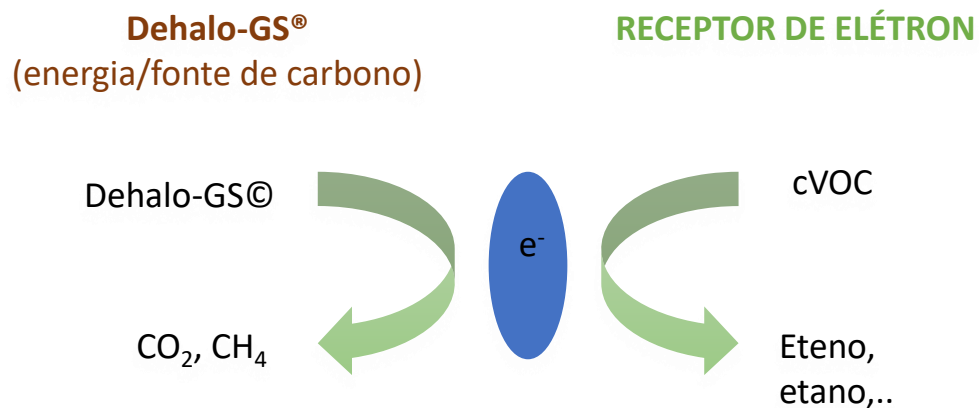


Biosparging



Contaminantes Anaeróbicos

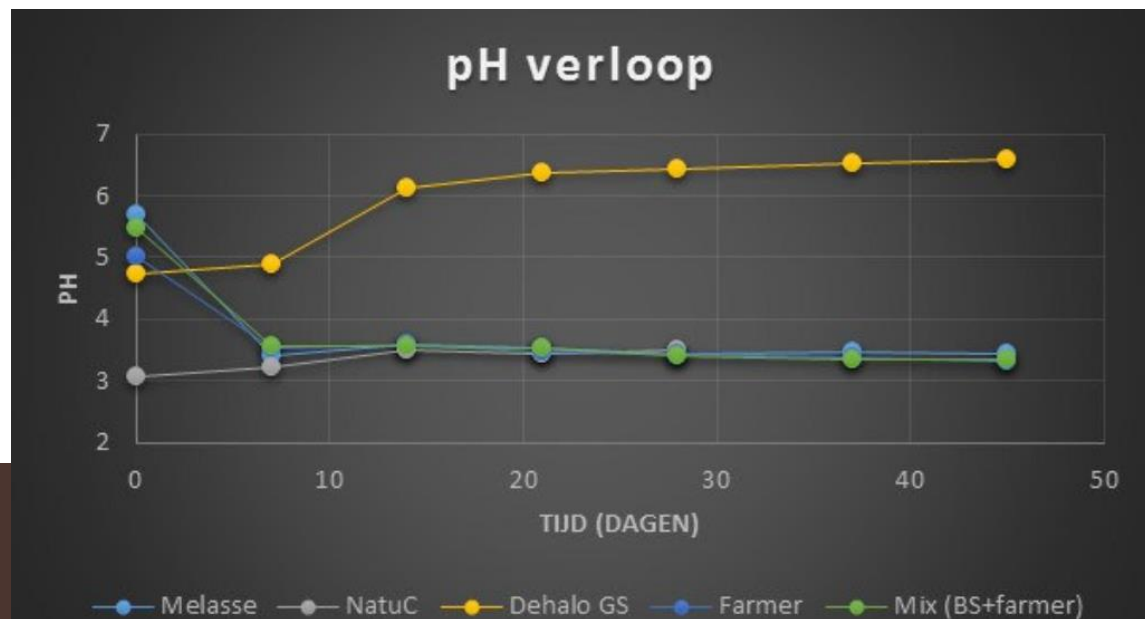
- Compostos clorados (PCE, TCE, HCH, TCB), alguns compostos pouco clorados (1,2-DCA) etc.
- Necessitam de doador de elétrons: **Dehalo-GS®**



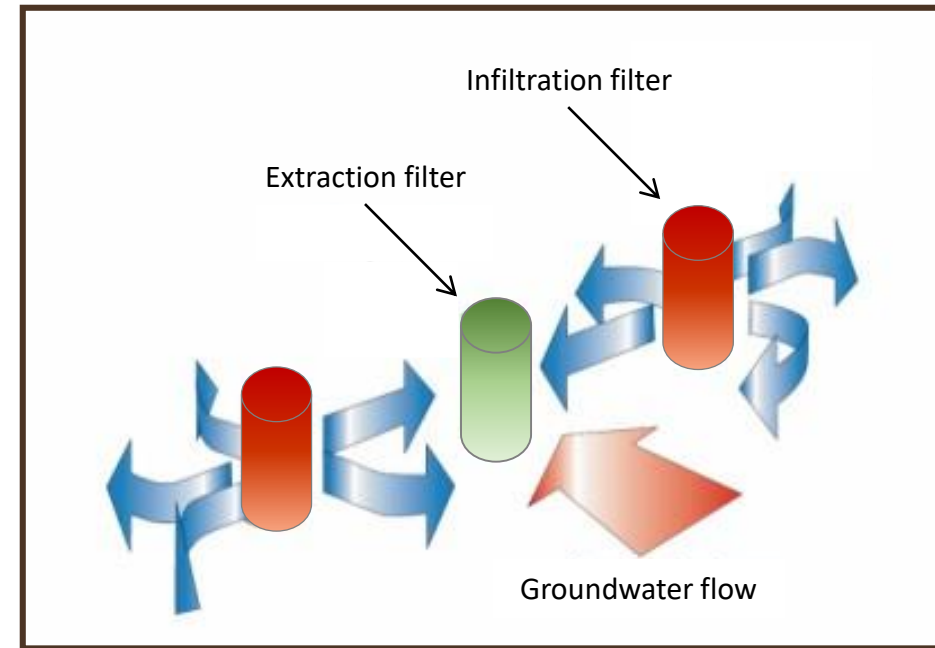
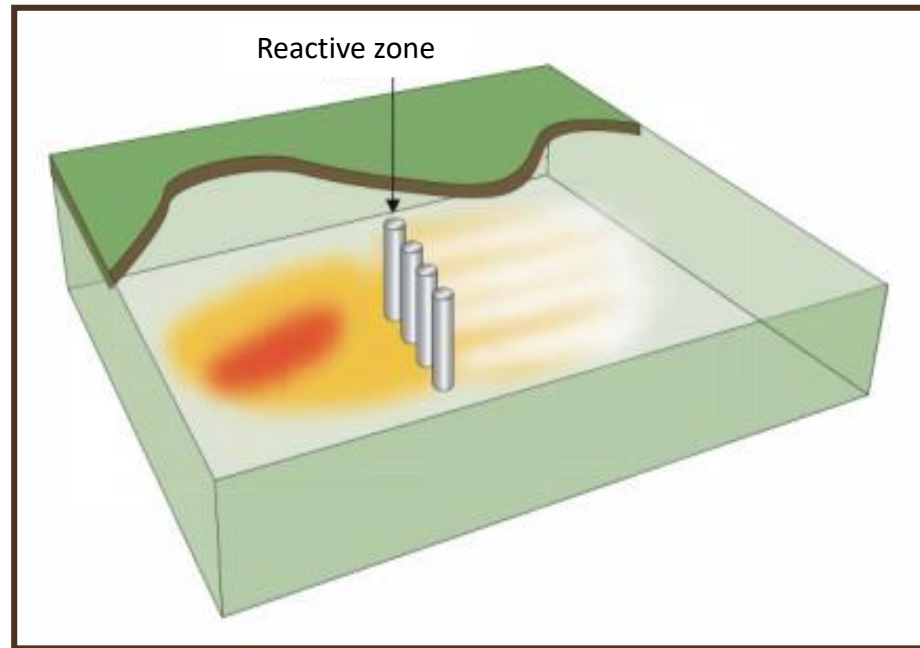
Dehalo-GS® Decloração Redutiva

- Dehalo-GS®: Produto elaborado pela GreenSoil
- Fonte de Nutriente
- Dosagem por injeção direta, e/ou recirculação

Dehalo-GS®: sem queda de pH!



Bioscreens (aerobic/anaerobic)



Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento



Testes Laboratoriais



- 1,4 – dioxano (NL)
- PFOS/PFAS (BE)
- Ftalatos (BE)
- BTEX e Benzeno (BR)
- Clorotoluenos (IR/BR)
- Surfactantes (FR)
- Di(nitro)toluene (BR)
- TPH, óleo volátil (FR/SP)
- Poliolen, glicol (SP)
-

Projetos Pilotos



- Poliolen, glycol (SP)
- Clorofórmio (SP)
- Diclorometano (FR)
- Arsênico (SA)
- ...



Projetos

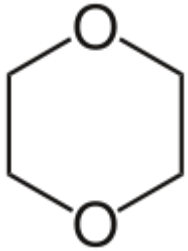
Estudos de Viabilidade, Testes Piloto e Projetos de Remediação Full Scale.



Project #1: LabTest 1,4-Dioxane

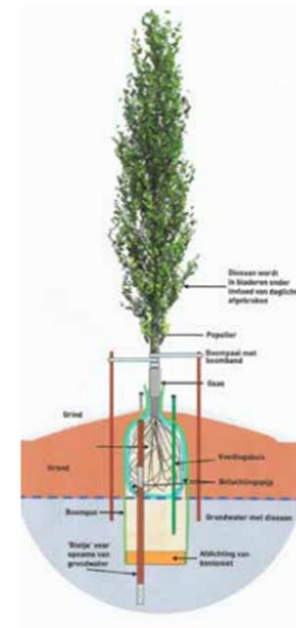
R&D project	
Cliente	Confidencial
Localização	Confidencial
Período	Q4 2016-Q1 2017
Tipo de Contaminante	1,4-dioxano
Escopo do Projeto	Estudo de viabilidade de remediação biológica de contaminação por 1,4 dioxano
Estratégia de remediação	Em progresso
Fase atual	Devido ao sucesso do estudo, iremos iniciar o Full Scale
Próximos passos	Desenvolvimento do conceito de remediação de larga escala baseado em resultados de estudos de viabilidade
Projetos relacionados	N/A

Projeto #1: Baseline



- Contaminante similar ao MTBE (ether)
- Dioxano produzido no mesmo local por mais de 20 anos

- Layout Peculiar (Exigências do Cliente)
- Análise de uma condição com Fitoremediação existente na área
- Concentrações de até 1500 mg/kg e 2000 mg/l

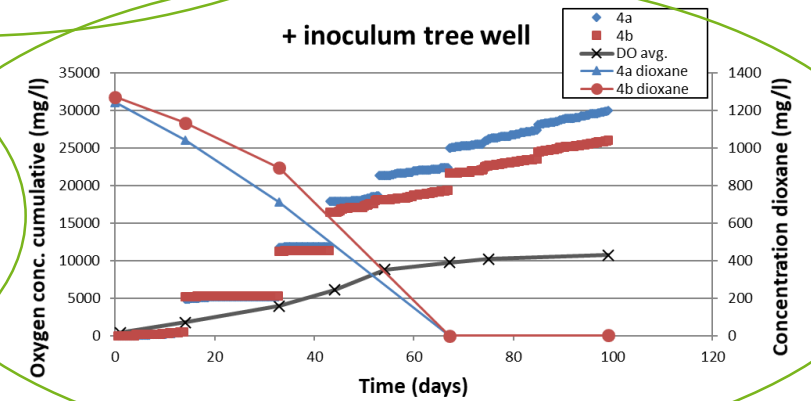
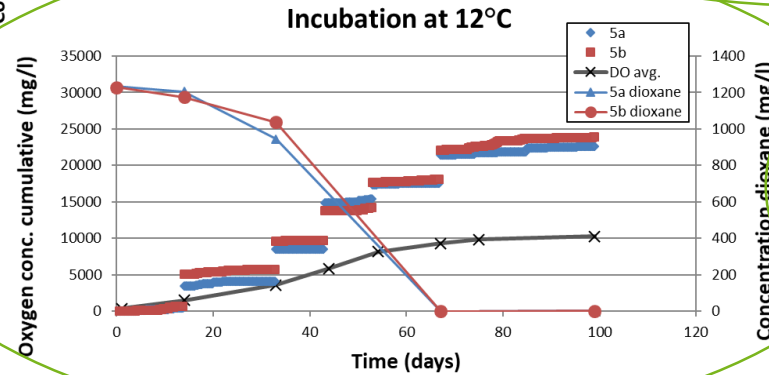
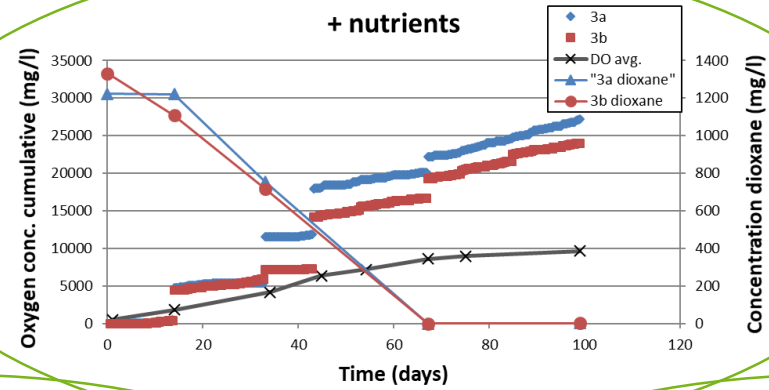
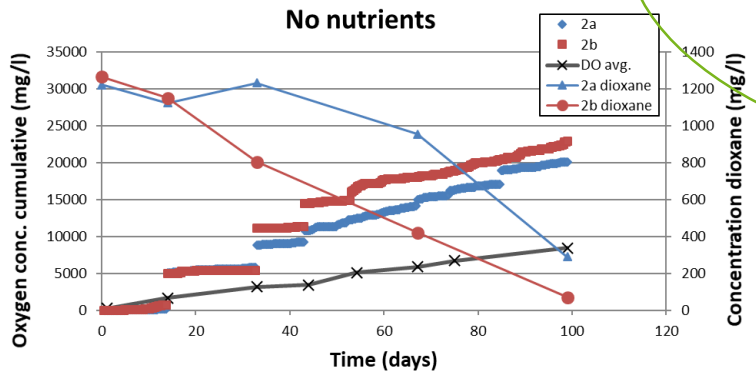
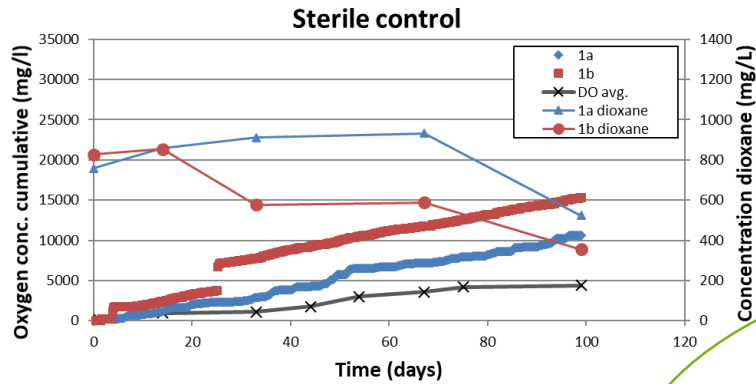


Projeto #1: Startup

- Testes com solo e água subterrânea (Slurry)
 - Controle Estéril
 - Solo e ASB
 - Solo e ASB com nutrientes
 - + inóculos da rizosfera (fitoremediação)
- Medição de consumo de oxigênio (Oxitops)
- Análises Moleculares (Duas enzimas degradadoras)



Projeto #1: Gráficos



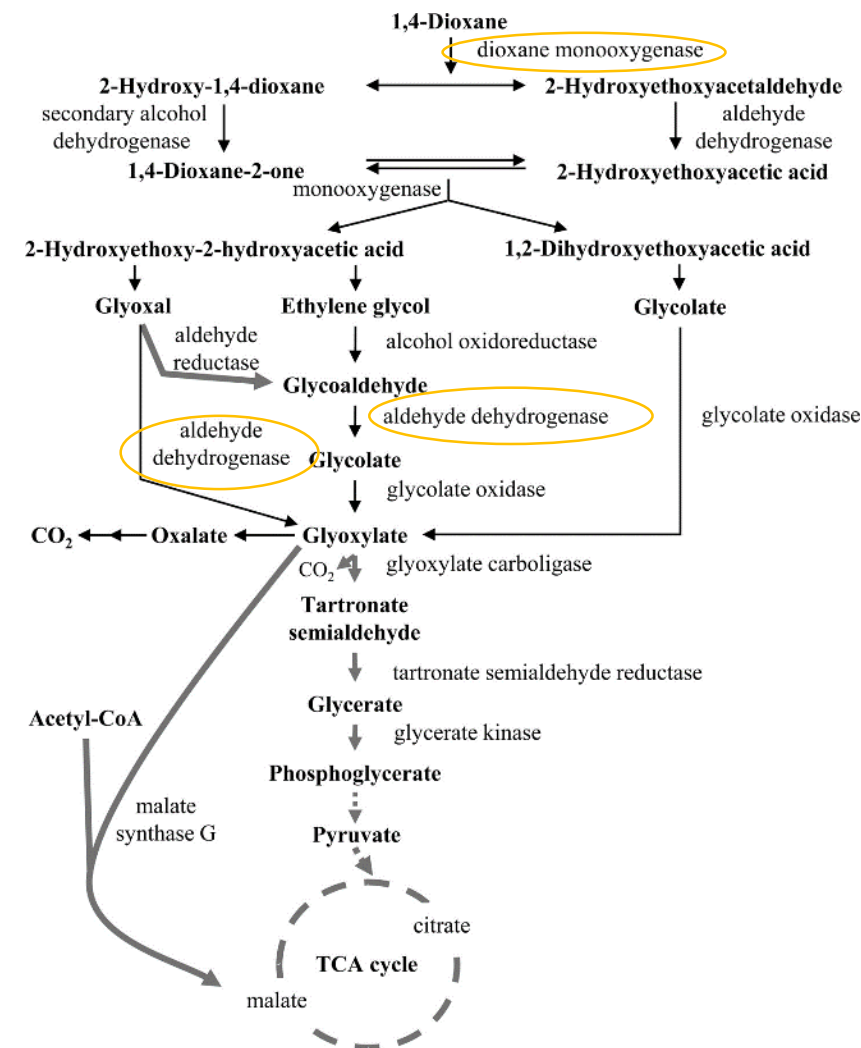
- Biodegradação completa em 65 dias na condição + Nutrientes;
- Nenhuma degradação no controle estéril, somente perda, e na sem Nutrientes obteve uma degradação limitada (70% em 105 dias);
- Fitoremediação não se faz necessária, pois teve o mesmo efeito da condição + Nutrientes;
- Com base no resultado promissor do teste, se iniciou o projeto para um Full Scale.

Projeto #1: Análise Molecular

- As enzimas degradadoras do dioxano segundo referências bibliográficas, estavam presentes no teste.

Enzyme	Sterile control		- nutrients		+ nutrients		+ inoculum root zone	
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b
Dioxane monooxygenase	< dl ¹	< dl	< dl	9.78x10 ³	6.15x10 ⁴	3.15x10 ⁴	4.21x10 ⁴	4.63x10 ³
Aldehyde dehydrogenase	< dl	< dl	< dl	6.02x10 ³	5.48x10 ⁴	2.82x10 ⁴	3.23x10 ⁴	3.44x10 ³

¹dl = 1.00x10⁻⁴



Projeto #2: LabTest BTEX e Benzeno



R&D Project	
Cliente	Confidencial
Localização	Brasil
Período	Q2 2018 – Q3 2018
Tipo de contaminante	Hidrocarbonetos, principalmente Benzeno
Escopo do Projeto	Investigar a viabilidade da técnica para concentrações de contaminante e desafios da área.
Estratégia de remediação	Será futuramente desenvolvido o teste piloto, a partir do sucesso do teste laboratorial.
Fase atual	Constatou-se a viabilidade da biorremediação.
Próximos Passos	Conceito de plajenamento em escala piloto

Projeto #2: Resultados



- Testes com solo e água subterrânea (Slurry)

- Controle Estéril (correção de pH)
- Controle Estéril
- Solo e ASB com nutrientes (correção de pH)
- Solo e ASB com nutrientes

→ Medição de consumo de oxigênio

→ Acompanhamento do pH (pH era um fator limitante no startup do teste)

→ Biodegração completa em 63 dias na condição com nutrientes e pH corrigido, e degração parcial no estéril com correção de pH devido as altas concentrações de nutrientes presentes no próprio site.

Contaminant	Starting concentrations (µg/l)	Final concentrations (µg/l)
	Before incubation	With nutrientes + pH correction
Benzene	128318	<3
Toluene	10805	<3
Ethylbenzene	781	<3
Xylene	1452	<6

Projeto #3: LabTest cVOC



R&D Project	
Cliente	Confidencial
Localização	Brasil
Período	Q4 2018 – Q1 2019
Tipo de contaminante	cVOC
Escopo do Projeto	Investigar a viabilidade da técnica para concentrações de contaminante e desafios da área.
Estratégia de remediação	Será futuramente desenvolvido o teste piloto, a partir do sucesso do teste laboratorial.
Fase atual	Constatou-se a viabilidade da biorremediação.
Próximos Passos	Conceito de plajenamento em escala piloto

Projeto #3: Samples - BioBags

Bag 1 –
Blank

Bag 3 –
GW+Dehalo®

Bag 2 –
Soil+GW+Dehalo®

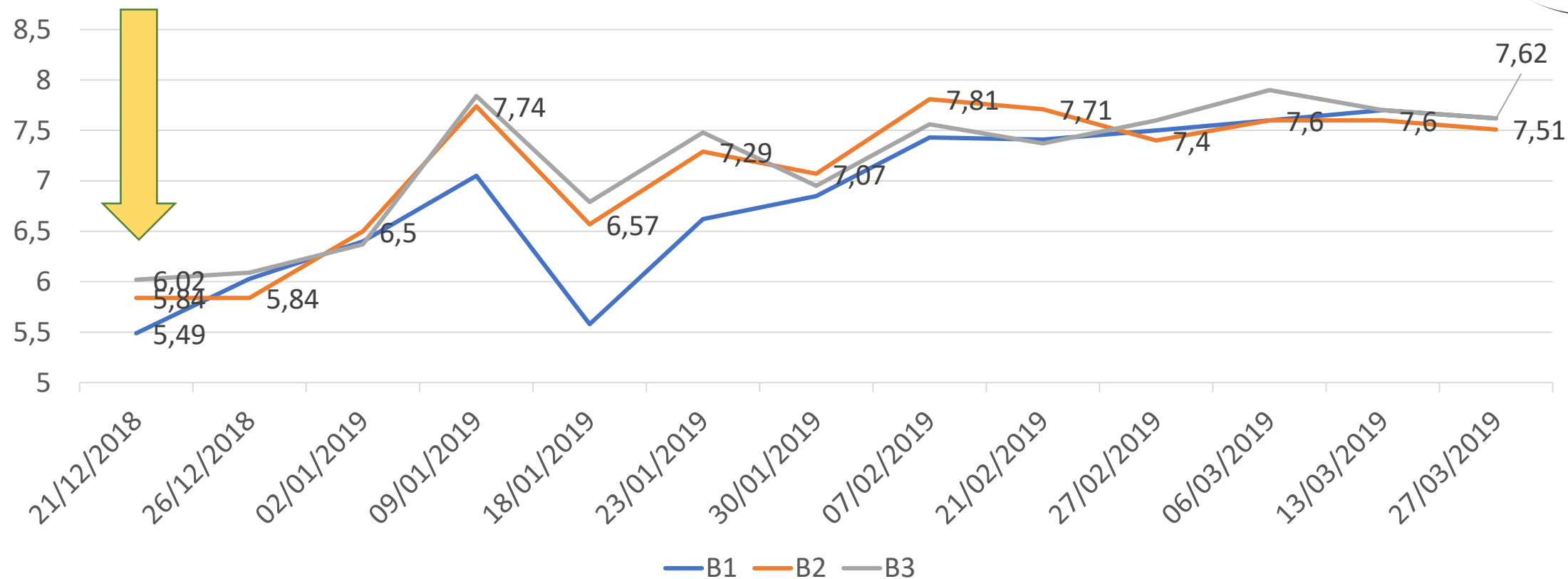


pH



Dosagem Dehalo-GS

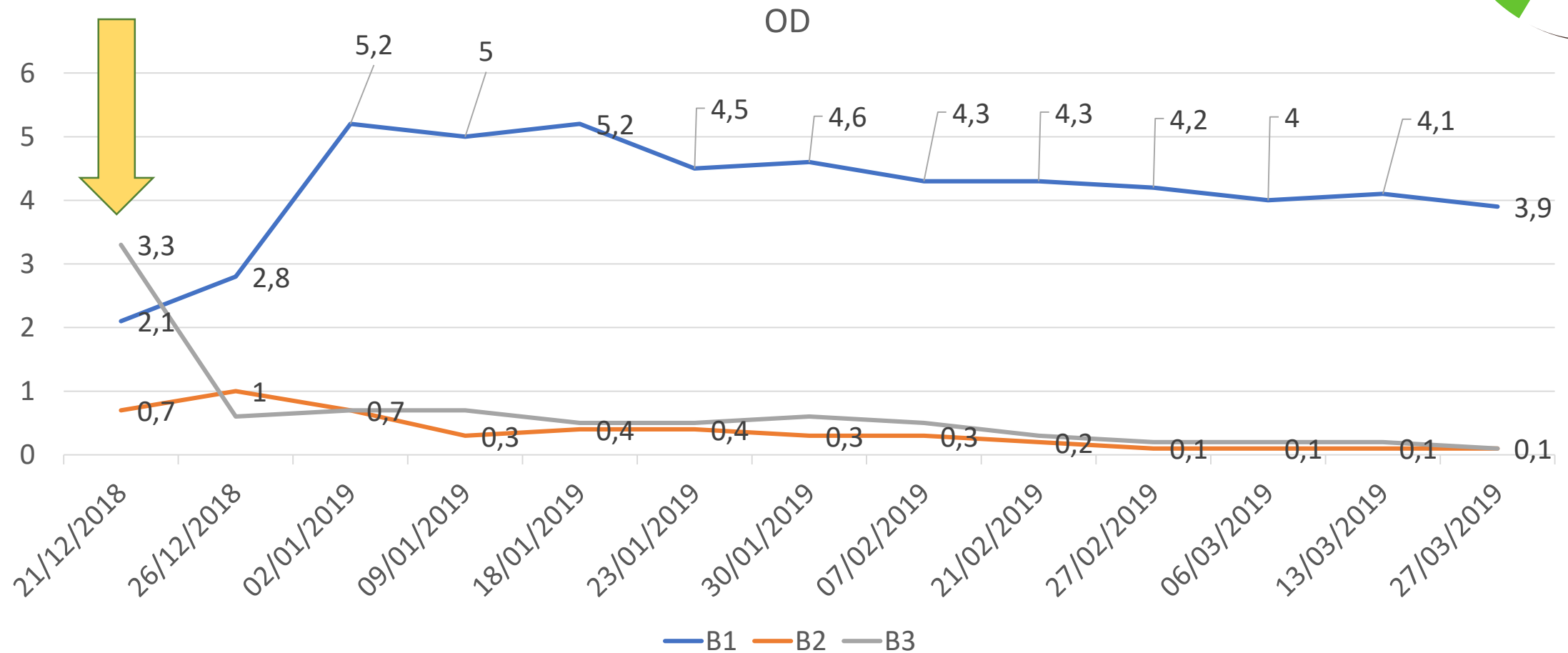
pH



OD

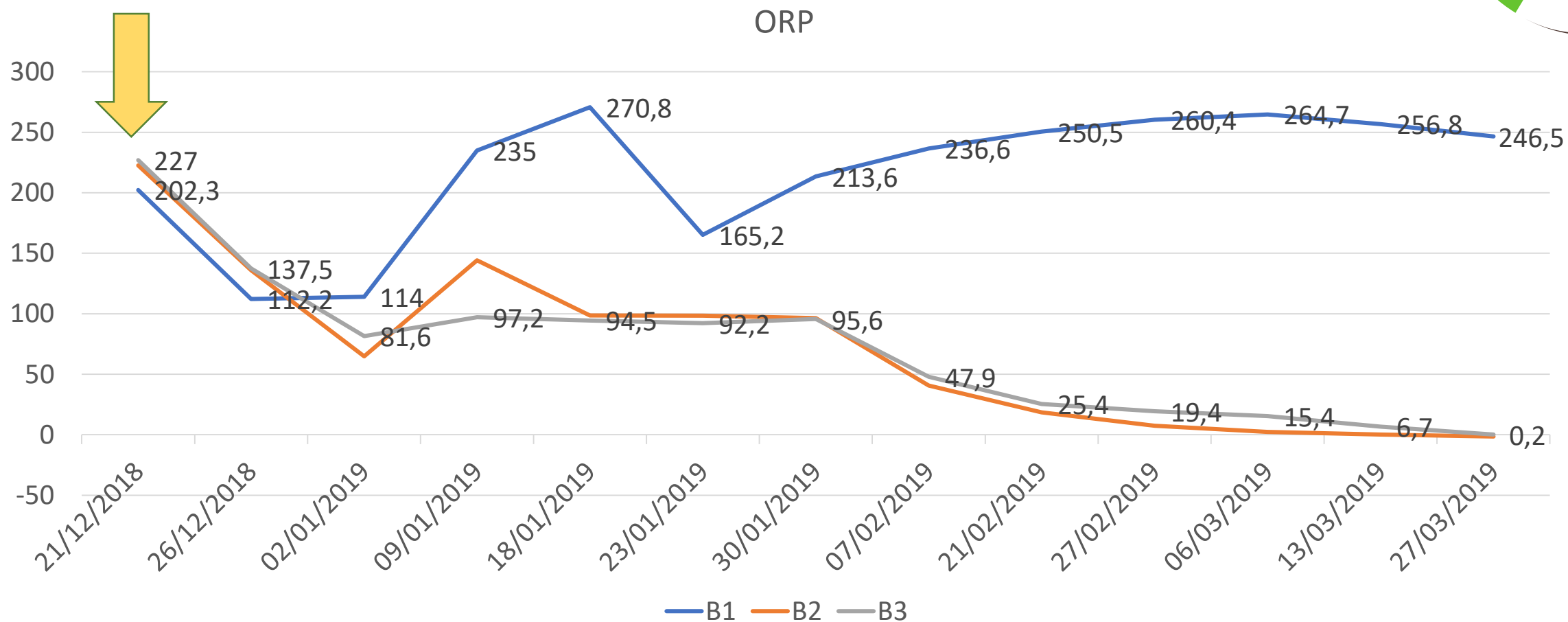


Dehalo-GS

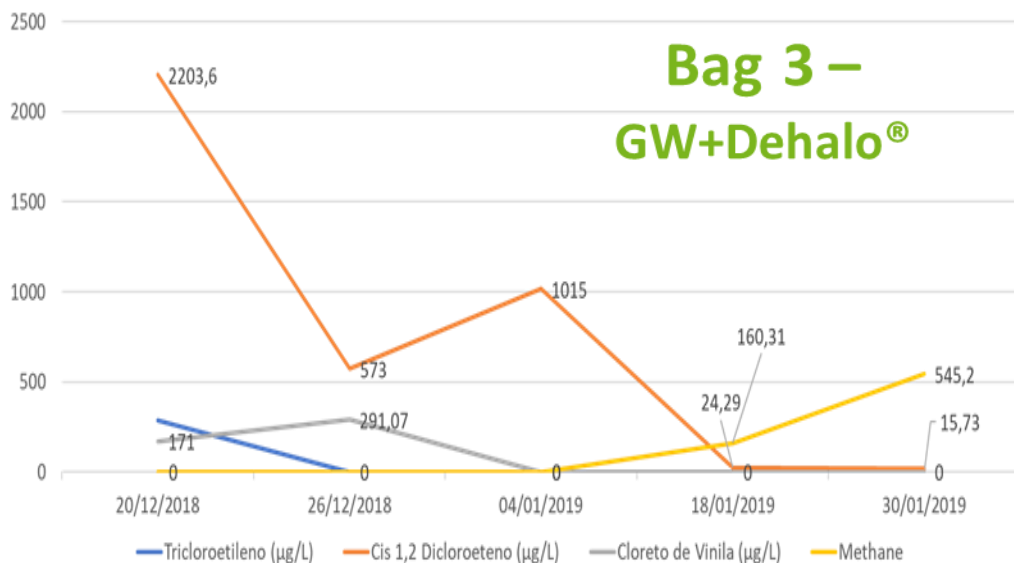
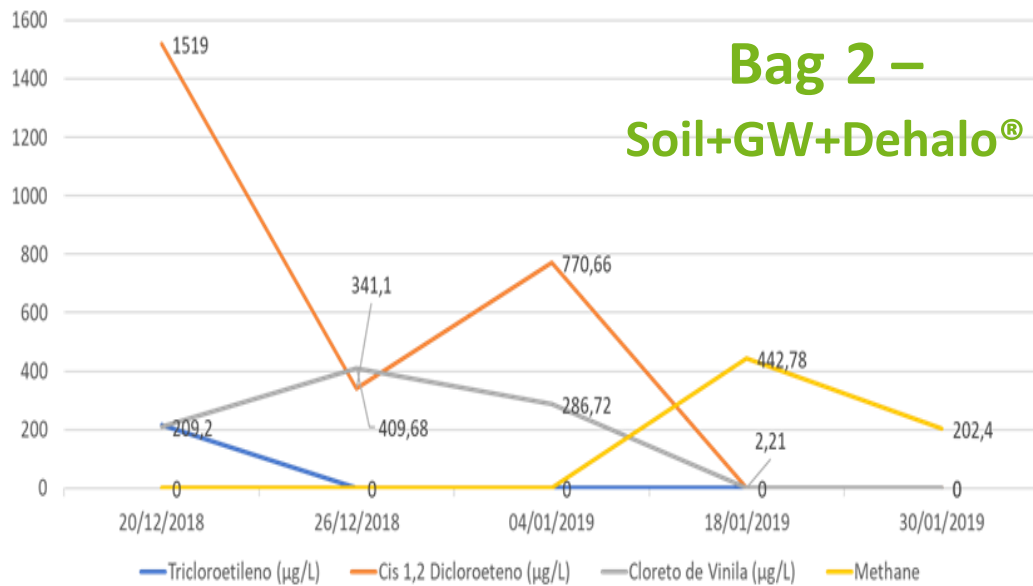


ORP

Dehalo-GS



Projeto #3: Gráficos e Resultados



- **Testes com solo e água subterrânea (Slurry)**

- Solo e ASB - Blank
- Solo e ASB com Dehalo®
- ASB com Dehalo®

→ Medição de parâmetros físico-químicos.

→ Ambiente anaeróbico.

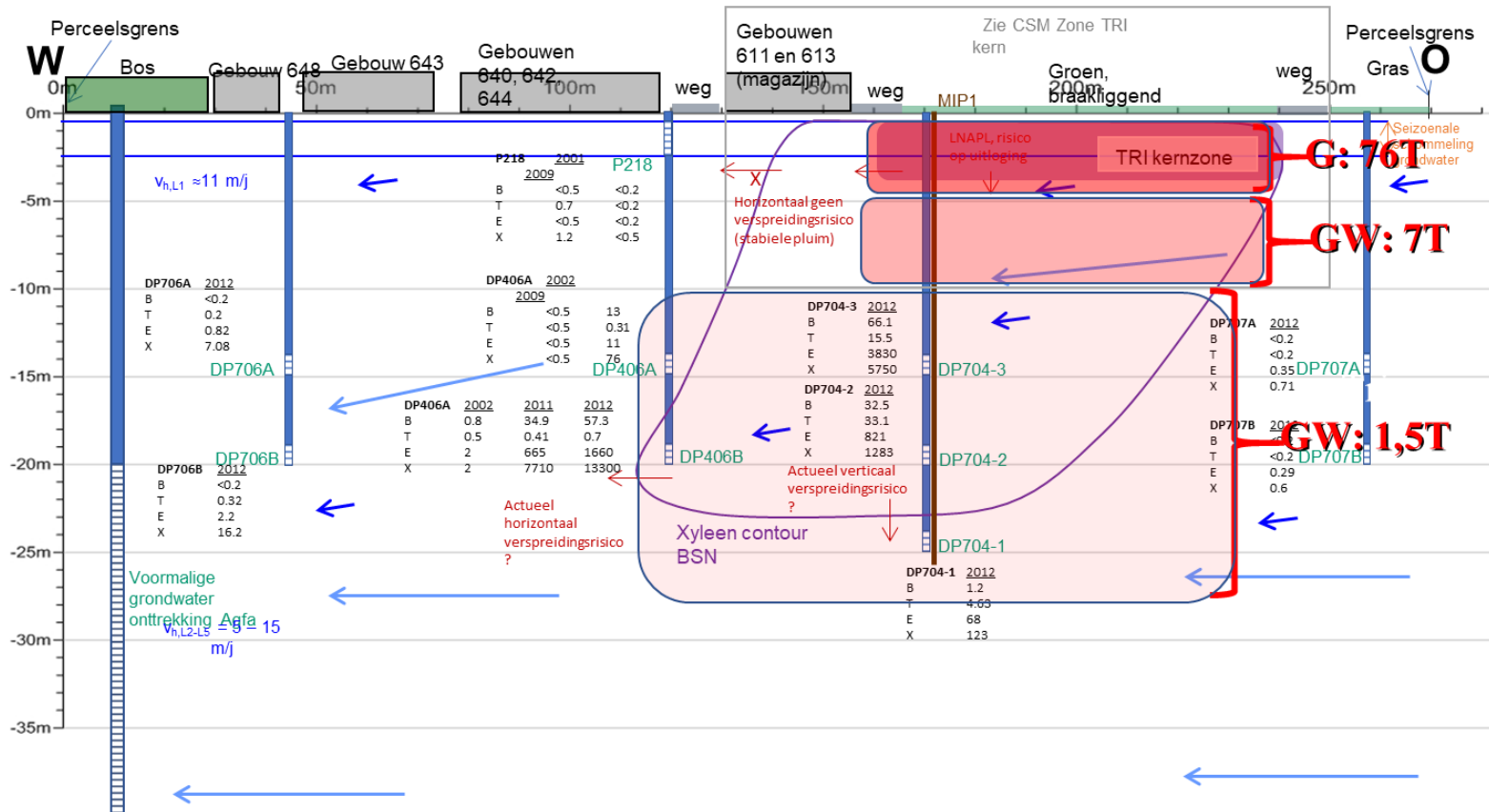
→ Nas condições que foram adicionadas o Dehalo®, percebeu a redução da cadeia completa do cVOC. Com presença de Tricloroetileno e altas concentrações iniciais de Cis 1,2Dicloroetano, a partir do momento que se tornou um ambiente redutor notou-se o Cloreto de Vinila e sua biodegração completa em 30 dias com presença do final da cadeia, o Metano.

Projeto #4: Remediação Full Scale Xilenos



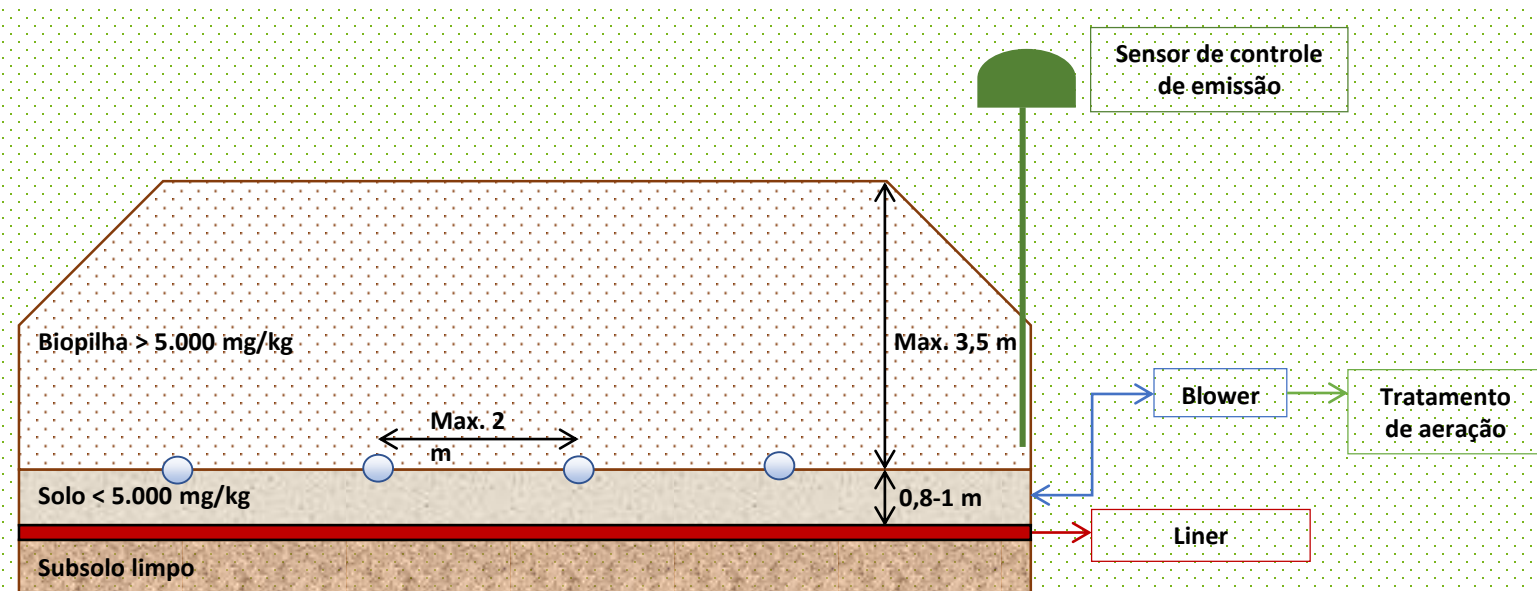
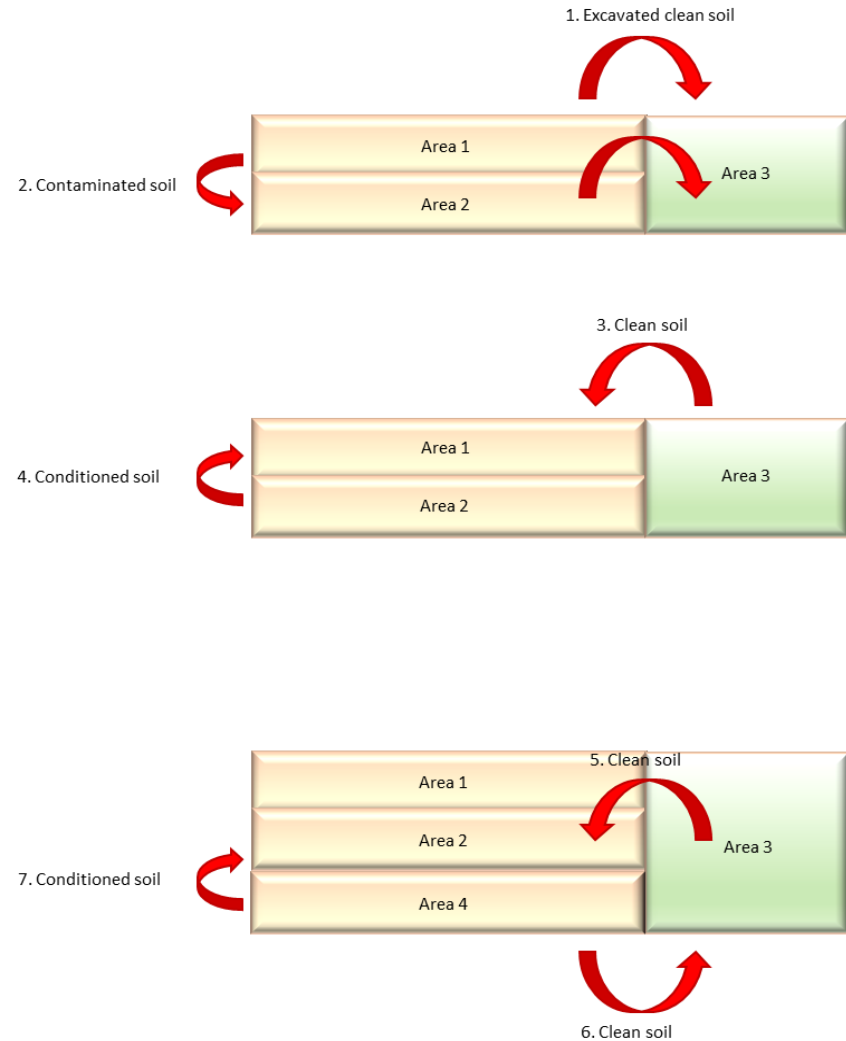
Full Scale	
Cliente	Confidencial.
Localização	Westerlo
Período	Q2 2016-Q2 2021
Tipo de contaminante	Altas concentrações de Xileno no solo e na água subterrânea.
Escopo do projeto	Remediação Full Scale de uma contaminação histórica de xileno.
Estratégia de remediação	Biopilhas On-Site de solo contaminado (zona insaturada e mearing) Biodegradação estimulada In-Situ da contaminação da água subterrânea.
Fase atual	Remoção de estruturas da superfície (canos e utilidades) ; Instalação de sistema de drenagem, escavação e construção de biopilhas na Zona TRI. (2016) Tratamento de água subterrânea 100% biológico (20m ³ /u) operacional (>99,5% de eficiência de remoção). Prosseguimento da excavação na Zona 2, construção de biopilhas e on site landfarming (2017).
Próximos passos	Instalação de Sistema biológico In-Situ e remediação aeróbica de águas subterrâneas (2017-2021).
Projetos relacionados	Remediação in Situ de BTEX e MO, de larga escala, em Benelux e em outros países.

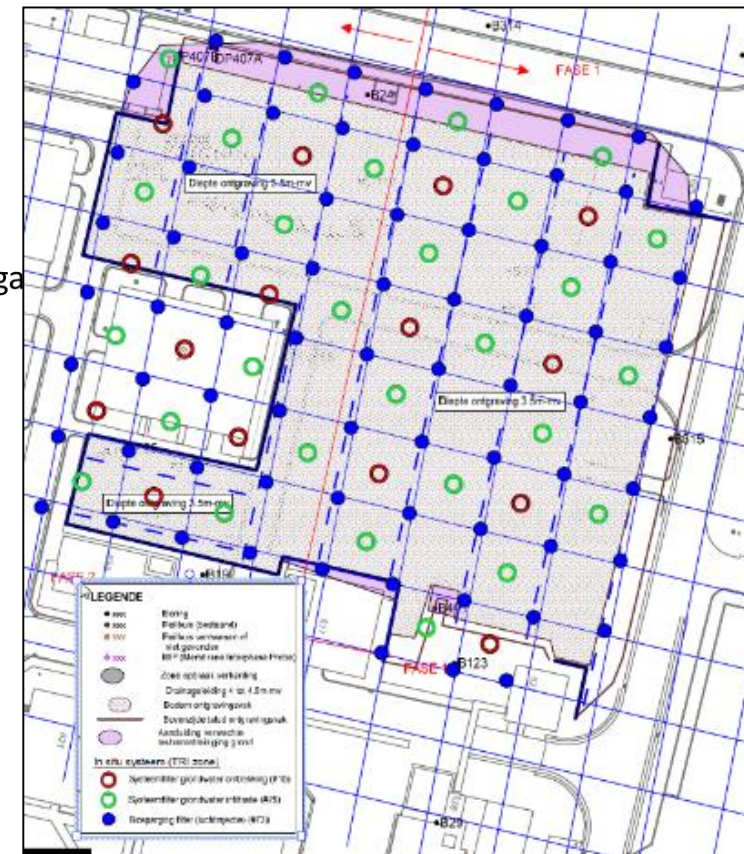
Project #4: Projeto Background



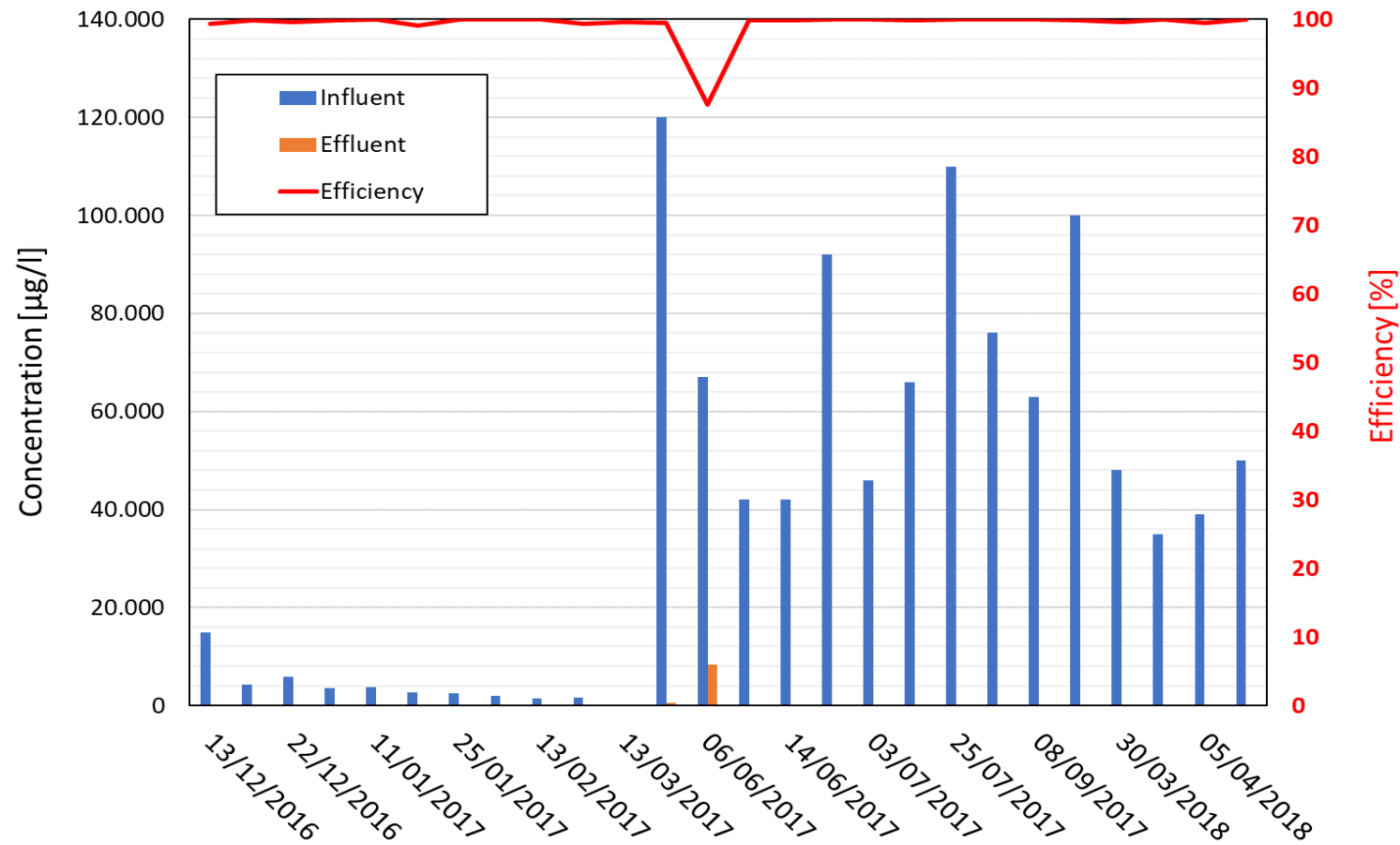
- Site com contaminação complexa do solo e da água subterrânea
- 3 zonas com uma origem e composição diferentes: **Zona ECO** (antigo descarte de resíduos, lamas calcárias de estocagem, trincheira aberta); **Zona Punch** (antigo depósito de ferro oxidado); **Zona TRI** (antiga produção de triacetato) com a zona fonte.
- Parâmetros de Contaminação
 - 80% de Xileno,
 - 20% de Etilbenzeno
 - Traços de Benzeno no solo e asb
 - LNAPL

Projeto #4: Escavação e Biopilha (0-3,5 m)





Projeto #4: Eficiência Biológica WTU



Projeto #4: Resultados da Biopilha

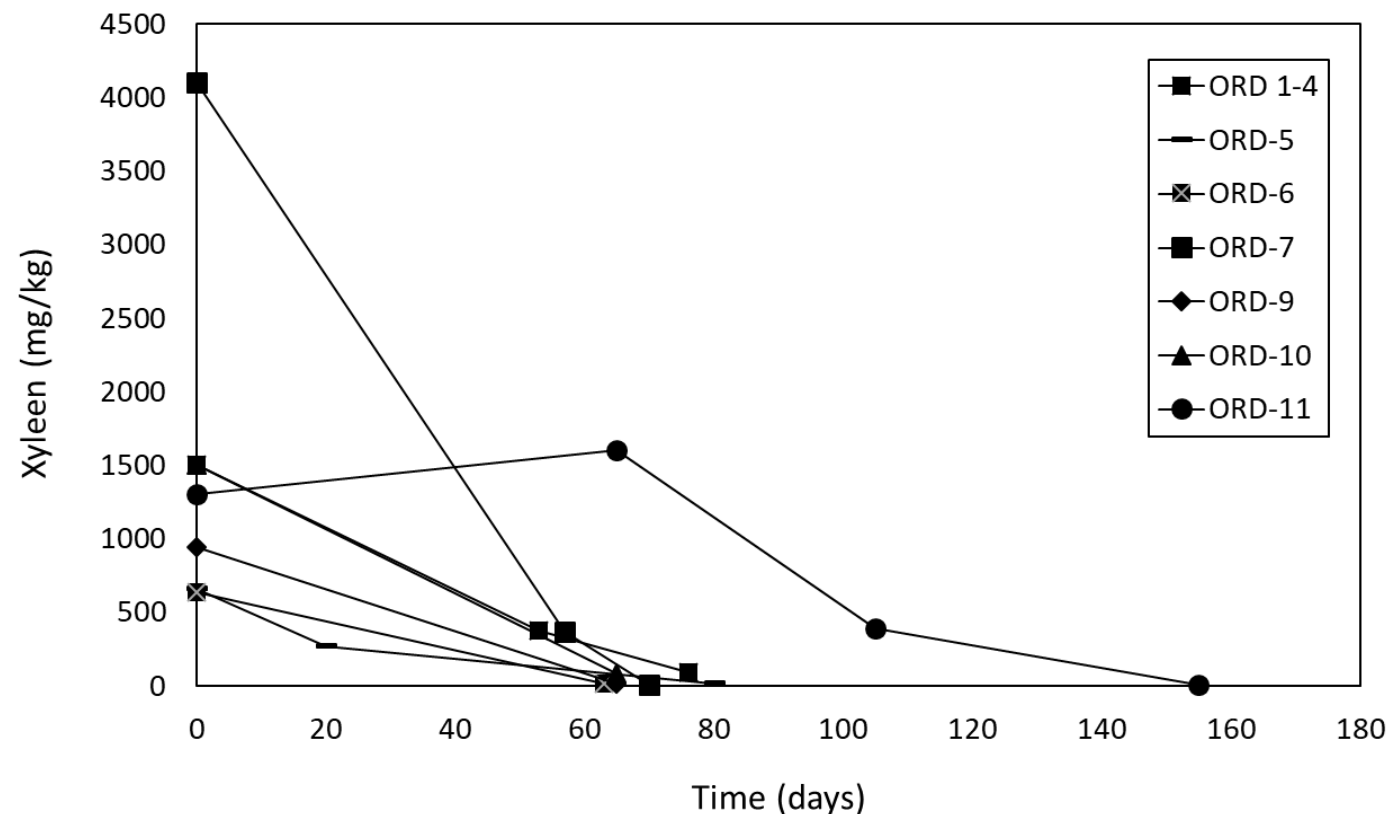


TRI + Kalkstart location						
Biopile number	Volume (m³)	Start depot	Completed	Contaminant mass (T)	Av. conc start (mg/kgdm)	Av. conc end (mg/kgdm)
Kalkstort	1,600	24/03/17	08/05/17	3.5	400-1,200	< 70
1-4	3,600	24/03/17	8/5/2017	9,5T	2,000	<100
5	900	15/06/17	13/07/17	1T	1,200	33
6	1,000	14/06/17	10/09/17	1T	900	16
7	1,200	13/07/17	21/09/17	11,5T	6,000	19,5
9-11	5,200	11/10/17	15/12/17	25T	2,500	<50
12	4,000	01/06/18	00/07/18	15T	1,500	<50
13	1,500	01/07/18	28/08/18	5T	3,000	< 50
Total	20,500 m³			73T		

Projeto #4: Resultados das Biopilhas



- Tempo médio: 65-76 dias
- Quanto maior foi a concentração, mais rápida a remediação (BTÉX!)
- Biopilha ORD11 construída em condições úmidas
- Objetivo atingidos antes do prazo



Projeto #4: Poupando GAC

- BAFT (Biopilha reativa)
 - Eficiência: 60 - 80%;
 - Carga 500 - >2000ppm
 - Redução de 75% dos gastos com GAC
- Bioscrubber (Lavador biológico)
 - Efficiency: ~ 55%;
 - Carga 300 - 1000ppm
 - Redução 95% dos gastos com GAC
- + GAC como etapa de polimento
 - Requisitos de emissão
 - Eficiência total > 99%
 - Controle de odor



Bioscrubber



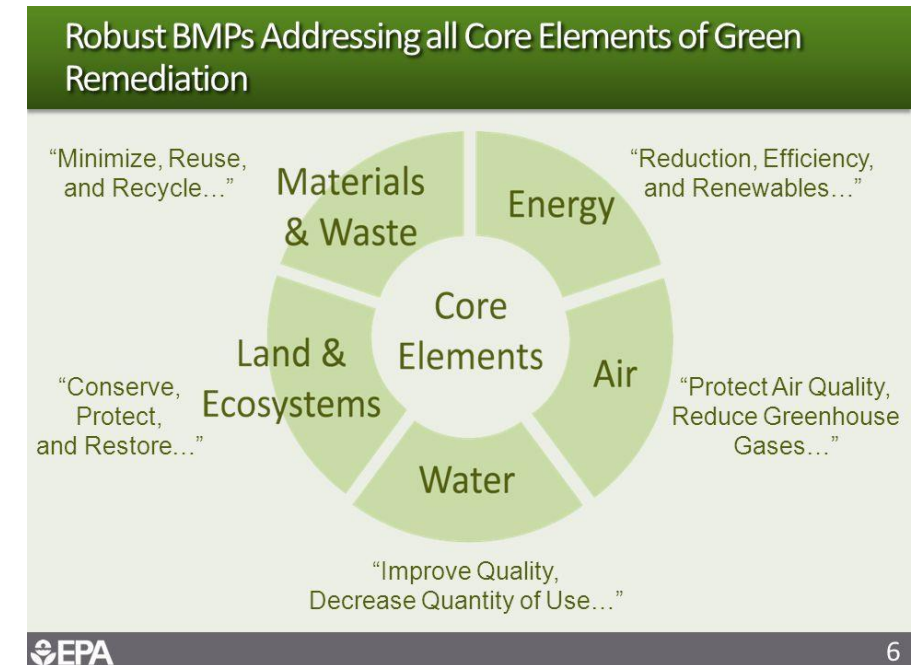
E-noses: Monitoramento de Emissões

Projeto #4: Considerações Finais



- ✓ O tratamento biológico no solo do local foi bem sucedido.
- ✓ Tempo de tratamento inferior ao prazo planejado.
- ✓ Tratamento biológico dos gases provou ser eficiente.
- ✓ Contrato de Preço Fixo.
- ✓ Projeto **Sustentável enquadrado como GreenRemediation (2017, EPA):**

- ⇒ 95% da contaminação foi degradada biologicamente no local
- ⇒ Projeto sem geração de resíduo a ser destinado à aterro
- ⇒ Redução entre 72-95% pegada de CO2 comparada ao tratamento convencional
- ⇒ Redução extra de custos > 36 € / ton (economia ~ 1.500.000 €):
 - ⇒ Destinação p/ aterro adicional de € 20,00 / ton
 - ⇒ Transporte p/ aterro adicional de € 10,00 / ton
 - ⇒ Novo material de preenchimento adicional de € 6,00 / ton
 - ⇒ € 1 = R\$ 4,30 (Total economizado R\$6.450.000,00)



Project #5: Full Scale BTEX (Site Encerrado Março 2019)

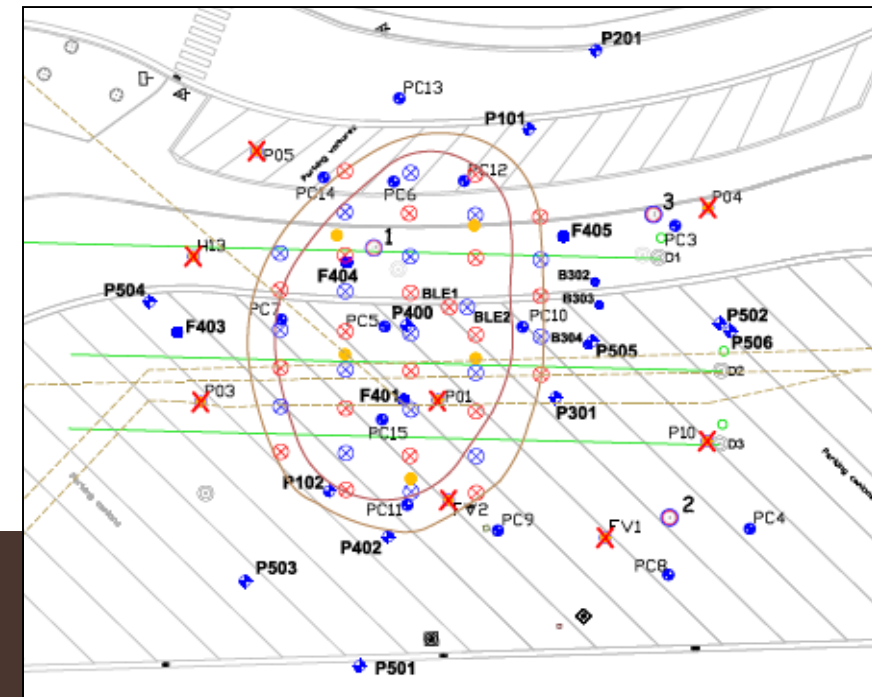


Full Scale	
Cliente	Confidencial
Localização	Confidencial
Período	Q2 2017-Q2 2019
Tipo de contaminante	BTEX no solo e na água subterrânea
Escopo do projeto	Remediação em larga escala de uma antiga estação de petróleo
Estratégia de remediação	SVE (zona insaturada e manchada) Bombeamento e Tratamento Biológico
Fase atual	>80% filtro de composto (500m ³ /u) Operacional (>99,5% eficiência de remoção)
Próximas fases	Continuação da anterior
Related projects	Remediação in Situ de BTEX e MO, de larga escala, em Benelux e em outros países.

Projeto #5: SVE + Filtro de Compostagem + GAC



- Contaminação de solo e água subterrânea (0.6-17 m-bgl)
- Abordagem:
 - SVE
 - 44 filters
 - 500 Nm³/h
 - ATEX
 - 4 Bombeamento e Tratamento Biológico
 - Tratamento de água biológico
 - Filtro de Compostagem + GAC

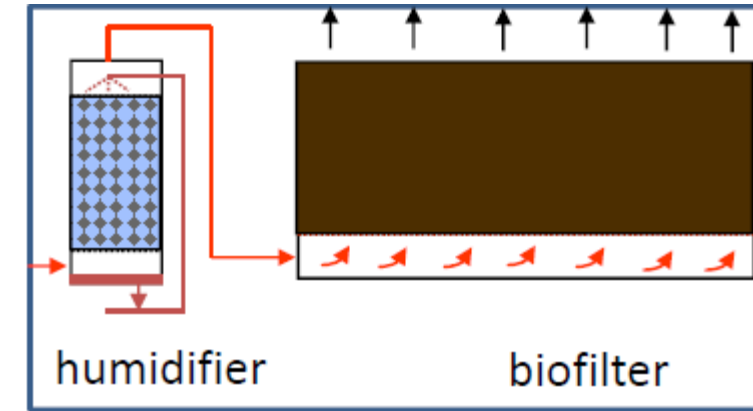


Projeto #5: Poupando GAC



- **Filtros de Compostagem (Biofilter)**

- 1500 Nm³/u
- ATEX , 40-ft
- Umifidificador e aquecedor
- Dosagem de Nutrientes
- Controle de processo automatizado (T, O₂, nutrientes, pressão, vazão...)
- Efficiency: ~ 70%
- Load 600-1,500ppm
- ~ 80% GAC savings



- **Filtros de GAC**

- Etapa de polimento
- 2 x 4 m³ (4000Nm³/u)
- ATEX
- Emission requirements
- Total efficiency > 99%
- Odor control



Projeto #6: LNAPL Bioslurping Biosparging



Full Scale	
Cliente	Confidencial
Localização	Confidencial
Período	Q2 2018 – Q2 2022
Tipo de contaminante	DEHP no solo, água subterrânea e LNAPL
Escopo do projeto	Remediação Full Scale
Estratégia de remediação	Bioslurping e biosparging
Fase atual	Remoção LNAPL

Projeto #6: Background

- Vazamento de um cano de suprimento de DOP (ftalato) em 1981

→ Quantidade desconhecida de DEPH (*Di (2-etilhexil) ftalato*) infiltrado

- Propriedades do DEPH

- Fator de solubilidade baixo
- Adsorção relativamente alta a matéria orgânica
- Fator retardatário alto
- Muito viscoso

→ Objetivos e limites DEPH: Sem parâmetros conhecidos para esse SQL.

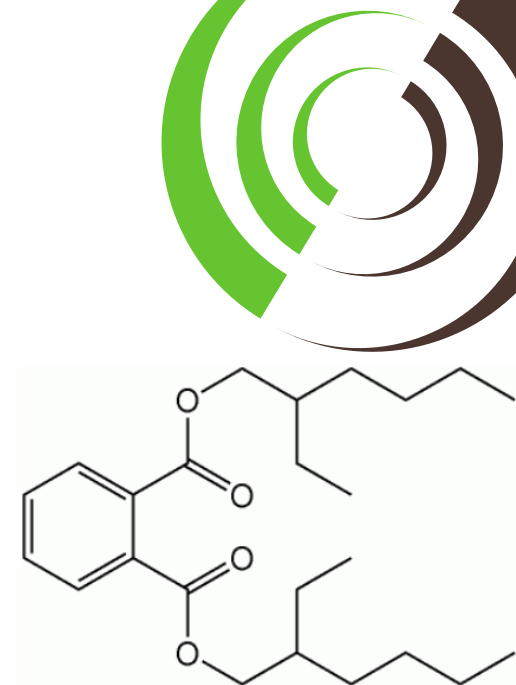
→ Teoricamente, o único risco era a fase livre.

- **Greensoil's Know-how:** a concentração no solo precisa ser baixa o bastante afim de evitar contaminações futuras da água subterrânea, devido aos processos de equilíbrio, após a remoção do produto da fase livre.

Calculated standards	SW	RW	BSN type II (farming)	BSN type V (industry)	Highest conc	mass
Soil [mg/kg dm]	0,5	0,72	8500	30 000	1800	-
Groundwater [µg/l]	2	60	150	na	4100	1873 m ³
LNAPL	-	-	-	-	105 g/l (!)	132 ton

→ Água subterrânea:

- Produto da fase livre: estimado em 131 779 kg ; Volume contaminado de GW: 1 873 m³



Projeto #6: Pontos Críticos



1. Emulsification

• Testes físicos

- Após a agitação, produto de fase livre separa-se relativamente rápido
- Aeração tem pouca influência



2. Biodegradation potential

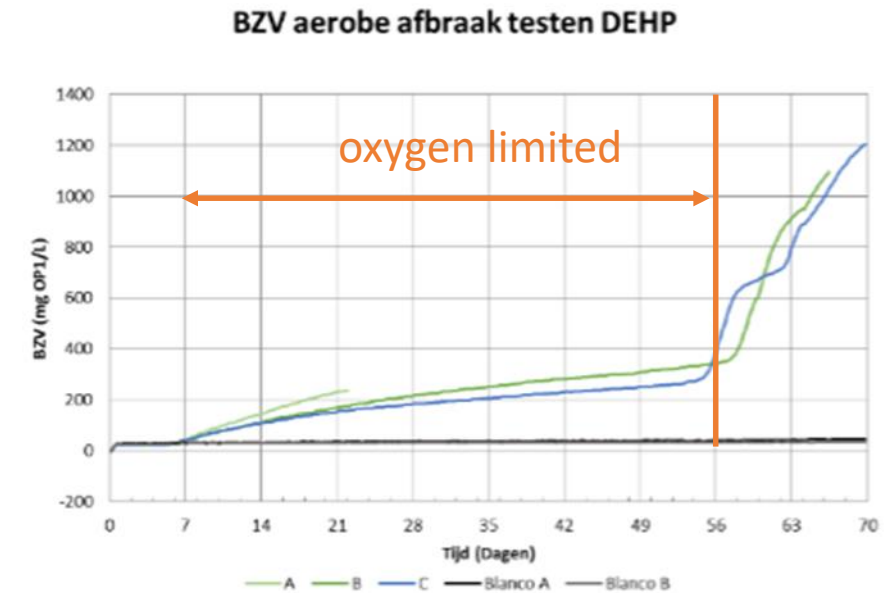
• Testes de degradação

- DEPH facilmente biodegradável (72% em 70 dias)
- Importância teor O_2 e nutrientes (N e P)
- Adsorção de DEPH na matriz do solo

3. LNAPL transmissivity

• Teste de bombeamento

- Fluxo de entrada moderado de água subterrânea - 1 cm de fase livre/hr



Projeto #6: Projeto Full Scale



- **Bioslurping**

- Extração ativa de LNAPL: vácuo aumentado → transmissividade limitada LNAPL
- Não-seletivo: água + ar + NAPL → sem emulsificação e biodegradação In-Situ
- Remediação da zona saturada e insaturada
- Sistema de extração intermitente

- **Biosparging**

- Etapa de polimento para NAPL imóvel e concentrações residuais no solo e na asb
- Poços de extração de fase livre serão transformados em poços de recirculação de água subterrânea com adição de 20 filtros extras de biosparging
- Estimulação da mobilidade, biodisponibilidade e biodegradação de NAPL.

Projeto #7: Full Scale cVOC



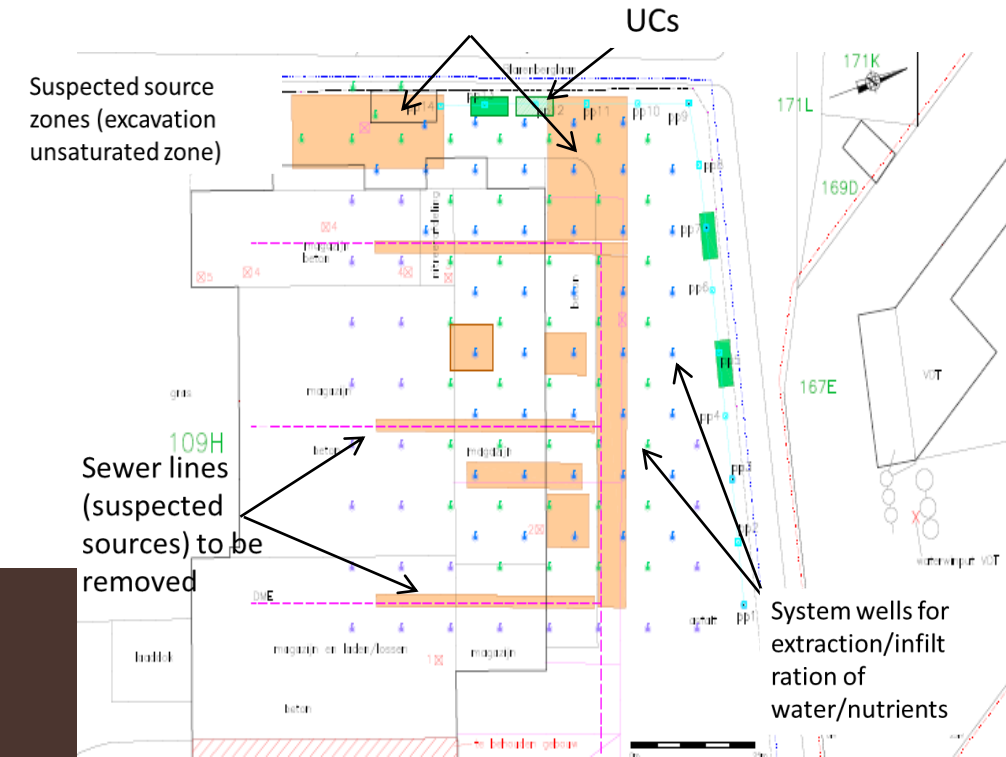
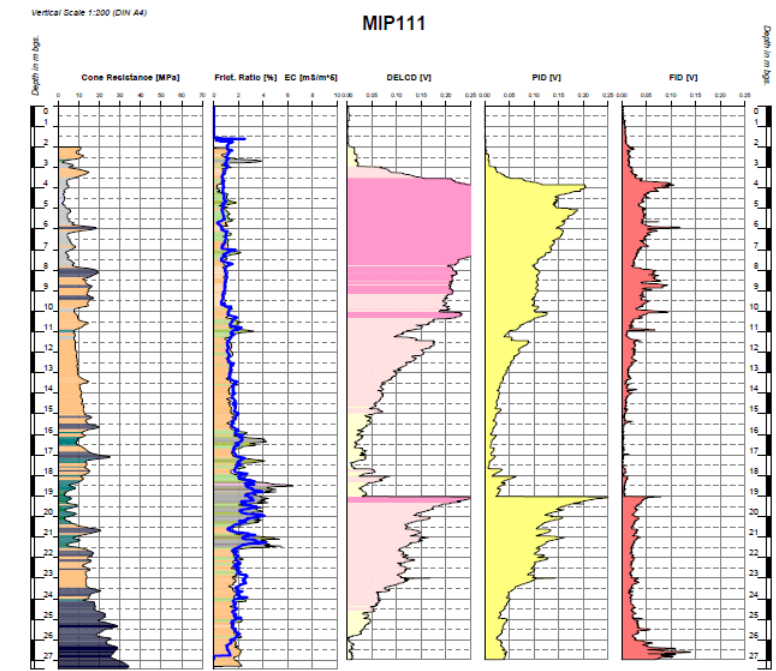
Full Scale	
Cliente	Confidencial
Localização	Confidencial
Período	Q2 2016-Q2 2021
Tipo de contaminante	PCE no solo e na água subterrânea.
Escopo do projeto	Remediação de cVOC em larga escala em função do redesenvolvimento do local para uma imobiliária. Cronometragem do projeto crítica
Estratégia de remediação	Escavação de áreas fonte e fora da água de tratamento. Degradação anaeróbica de água subterrânea a 2m-bgl em função do redesenvolvimento
Projetos de relacionados	Remediação de larga escala de cVOCI em Ronse Ronse e Tarragona

Projeto #7: Background

- 2001-2013, barreira hidráulica (10m³/h)
- Remoção mínima de massa de contaminação
- Nenhuma remediação efetiva e zona fonte delimitada
- Migração da contaminação devido ao P&T

GreenSoil Approach

- Contratação de Consultoria parceira
- Escavação do hotspot/zona fonte
- Remediação de águas subterrâneas por degradação anaeróbica
- Contrato de preço fixo
- Pesquisa de fontes adicionais (esgotos)



Projeto #7: Startup do Projeto

- Demolição e Escavação de Asbestos



- Escavação de 3 áreas fonte



Projeto #7: Instalação In-Situ 2m-bgl externo



Projeto #7: Instalação In-Situ 2m-bgl Interno



Projeto #7: Biorremediação In-situ



- Injeção com Dehalo GS® via direct push (25m³)
- Recirculação da asb com Dehalo GS dosando dentro da Unidade de Controle (2017-2021)



Projeto #7: Instalação Finalizada



- Área pronta para desenvolvimento imobiliário



- Unidade de Controle



Projeto #8: Full Scale Diesel



Full Scale	
Cliente	Confidencial
Localização	Brasil
Período	Q4 2018-Q4 2021
Tipo de contaminante	Hidrocarbonetos, com fase livre de Diesel
Escopo do projeto	Full Scale em uma ferrovia (pontos críticos) / Contrato de Risco
Estratégia de remediação	Extração Fase Livre In Situ com Biorreator Bioasparging
Fase atual	Extração e Instalação do In-Situ
Próximos passos	Remediação biológica de larga escala in situ. Tempo máximo de remediação de água subterrânea = 3 anos.

Projeto #8: Background



- O local foi impactado com combustível Diesel, provavelmente dos tanques enterrados de diesel e processo de abastecimento.
- Existia uma barreira hidráulica, MPE e um SVE no local de 2010-2018.
- Os seguintes compostos foram relatados no site:
 - ✓ TPH (LNAPL) Fase livre e dissolvida;
 - ✓ BTEX (Fase dissolvida)
 - ✓ Naftaleno (PAH) (Fase dissolvida)

Projeto #8: Abordagem



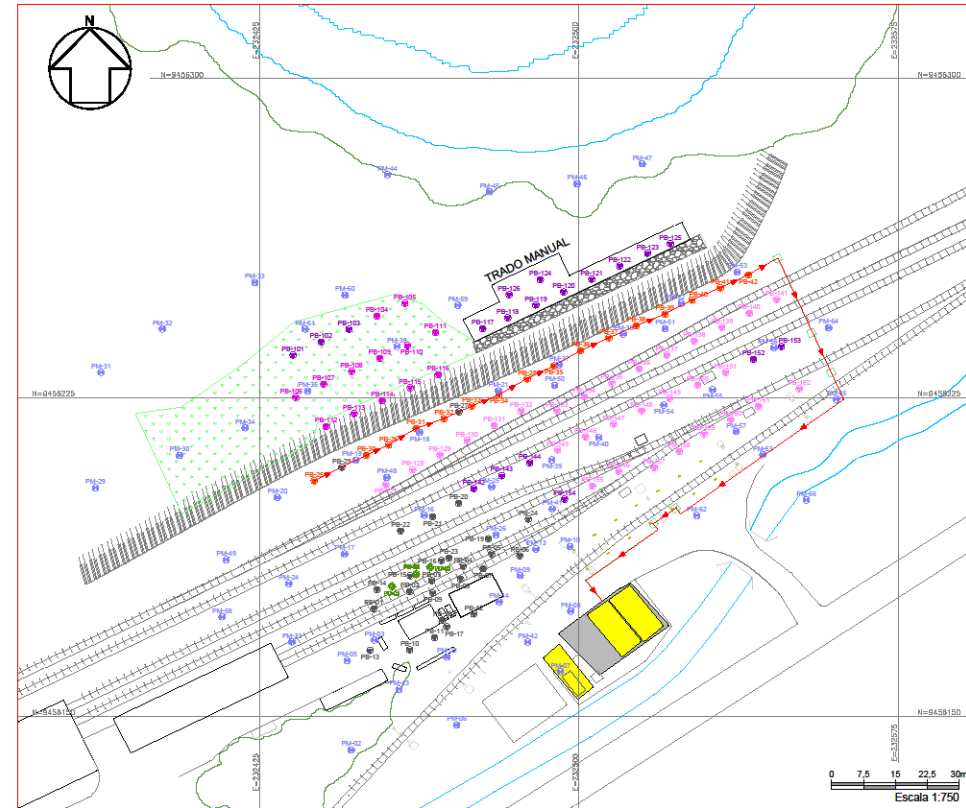
1. Extração de LNAPL / água:

- O LNAPL / água subterrânea bombeados para o sistema biológico de tratamento de águas subterrâneas (Biorreator com infiltração da asb tratada);
- Sistema com > 162 poços de infiltração e extração.

2. Após eliminação do LNAPL será instalado o sistema de estimulação total biológico:

- Iniciar injeção de ar através dos poços airsparging (60 poços);
- Iniciar o bioventing, para ajudar a ventilação do solo;
- Adição de nutrientes.

Projeto #8: Instalação executada por consultoria parceria e nossa supervisão



Mais alguns projetos...



	N°	Country	Contaminants	Scope	Techniques
Aerobic	1.	NL	Phtalates	Feasibility	
	2.	BE	MTBE, organics	Pilot test & FS	In-situ biosparging - MTBE bioreactor
	3.	BR	Dinitrotoluene	Feasibility	
	4.	BE	BTEX, TPH, MTBE	Full scale	In-situ SVE - compost filter
	5.	BE	MTBE, BTEX	Full Scale	SVE – In-situ biosparging – P&T
Anaerobic	6.	BE	PCE	Full scale	Excavation and anaerobic biodegradation
	7.	FR	1,2-DCA, DCM	Pilot test & FS	In-situ biodegradation and heating
	8.	SP	TeCM, TCM cEth(e)(a)nes	Full scale	DNAPL removal - biodegradation
	9.	SW	TCE	Full scale	Bedrock & DNAPL characterisation & bioblanketing
Others	10.	SA	Arsenic	Feasibility	Aerobic biodegradation; PFOS leachate control
	11.	BE	PFOS/PFAS, TPH, Tri-Di-Monochlorobenzene	Feasibility	Aerobic biodegradation; PFOS leachate control

Contato e Dúvidas

Eng. Sérgio Veríssimo Filho



- s.verissimo@greensoilgroup.com
- T +55 11 3807 2052 C +55 11 99497 2231
- Pedido de Propostas, perguntas relacionadas ao cliente, perguntas informativas, ...

Muito obrigado!

www.greensoilgroup.com