

The logo for GEOAMBIENTE, featuring the word "GEOAMBIENTE" in white, uppercase, sans-serif font inside a dark blue, wavy banner. A registered trademark symbol (®) is located to the right of the banner.

**GEOAMBIENTE**®

**II CONFERÊNCIA DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS**  
**AESAS – Associação de Empresas de Consultoria e Engenharia Ambiental**  
**Sessão 26 – Ensaio de Bancada e Piloto de Campo para Remediadores**  
**São Paulo - 2022**

**Relação entre os diferentes tipos texturais de solo e a demanda de oxidantes nos processos de remediação *ISCO – In Situ Chemical Oxidation***

Ana Cecília Branco Sowinski <sup>1</sup>, Hermano Fernandes <sup>1</sup>, Murilo G. da Rocha <sup>2</sup>

<sup>1</sup> GEOAMBIENTE ® S/A, Fazenda Rio Grande/PR, Brasil

<sup>2</sup> LabGEO Laboratório e Pesquisa, Fazenda Rio Grande, Brasil

# Gerenciamento de Áreas Contaminadas - GAC

## A importância de um bom Modelo Conceitual

### HRSC

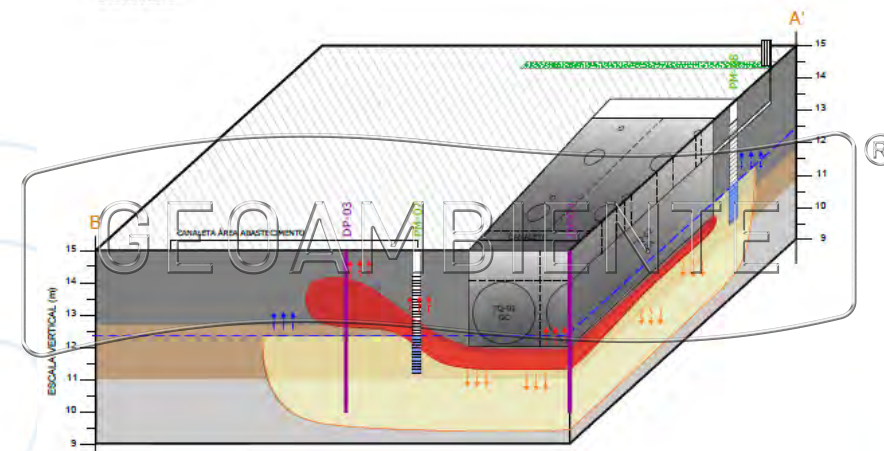
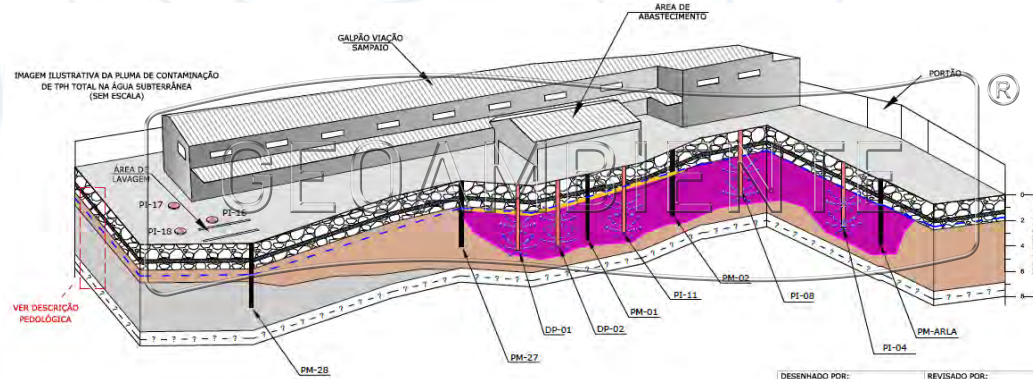
- Unidades Hidroestratigráficas
- Centros de Massa

### Caracterização do Contaminante

- Transmissividade do LNAPL
- Saturação no meio

### Plano de Intervenção

- Definição melhor técnica de Remediação



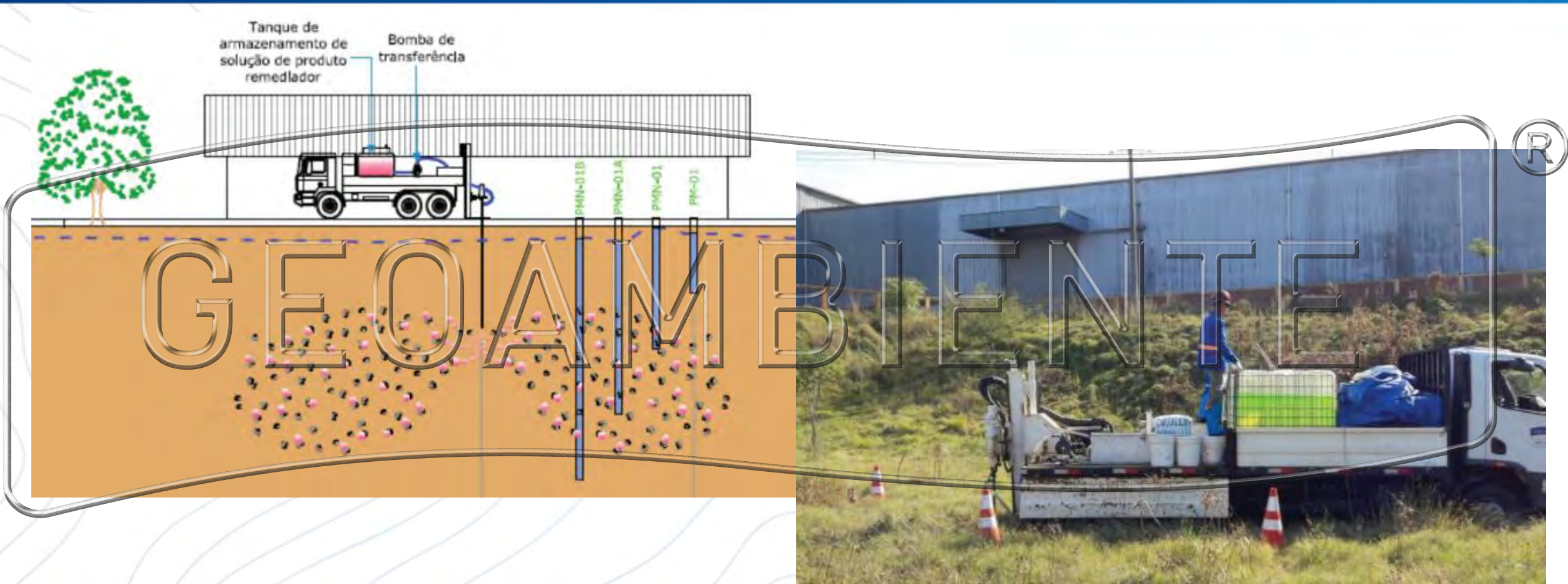
# PLANO DE INTERVENÇÃO

Técnica de Remediação	Vantagens	Desvantagens	Custo	Tempo
Escavação e Descomissionamento de Estruturas	Remoção total de fase livre, retida e aprisionada	Necessidade de desmobilização de equipamentos e infraestrutura	\$\$\$	t
Bombeamento e Tratamento (P&T)	Implantação rápida	Remoção parcial de fase livre e dissolvida	\$\$	tttt
	Sem necessidade de desmobilização de equipamentos e infraestrutura	Não remoção de fase aprisionada e retida		
	Ideal para litologias arenosas	Ocorrência de rebound ( <i>back diffusion</i> )		
P&T com surfactação	Utilizada em conjunto com o bombeamento e surfactação, promovendo a lavagem do solo ( <i>soil flushing</i> ), otimizando a quantidade de produtos remediadores	Requer monitoramento da qualidade da água a ser reinfiltrada, para garantia de menor concentração que a inicialmente bombeada	\$\$	tt
Injeção de Ar e Extração de Vapores do Solo - AS/SVE	Remoção de fase vapor e dissolvida	Remoção parcial de fase livre e aprisionada	\$\$	tttt
	Rápida implementação	Aplicável somente a zonas não saturadas do solo		
	Sem limites de profundidade	Possibilidade de dispersão dos contaminantes		
	Ideal para litologias arenosas	Ocorrência de rebound ( <i>back diffusion</i> )		
Extração Multifásica - MPE Extração em duas fases - DPE	---	Criação de caminhos preferenciais	\$\$	tttt
	Implantação rápida	Remoção parcial de fase livre e dissolvida		
	Remoção parcial de fases livre, dissolvida e vapor	Não remoção de fase aprisionada e retida		
	Sem necessidade de desmobilização de equipamentos e infraestrutura	Limitada a profundidades maiores que 7 m		
Surfactação S-ISCO	Ideal para áreas permeabilidade intermediária	Ocorrência de rebound ( <i>back diffusion</i> )	\$\$\$	tt
	Implantação rápida	Necessidade de criar barreira hidráulica para evitar dispersão a jusante		
	Remoção acelerada de fases livre, retida, aprisionada e dissolvida	Não remoção de fase vapor		
	Sem limites de profundidade	Consumo otimizado de reagente pela presença de fase livre desorvida pelo surfactante		
Oxidação Química <i>In Situ</i> (ISCO)	Ideal para litologias arenosas	---	\$\$\$	tt
	Remoção de fase retida, aprisionada e dissolvida	Consumo muito alto de reagente pela presença de fase livre		
	Liberção parcial de fase vapor	Necessidade de conjugação com SVE, para evitar emissão fugitiva		
	Sem limites de profundidade	---		
Oxidação Química em Cavas ( <i>Soil Mixing</i> )	Distribui reagentes de forma mais eficaz; Homogeneiza a matriz; Impede a lixiviação	---	\$\$	t

## *ISCO – In Situ Chemical Oxidation*

- Remediação através da oxidação química dos contaminantes presentes em fases dissolvida e retida
- Custos competitivos, quando comparada a outras técnicas de remediação
- Tratamento relativamente rápido das áreas impactadas
- Agentes oxidantes, utilizados conjuntamente a liberadores gradativos de oxigênio, favorecem a atuação de micro-organismos e a biodegradação aeróbica pós-oxidação, promovendo a atenuação natural dos contaminantes

# ISCO – In Situ Chemical Oxidation



# ISCO – In Situ Chemical Oxidation

Tecnologias  
Patenteadas



Remediação ambiental de solo e água subterrânea através de processos oxidativos in-situ.

**PersulGEO®**



**PeroxyGEO®**



**GEOAMBIENTE®**

## *ISCO – In Situ Chemical Oxidation*

Pergunta muitas vezes “oculta” e importante a ser respondida:

**Qual a quantidade de produto oxidante que será naturalmente consumida pelo solo durante o processo de remediação???**

Se não respondida esta questão, há consequências negativas ao processo de remediação *ISCO*, principalmente pelo risco de **sub-dimensionamento** da massa de oxidantes a ser empregada.

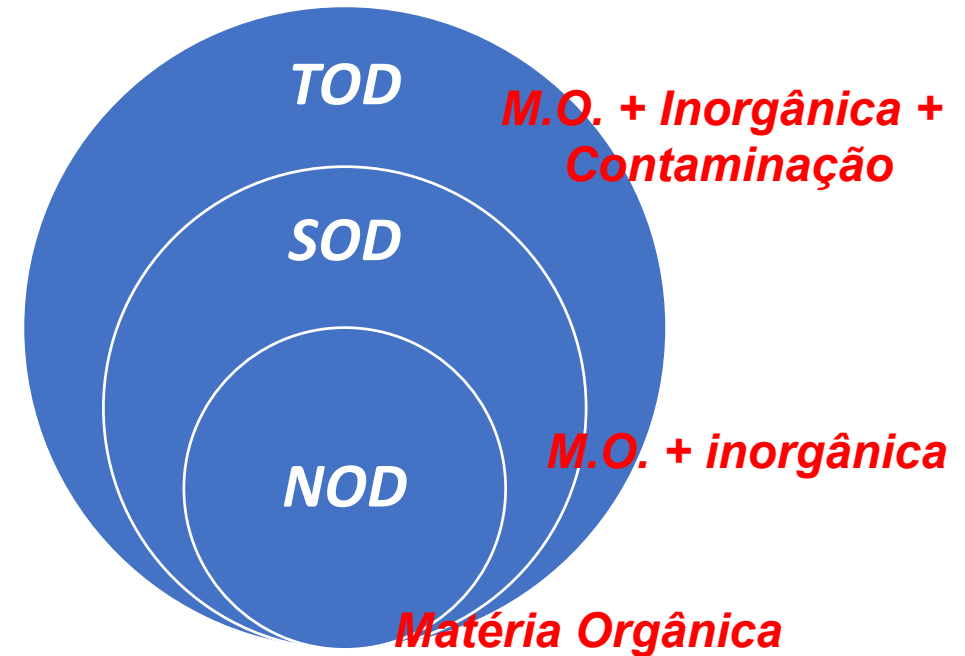


# Terminologias Importantes

**NOD – Natural Oxidant Demand** (Demanda Natural de Oxidante)

**SOD – Soil Oxidant Demand** (Demanda de Oxidante do Solo)

**TOD – Total Oxidant Demand** (Demanda de Oxidante Total)





## A importância da quantificação da *SOD*

A fim de se estimar apropriadamente a quantidade de oxidantes a ser injetada, para além obviamente dos quantitativos de contaminantes "alvo" - sejam eles encontrados em fases dissolvida, retida ou livre, todas as reações que consomem oxidantes devem ser consideradas.

Do contrário, a quantidade de produto remediador será subestimada e o projeto de remediação *ISCO* não alcançará seus objetivos.

Em alguns casos, considerando a alta demanda de oxidantes do meio, projetos *ISCO* podem revelar-se economicamente inviáveis pela enorme quantidade de remediadores a serem utilizados apenas para abater a *SOD* da área.

## A importância da quantificação do *SOD*

O consumo dos oxidantes por compostos que não são o alvo de degradação aumenta o consumo dos reagentes e, portanto, os custos da remediação (LINDSEY e TARR, 2000; ITRC, 2005; BACIOCCHI et al., 2014).

O principal consumidor de oxidantes no solo é a matéria orgânica (SIEGRIST et al., 2011), no entanto, compostos reduzidos de ferro, manganês e enxofre também podem funcionar como sequestrantes (EPA, 2006).

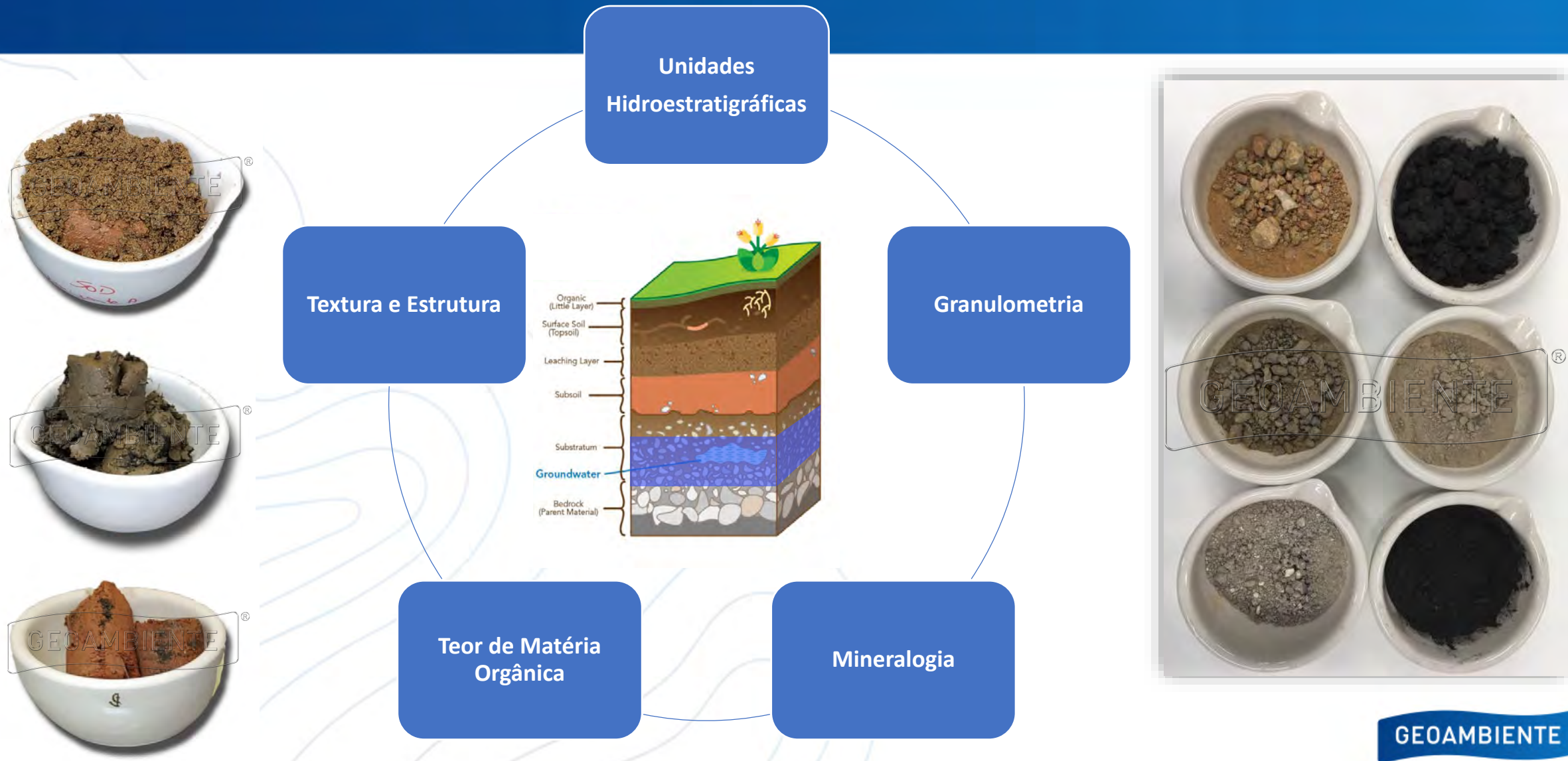
# Como quantificar a *SOD*

Tendo em vista que a determinação a *SOD* de uma área é crucial para o sucesso de uma remediação *ISCO*, o ideal é proceder com a **análises específicas para determinação da *SOD***, em laboratório.



\* fotos de análises feitas em parceria com o LABGEO, atualmente acreditados pelo INMETRO para a realização dos ensaios para determinação da *SOD*

# Caracterização do Solo x Influências na *SOD*



# Caracterização do Solo x Influências no *SOD*

A partir da reunião e sistematização dos resultados análises acreditadas para SOD realizados em dezenas de *sites* espalhados pelo Brasil, foi possível estabelecer correlações entre solos com determinadas texturas e valores de demanda de oxidantes.

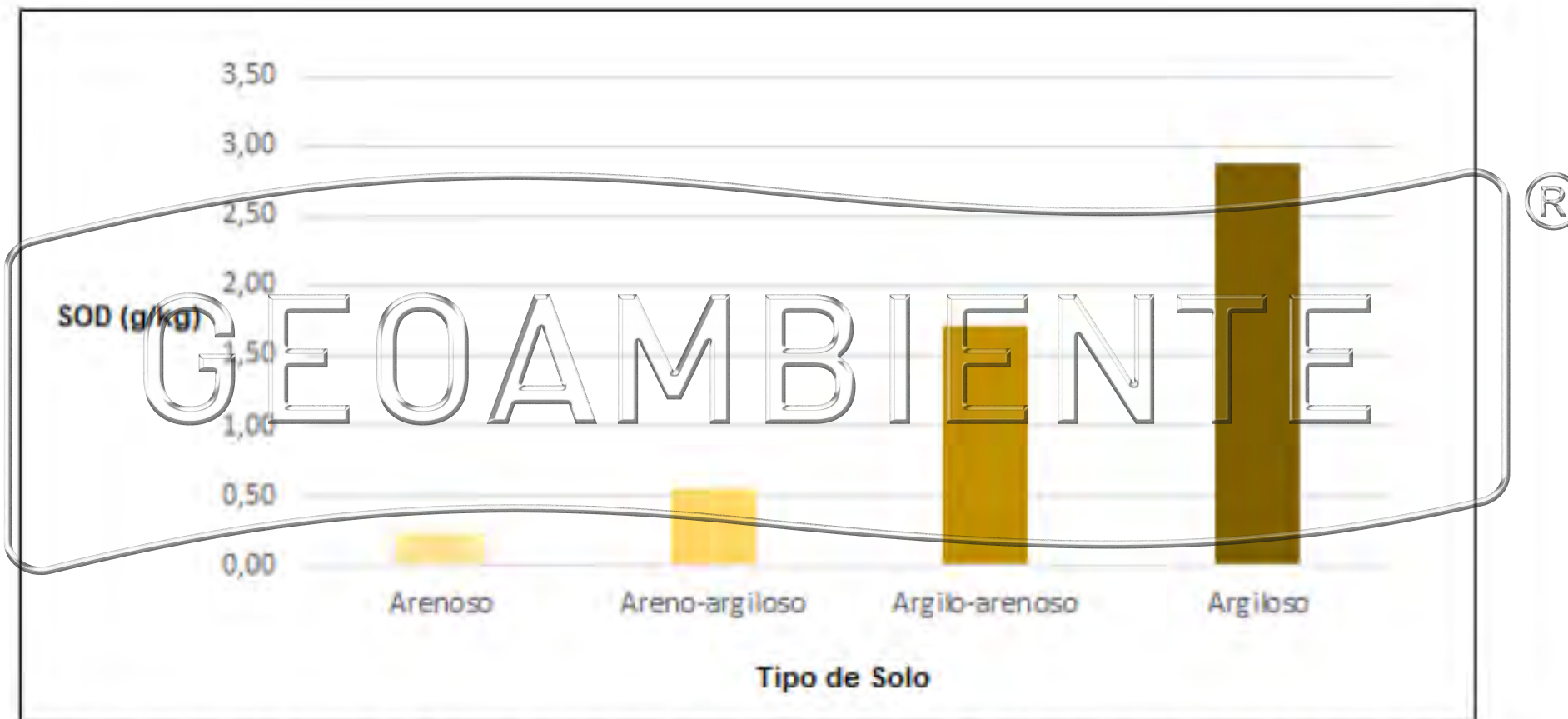
A **Tabela 1** e a **Figura 1**, a seguir, apresentam, de forma sucinta, a correlação entre 4 tipos texturais de solo (arenoso, areno-argiloso, argilo-arenoso e argiloso), com valores calculados para SOD em ensaios dedicados a este fim.

# Caracterização do Solo x Influências no SOD

Tipo de solo	SOD (g/kg)	Tipo de solo	SOD (g/kg)	Tipo de solo	SOD (g/kg)	Tipo de solo	SOD (g/kg)
Arenoso	0,028	Areno-argiloso	0,386	Argilo-arenoso	0,800	Argilo-arenoso	1,956
Arenoso	0,032	Areno-argiloso	0,429	Argiloso	0,828	Argiloso	2,507
Arenoso	0,048	Areno-argiloso	0,481	Areno-argiloso	0,900	Argiloso	3,058
Arenoso	0,062	Areno-argiloso	0,495	Argiloso	1,000	Argilo-arenoso	3,198
Arenoso	0,159	Areno-argiloso	0,508	Argiloso	1,000	Argilo-arenoso	3,200
Arenoso	0,180	Areno-argiloso	0,558	Areno-argiloso	1,000	Argiloso	3,330
Arenoso	0,198	Areno-argiloso	0,576	Arenoso	1,000	Argiloso	3,642
Arenoso	0,203	Areno-argiloso	0,609	Argiloso	1,026	Argiloso	3,670
Arenoso	0,218	Argilo-arenoso	0,622	Argiloso	1,407	Argiloso	4,090
Areno-argiloso	0,261	Areno-argiloso	0,689	Argiloso	1,408	Argiloso	4,728
Areno-argiloso	0,275	Areno-argiloso	0,699	Argiloso	1,408	Argiloso	4,740
Areno-argiloso	0,283	Argilo-arenoso	0,700	Argilo-arenoso	1,479	Argiloso	4,830
Areno-argiloso	0,298	Areno-argiloso	0,727	Argiloso	1,530	Argiloso	8,010
Areno-argiloso	0,301	Areno-argiloso	0,735	Argiloso	1,604	Argiloso	8,010
Areno-argiloso	0,326	Argilo-arenoso	0,800	Argiloso	1,675	Argiloso	8,020

**Tabela 1:** Correlação observada entre tipos texturais de solo e médias de SOD (g/kg) verificada a partir de dezenas de ensaios de bancada realizados em diversos sites espalhados pelo Brasil.

# Caracterização do Solo x Influências no *SOD*



**Figura 1:** Correlação observada entre tipos texturais de solo e médias de SOD (g/kg) verificada a partir de dezenas de ensaios de bancada realizados em diversos sites espalhados pelo Brasil.

# Caracterização do Solo x Influências na *SOD*

Alguns resultados, como podem ser observados principalmente pela observação da **Tabela 1**, divergem do valor médio esperado.

Existem muitas variações também, dentro de uma mesma classe textural (ex. solos argilosos – variação 0,8 a 8,0 g/kg)

O fato demonstra que a caracterização do tipo textural do solo não deve ser utilizada como fator isolado para a determinação de *SOD*, devendo ser avaliada conjuntamente a outras variáveis, principalmente o teor de matéria orgânica presente no meio.

Corroborar também a necessidade de se executar um ensaio de bancada específico para cada área e se possível para cada unidade hidroestratigráfica avaliada, a fim de se obter o melhor resultado para a remediação em questão.



# Determinação Massa de Oxidantes para Abater a SOD

A massa de oxidantes necessária para atender a demanda natural do solo pode ser calculada por meio da multiplicação da SOD e a massa total de solo.

$$\text{Massa de Oxidantes para Atender ao SOD (kg)} = \text{Massa de Solo Total (ton)} \times \text{SOD} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right)$$

Esta, por sua vez, pode ser obtida através do volume alvo a ser influenciado no ensaio piloto, que é função do raio de influência. Esse volume total de influência, multiplicado pela massa específica do solo, possibilita calcular a massa de solo total.

$$\text{Massa de Solo Total (tonelada)} = \text{Volume Total (m}^3\text{)} \times \text{Massa Específica do Solo} \left( \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right)$$

# Agradecimentos !!!

À toda equipe GEOAMBIENTE ® S/A

Aos colegas coautores Hermano e Murilo

À toda equipe LABGEO ® Laboratório e Pesquisas

· · · · ·  
· Obrigada ·  
· · · · ·

# CONTATOS

**Ana Cecília Branco Sowinski** – [anacecilia@geoambiente.eng.br](mailto:anacecilia@geoambiente.eng.br)

+55 (41) 99254-3830

**Comercial GEOAMBIENTE® S/A** – [comercial@geoambiente.eng.br](mailto:comercial@geoambiente.eng.br)

+55 (41) 99899-1819

**Apresentação Institucional :**



EM REMEDIAÇÃO  
NOSSA META É  
**ENCERRAR CASOS.**

[geoambiente.eng.br](http://geoambiente.eng.br)

  @geoambientesesa |  @geoambientepr



**GEOAMBIENTE**<sup>®</sup>