



## **II Conferência de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**

# **Ensaio Piloto de Aplicação de Barreira Adsorptiva Injetável e Bioestimulador pela metodologia *Direct Push***

Ana Carolina Rufino  
Cícero Carvalho  
Hermano Fernandes

Setembro/2022

# Objetivos

- Aplicação em escala piloto da combinação de tecnologias *in situ*;
- Determinação do raio de influência e volume de injeção;
- Dimensionamento do projeto de remediação em escala total.



# Produtos Remediadores

Os produtos remediadores utilizados foram o PeroxyGEO® (peróxido de cálcio) e o CarbonGEO® (Carvão ativado ultrafino micrométrico), sendo que ambos possuem registro ativo no IBAMA.



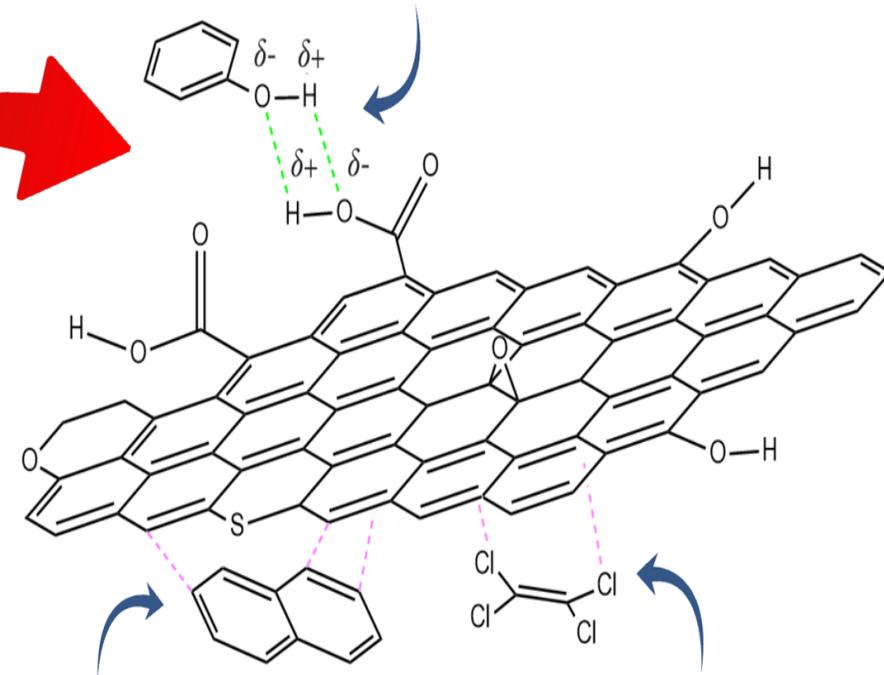
# O que é o produto remediador CarbonGEO®?



CarbonGEO®



Interações dipolo-dipolo favorecem interações com substâncias mais polares



Interações de Van der Waals causam adsorção de compostos menos polares



Outros contaminantes sobre consulta ou ensaios de tratabilidade e bancada.

# Objetivos específicos

- CarbonGEO®: **contenção da pluma de fase dissolvida** que estava gerando aporte de contaminantes para o córrego existente na área.
- PeroxyGEO®: atuação na **bioestimulação de bactérias autoctones** degradadoras dos hidrocarbonetos.



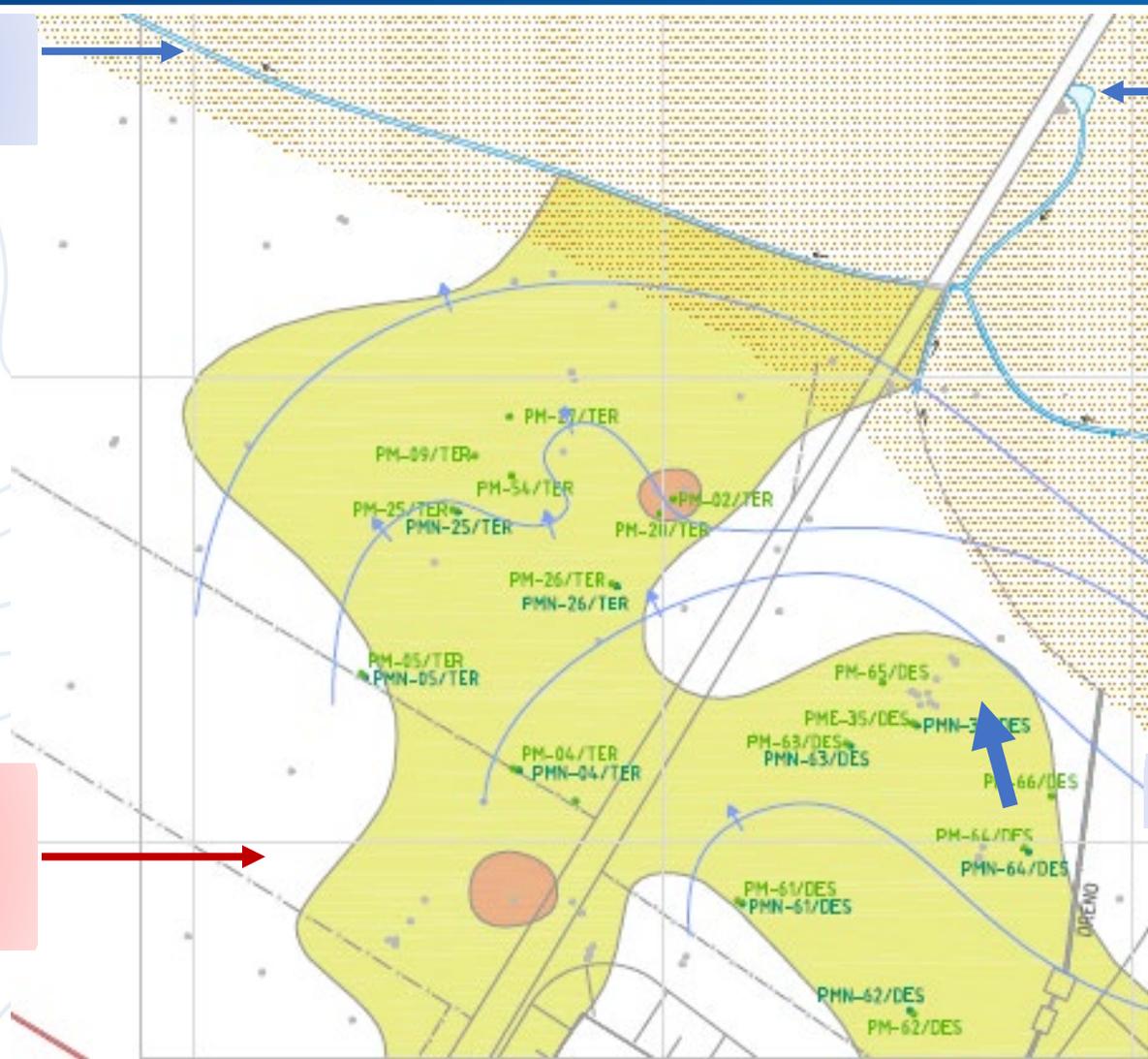
# Modelo Conceitual do *site*

CÓRREGO (BEM A PROTEGER)

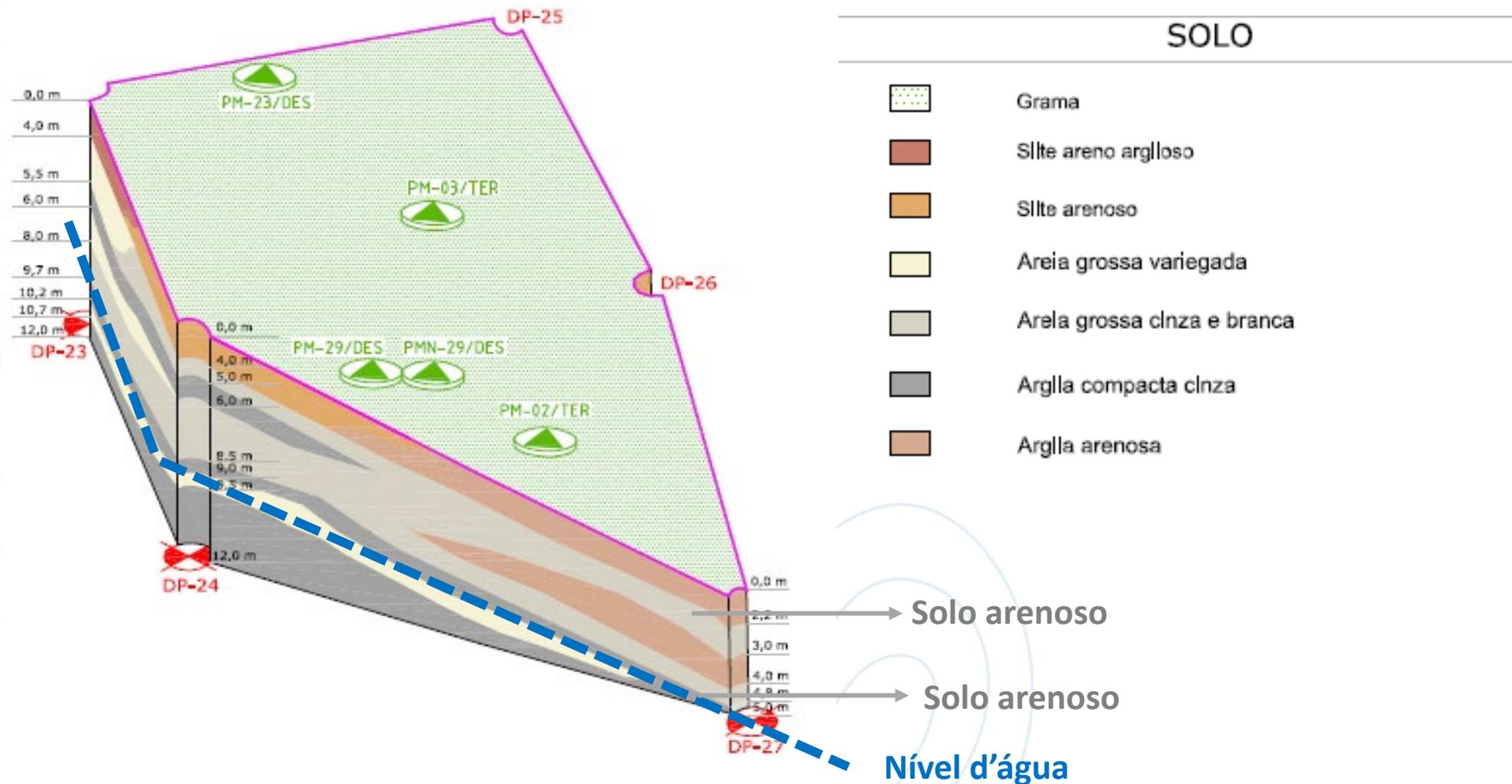
NASCENTE

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO

FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA



# Modelo Conceitual do *site*



# Contextualização – Plano de Intervenção

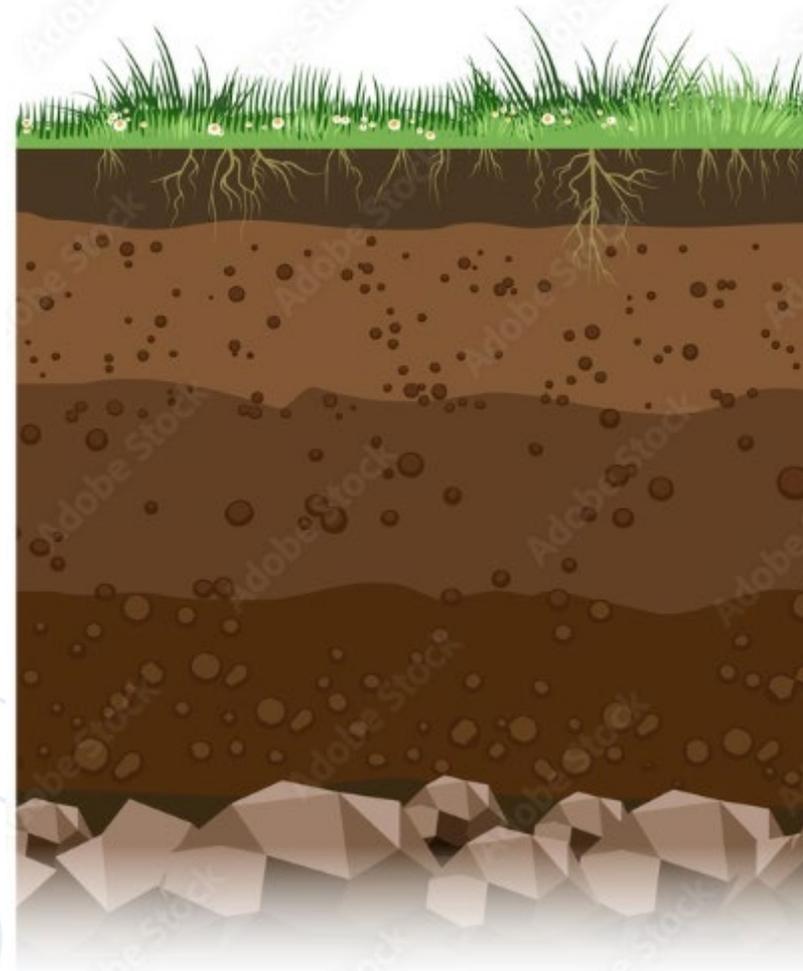
## ➤ Tecnologias avaliadas

- 1) Barreira Hidráulica para contenção dos contaminantes, com tratamento em superfície;
- 2) Construção de Barreira Hidráulica Injetável (CarbonGEO) e de Peróxido de Cálcio de Oxigênio, para propiciar a contenção dos contaminantes provenientes de montante, assim como propiciar a biodegradação aeróbica dos contaminantes.

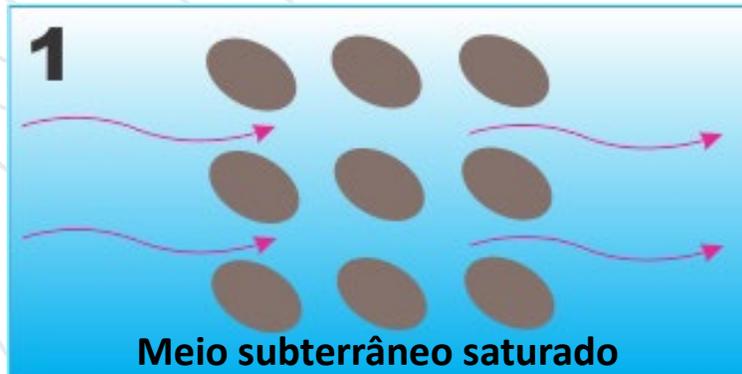


# Viabilidade da tecnologia

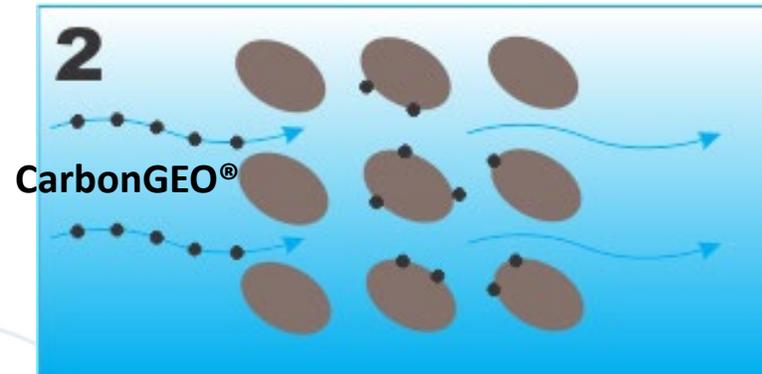
**O CarbonGEO® apresenta granulometria média de 10µm podendo ser aplicado por injeção *direct push* sob baixa pressão em camadas de alta condutividade hidráulica como litologias arenosas.**



# Mecanismo de funcionamento do CarbonGEO® no meio poroso

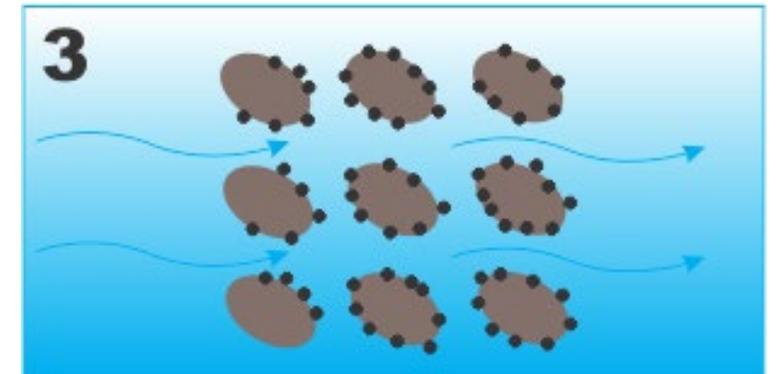


Ambiente subterrâneo saturado, afetado por pluma **em fase dissolvida** de substâncias orgânicas.



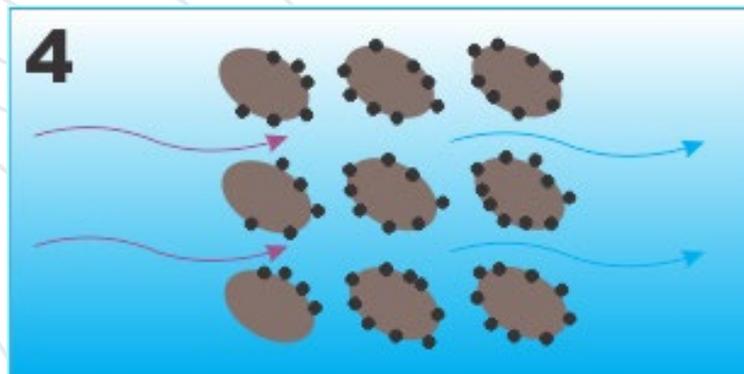
O CarbonGEO® é composto por uma suspensão aquosa de **Carvão Ativado Ultrafino Micrométrico**. Esta solução é injetada diretamente no meio subterrâneo saturado pela metodologia *direct push*.

As partículas do carvão ocupam parte dos poros efetivos do solo, permitindo o fluxo normal do aquífero.

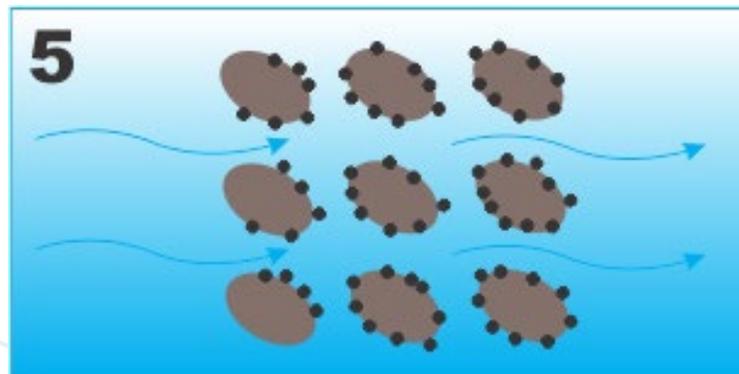


A quantidade de carvão ativado micrométrico a ser injetado no meio saturado leva em conta a **capacidade de adsorção do carvão ativado** para substâncias orgânicas. Entre os compostos viáveis para uso desta tecnologia destacam-se: VOC's, SVOC's, TPH's, PFAS, entre outros.

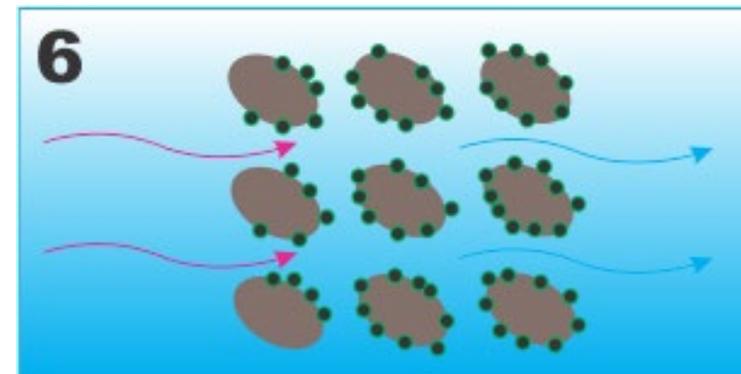
# Mecanismo de funcionamento do CarbonGEO® no meio poroso



O aquífero subterrâneo, contendo os compostos químicos de interesse em meio dissolvido passa entre os poros da região que recebeu o carvão ativado. O meio poroso então funciona literalmente como um **FILTRO**, onde o carvão ativado adsorve os contaminantes.



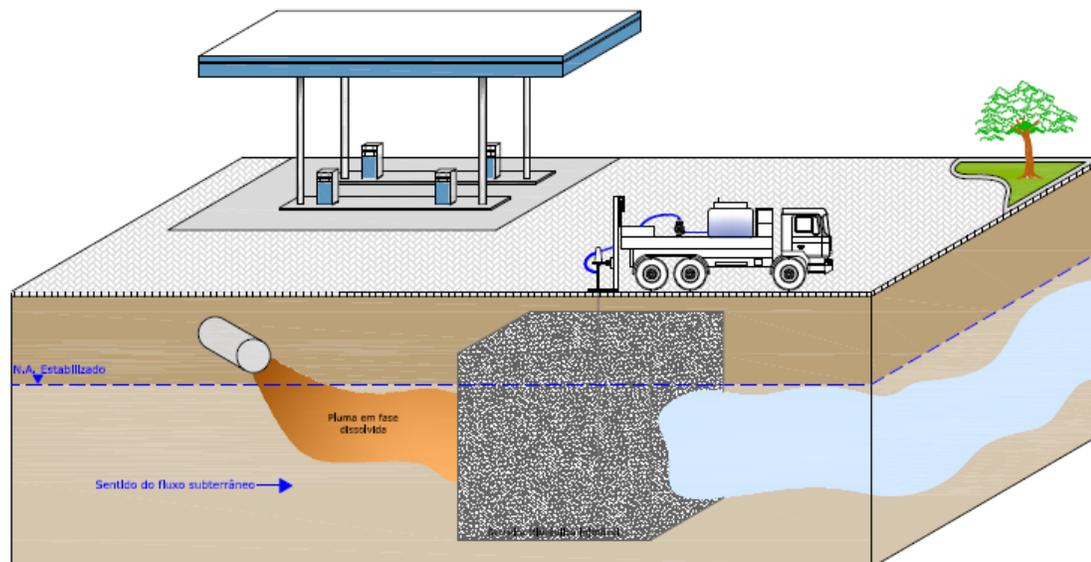
Outra forma de aplicação do CarbonGEO® é a atenuação da pluma dentro de uma região de controle. O carvão ativado pode reter a pluma de fase dissolvida, dificultando sua expansão e **atuando como um tratamento complementar**, podendo ser associado à outras técnicas de remediação.



Processos microbiológicos naturais, promovem o desenvolvimento de biofilmes que auxiliam no processo de tratamento do aquífero.

# Mecanismo de funcionamento e aplicação do CarbonGEO® no meio poroso

- O **carvão ativado ultrafino** (menor que 30 microns) em **suspensão aquosa** pode ser injetado diretamente no subsolo, nas profundidades de interesse, através sistema *Direct-Push* ou poços de injeção.
- O **CarbonGEO®**, literalmente cria um “filtro” na **zona saturada do solo**, onde através das propriedades do carvão ativado os contaminantes orgânicos são adsorvidos, contendo o avanço do fluxo de massas da pluma em direção de bens a proteger como córregos ou nascentes.



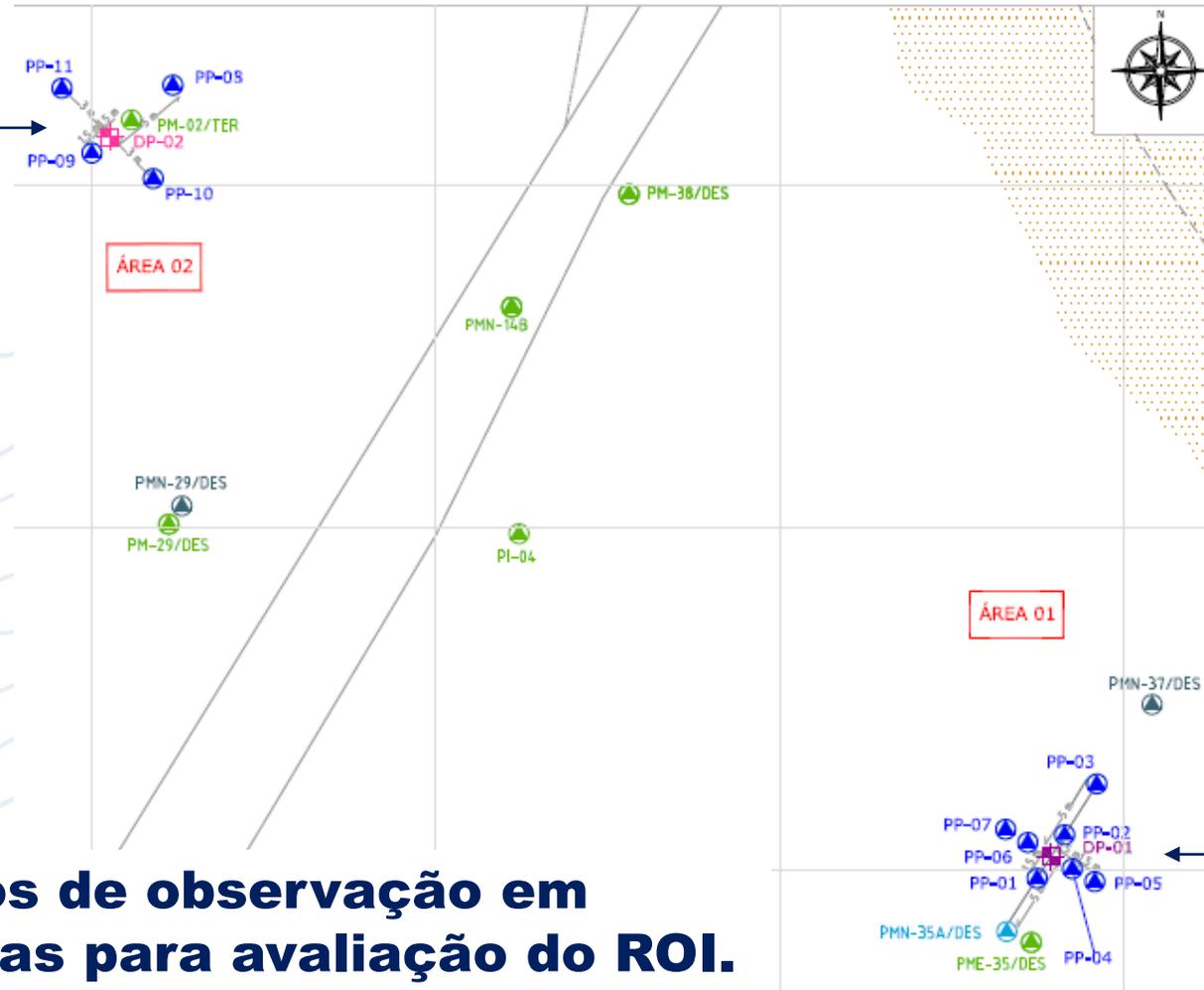
- ✓ O produto injetado ocupa parte dos poros efetivos), mantendo a permeabilidade do lençol freático.
- ✓ O carvão é um produto inerte com **propriedades físicas de adsorção**.
- ✓ Devido a sua elevada área superficial interna e superfície irregular, auxilia também no **desenvolvimento de micro-organismos** que podem auxiliar no processo de remediação da área.

# Mecanismo de funcionamento e aplicação do PeroxyGEO® no meio poroso

- O Peróxido de cálcio atua na bioestimulação de bactérias autoctones degradadoras dos hidrocarbonetos através do fornecimento de oxigênio no meio saturado;
- Tem ação oxidante, agindo como uma barreira reativa ao fluxo de contaminantes;
- Pode ser injetado diretamente no subsolo, nas profundidades de interesse, através sistema *Direct-Push* ou poços de injeção.

# Execução do ensaio piloto de aplicação

PEROXYGEO®

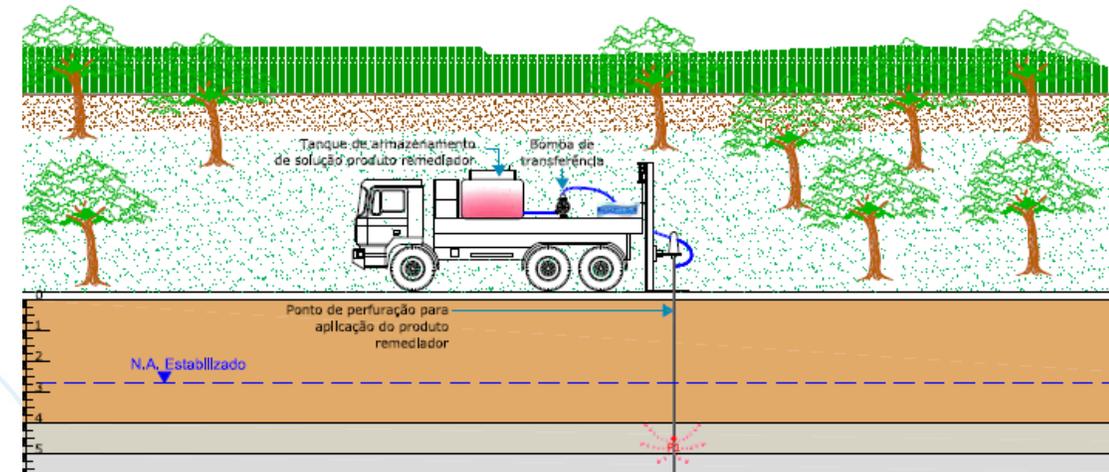


CARBONGEO®

**Instalação de poços de observação em diferentes distâncias para avaliação do ROI.**

# Execução do ensaio piloto de aplicação

- Metodologia de aplicação: *Direct Push*.
- Profundidade de aplicação: Conforme litologia arenosa verificada com as sondagens *direct push*, aproximadamente 4,50 metros.
- Soluções de produto remediador:
  - 20.000 litros aplicados de CarbonGEO® (5% v/v)
  - 10.000 litros de PeroxyGEO® (1% m/v)



# Execução do ensaio piloto de aplicação

- Injeção dos produtos CarbonGEO® e PeroxyGEO® e por *Direct Push* em zona saturada de alta condutividade hidráulica.
- Monitoramento dos parâmetros Turbidez e pH em campo durante todo o ensaio.



# Resultados obtidos no ensaio piloto

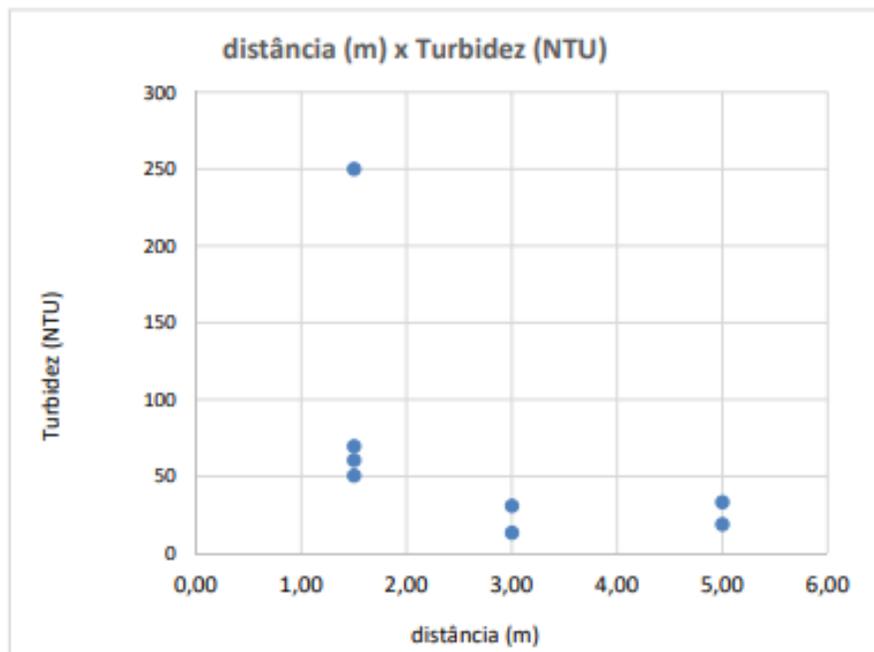
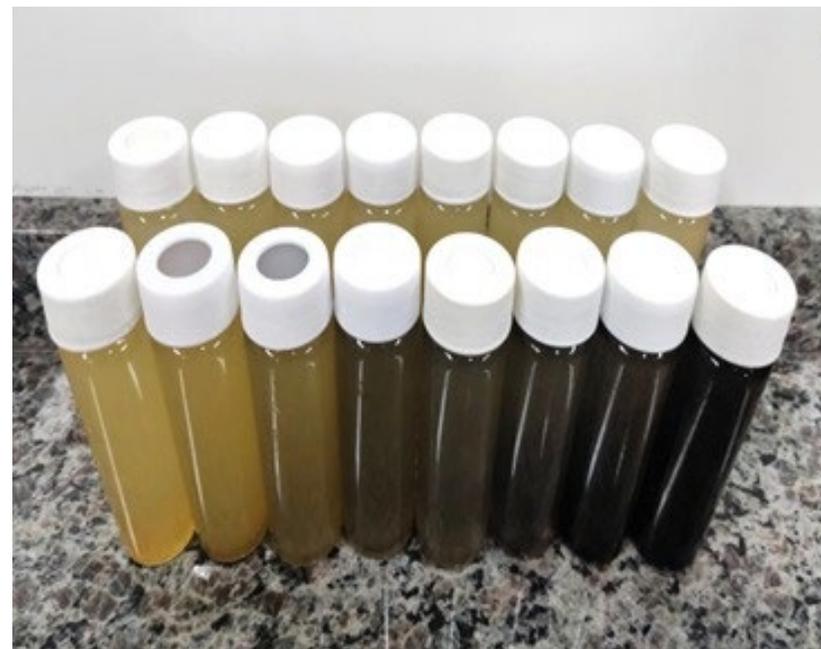


Figura 1. Variação da turbidez com 10.000 litros aplicados de CarbonGEO®.



- Analisando os dados obtidos através das medições de turbidez foi possível visualizar as alterações pela distância do ponto de aplicação de CarbonGEO® até os poços de observação utilizados no ensaio.
- **O Raio de influência a partir da aplicação do CarbonGEO® foi de 5 metros.**

# Evidência da presença do CarbonGEO® no meio saturado



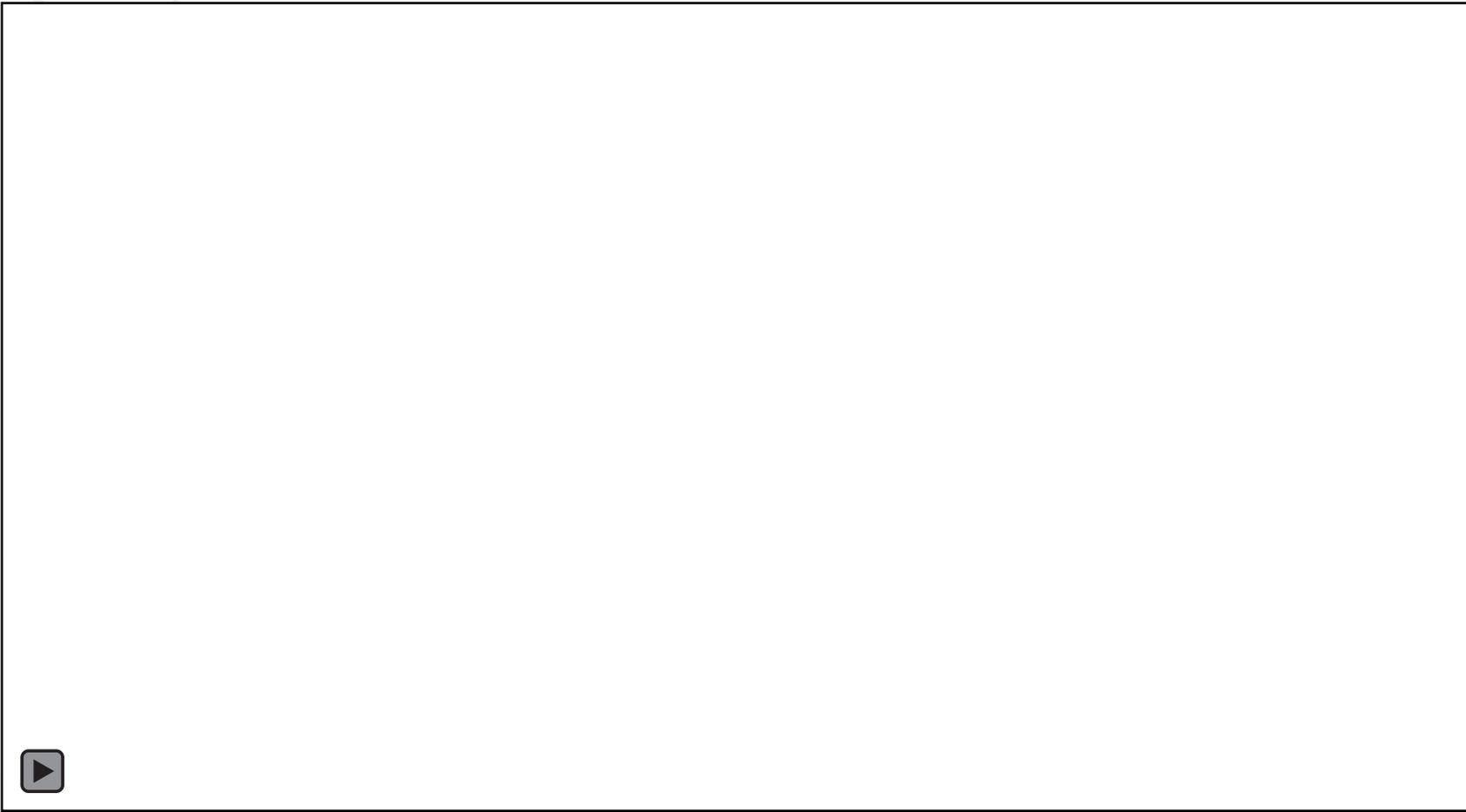
Presença de CarbonGEO® na zona zona saturada



Presença de CarbonGEO® nos poços de observação

# Resultados ROI

**Exemplo de outro site onde foi realizado o ensaio piloto de aplicação do CarbonGEO®.**



# Conclusões

- Os resultados do ensaio piloto demonstraram a aplicabilidade da combinação de tecnologias promovidas pelos produtos CarbonGEO® e PeroxyGEO®.
- A partir da interpretação do Modelo Conceitual da área e dos dados do ensaio piloto de aplicação, foi possível determinar a porosidade móvel e o raio de influência (ROI = 5 m) para dimensionamento da remediação em escala total, assim como os demais parâmetros pertinentes ao Projeto Executivo de Remediação.

# Implantação das barreiras em Full Scale

CÓRREGO

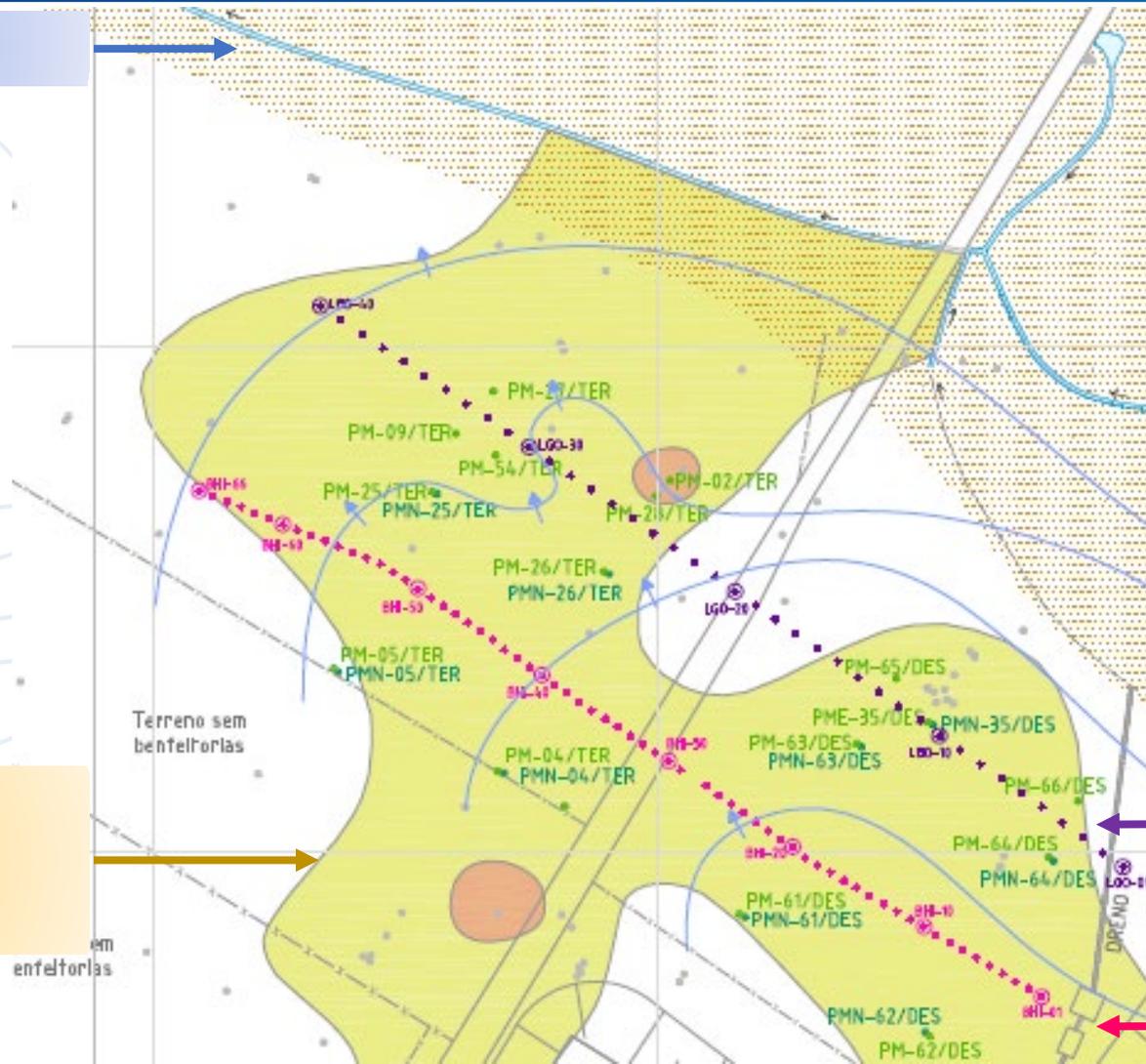
NASCENTE

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO

PEROXYGEO®

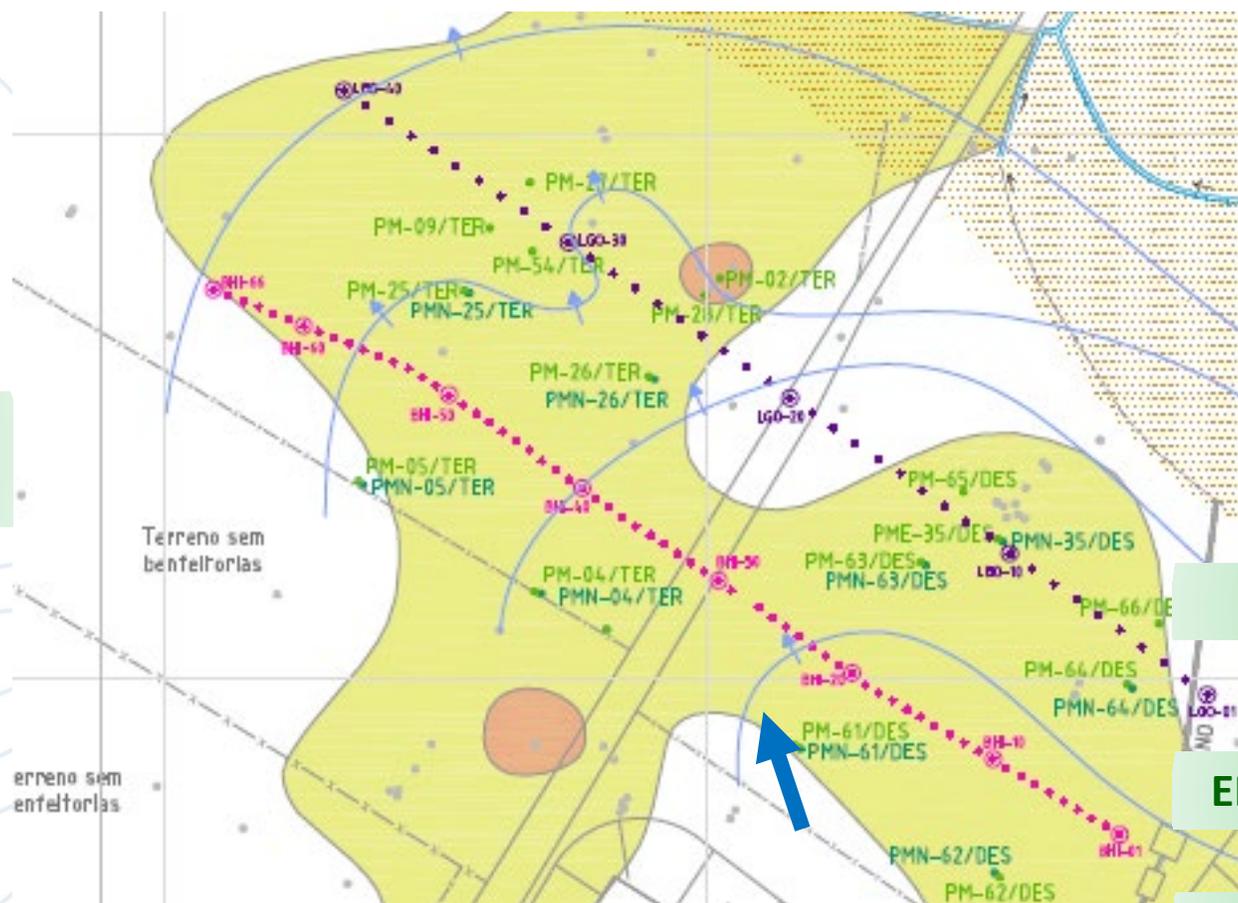
CARBONGEO®

GEOAMBIENTE®



# Avaliação da eficácia e eficiência das barreiras de carvão ativado ultrafino micrométrico e peróxido de cálcio

**POÇOS DE MONITORAMENTO**

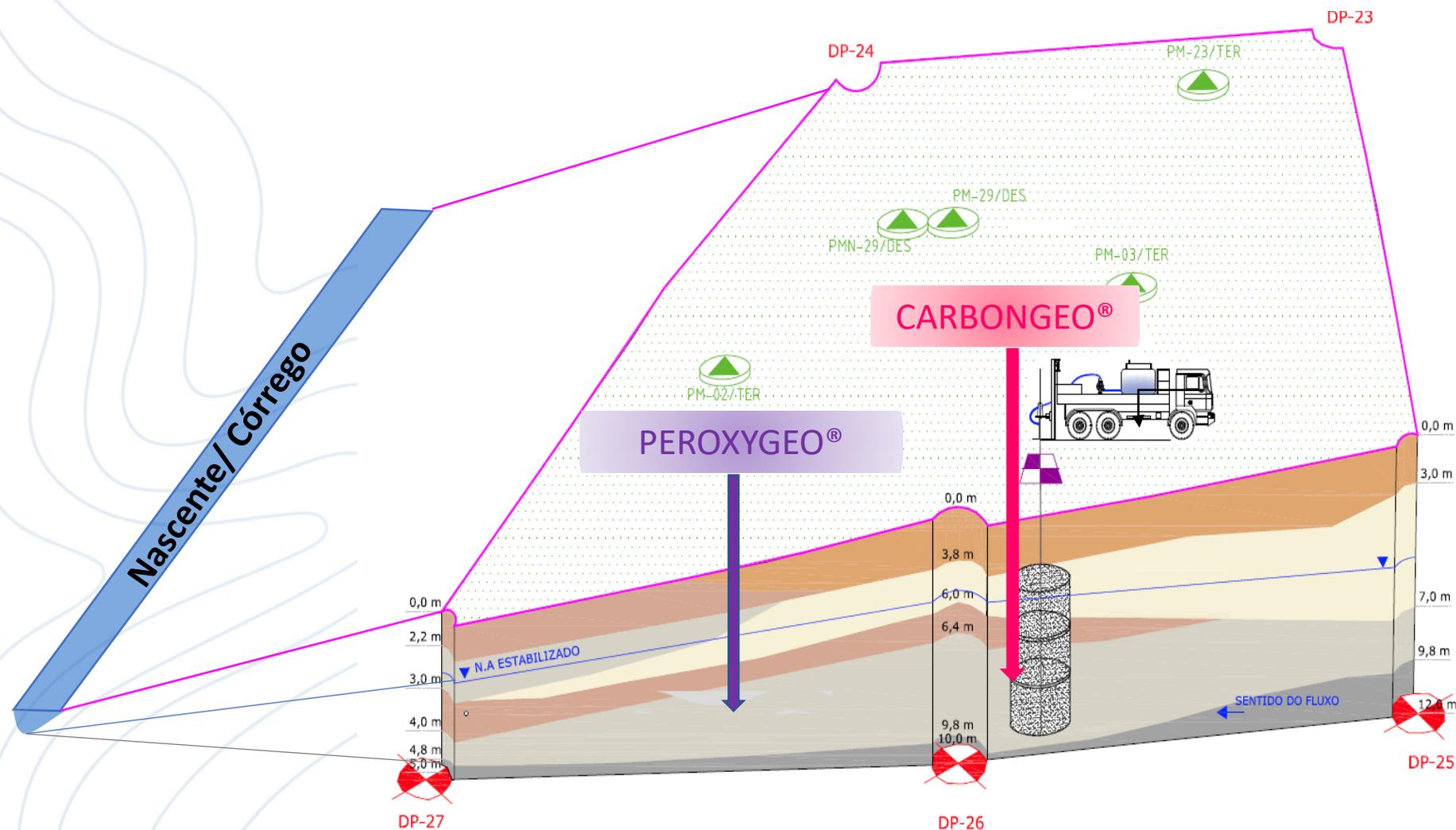


**JUSANTE**

**ENTRE AS BARREIRAS**

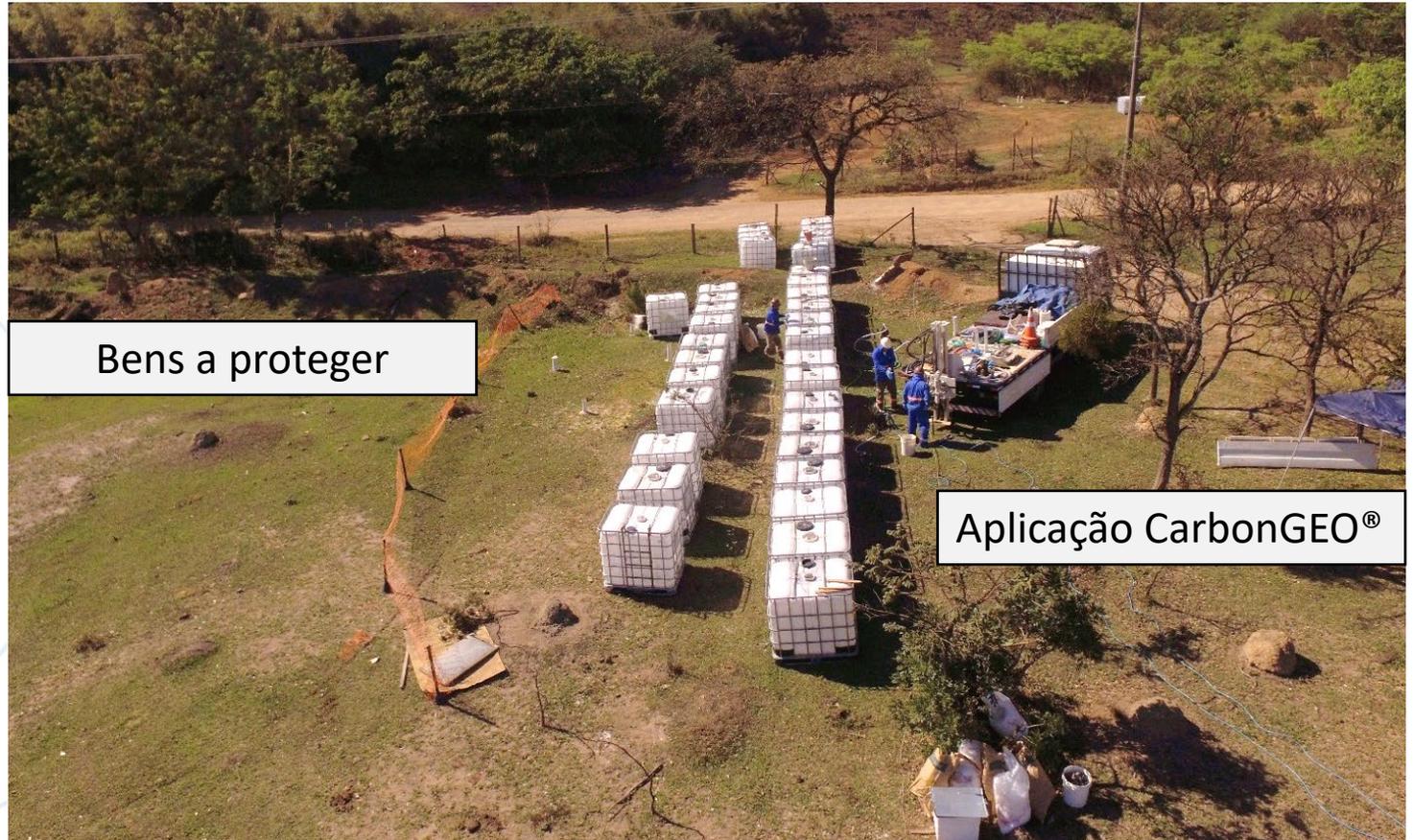
**MONTANTE**

# Aplicação das barreiras de carvão ativado ultrafino micrométrico e peróxido de cálcio



# Implantação das barreiras em *Full Scale*

- ✓ Aplicação de barreira adsortiva de CarbonGEO® e barreira reativa/bioestimuladora de PeroxyGEO®
- ✓ Porosidade efetiva: 30%
- ✓ Velocidade do lençol calculado: 10 m/ano
- ✓ Fluxo de Massa calculado: 472,5 gramas de BTEX/ano
- ✓ Capacidade de adsorção do CarbonGEO®: 3 g/g de BTEX



# Implantação das barreiras em *Full Scale*

- ✓ 40 dias ininterruptos de trabalhos em campo para injeção
- ✓ 20.000 L injetados por dia
- ✓ 250 metros de extensão.
- ✓ 10 metros de largura.
- ✓ Área teórica da Barreira: 945 m<sup>2</sup>
- ✓ 2 equipes de injeção.



- ✓ 800.000 litros de solução de CarbonGEO®
- ✓ 300.000 litros de solução de PeroxyGEO.



# Resultados Projeto *Full Scale*

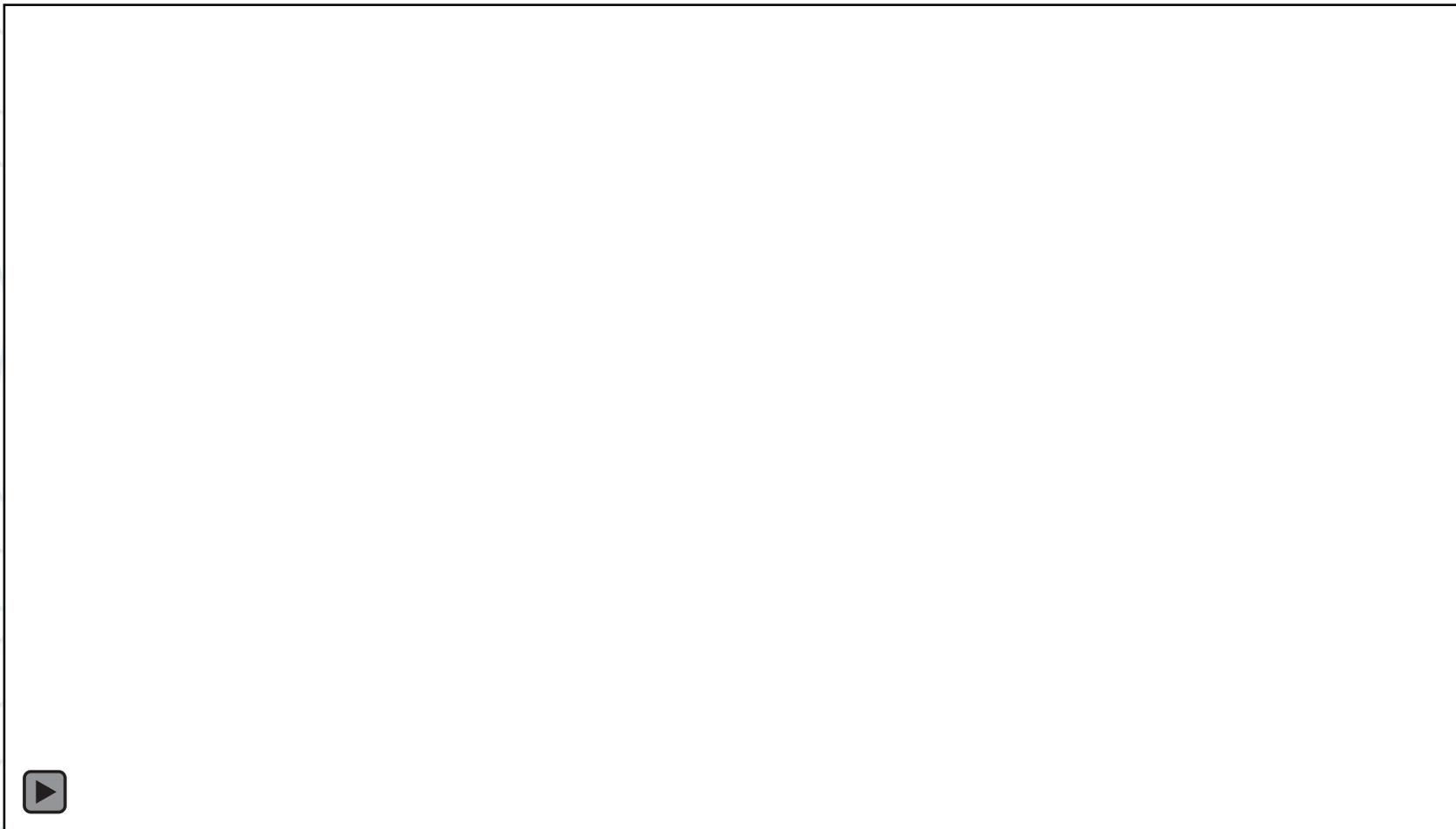
**Maio/ 2018**



**Maio/ 2019**



# Resultados Proyecto *Full Scale*



**OBRIGADA!**

**Ana Carolina Silva Ribeiro Rufino**

41 9 9232 8106

[anacarolina@geoambiente.eng.br](mailto:anacarolina@geoambiente.eng.br)

[comercial@geoambiente.eng.br](mailto:comercial@geoambiente.eng.br)

**“Em remediação nossa meta é encerrar casos”**



Visite nosso site: [geoambiente.eng.br](http://geoambiente.eng.br)





**GEOAMBIENTE**<sup>®</sup>