



RAMBOLL ENVIRON BRASIL

**GERENCIAMENTO DE ÁREA
CONTAMINADA POR METAIS**

SUMÁRIO:

1. Contaminação por Metais
2. Apresentação do Caso
3. Projeto Conceitual
4. Testes de Tratabilidade
5. Ensaio Piloto
6. Conclusões Gerais e Próximas Etapas



1. CONTAMINAÇÃO POR METAIS

- **Metal**

63 elementos da Tabela Periódica são Metais (total 104) – 60%

Metal pesado → qualquer metal com **densidade superior a 6 g/cm^3**

Os metais pesados existem no ambiente aquático sob diversas formas: em solução (forma iônica, complexos solúveis orgânicos ou inorgânicos), retidos às partículas coloidais minerais ou orgânicas; retidos no sedimento, ou incorporados à biota.

A presença por si só de metal na natureza não é algo impactante → necessários à vida vegetal e animal. Porém, há risco se o teor de metais for excessivo (risco é função **concentração de metais no ambiente**).



1. CONTAMINAÇÃO POR METAIS

• Contaminação por Metais

Contaminação



- Indústrias diversas
- Principais: B, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn
- Elevada solubilidade em meios aquáticos
- Acumulação cadeia alimentar

Os metais pesados possuem **efeito cumulativo** também no corpo humano, sendo persistentes e pouco degradáveis biologicamente.

Maiores riscos à saúde são decorrentes das vias de exposição por **ingestão ou contato dermal** com a água subterrânea contaminada por metais pesados.



1. CONTAMINAÇÃO POR METAIS

• Contaminação por Metais

Características **físico-químicas do solo** influenciam o transporte dos metais no subsolo:

- Presença de íons inorgânicos (carbonato, fosfato e sulfeto): formam complexos insolúveis com os metais;
- pH do solo: maior mobilidade sob condições ácidas;
- Presença de matéria orgânica: complexação dos metais;
- Distribuição do tamanho das partículas do solo;
- Estrutura do solo.



1. CONTAMINAÇÃO POR METAIS

- **Técnicas de Remediação**

Geralmente são divididas para Solo e Água Subterrânea

SOLO:

Remoção por Escavação, Fitoremediação

ÁGUA SUBTERRÂNEA:

Ex-Situ: Precipitação Química, Flotação, Troca Iônica, Filtração (ultra, nano), Osmose Reversa

In-Situ: Precipitação Química

2. APRESENTAÇÃO DO CASO

• Características Gerais

- Indústria Química no Estado de São Paulo
- Solo principalmente siltoso, com lentes de argila
- NA entre 1,0 e 3,0 metros
- Compostos de Interesse: **Boro, Cobalto, Níquel e Zinco**
- Ambiente de Interesse: **água subterrânea** (2,0 a 9,0 m) – solo pouco impactado
- pH ligeiramente ácido (5,5) – ambiente anaeróbio e redutor (porção jusante), aeróbio e oxidante (montante)
- 3 anos de operação de um Sistema Pump & Treat (5 poços de extração)



2. APRESENTAÇÃO DO CASO

• Requisitos e Definições

- **Objetivo:** reduzir as concentrações dos metais Ni, Co, Zn e B até as metas de remediação num horizonte de tempo de 9 meses (!)

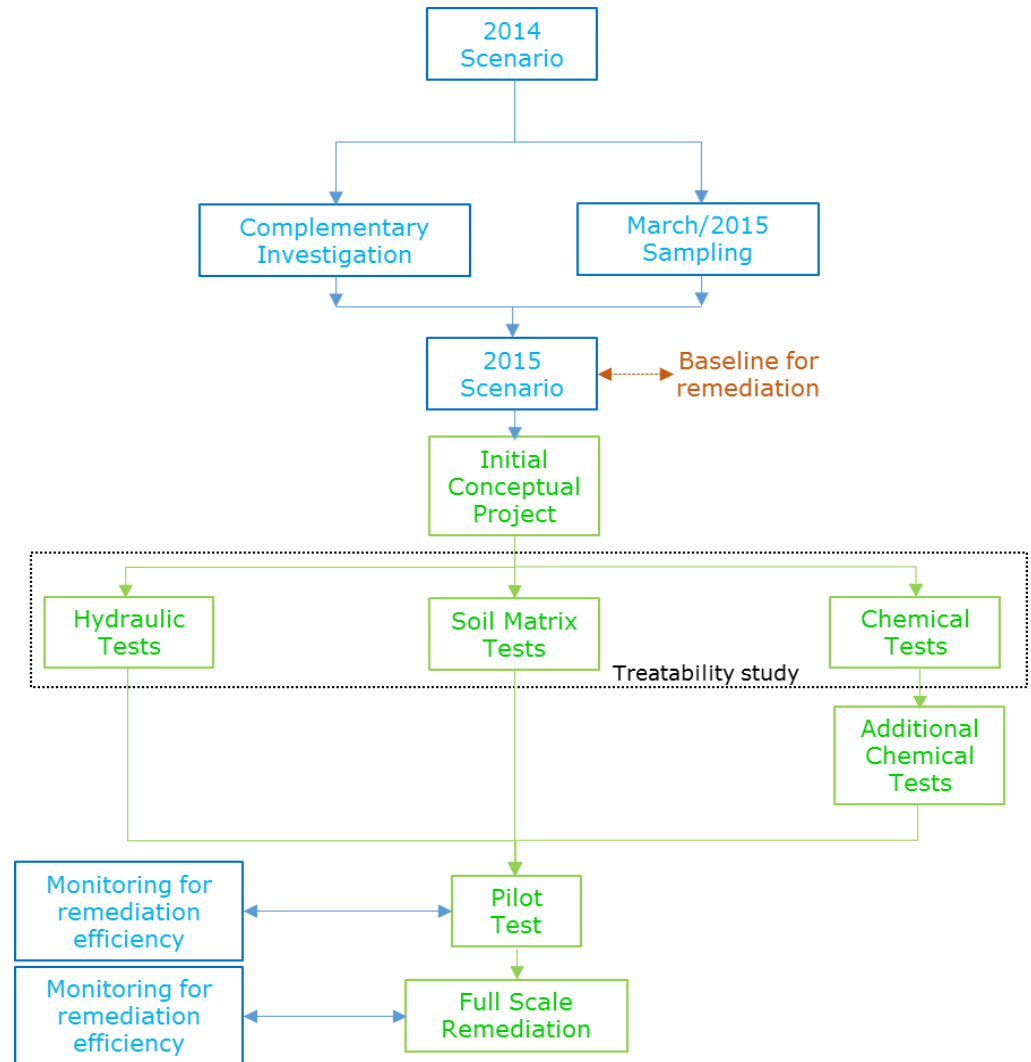
CQI	[] média	[] máx.	Meta Rem.
Ni	5,28 mg/L	148,00 mg/L	0,31 mg/L
Co	0,35 mg/L	2,96 mg/L	0,07 mg/L
Zn	1,31 mg/L	30,28 mg/L	4,70 mg/L
B	8,24 mg/L	84,05 mg/L	3,13 mg/L

- **Requisitos:** evitar operações no site pós-2015 (entrega do site), minimizar interferências com ativ. operacionais atuais.

3. PROJETO CONCEITUAL

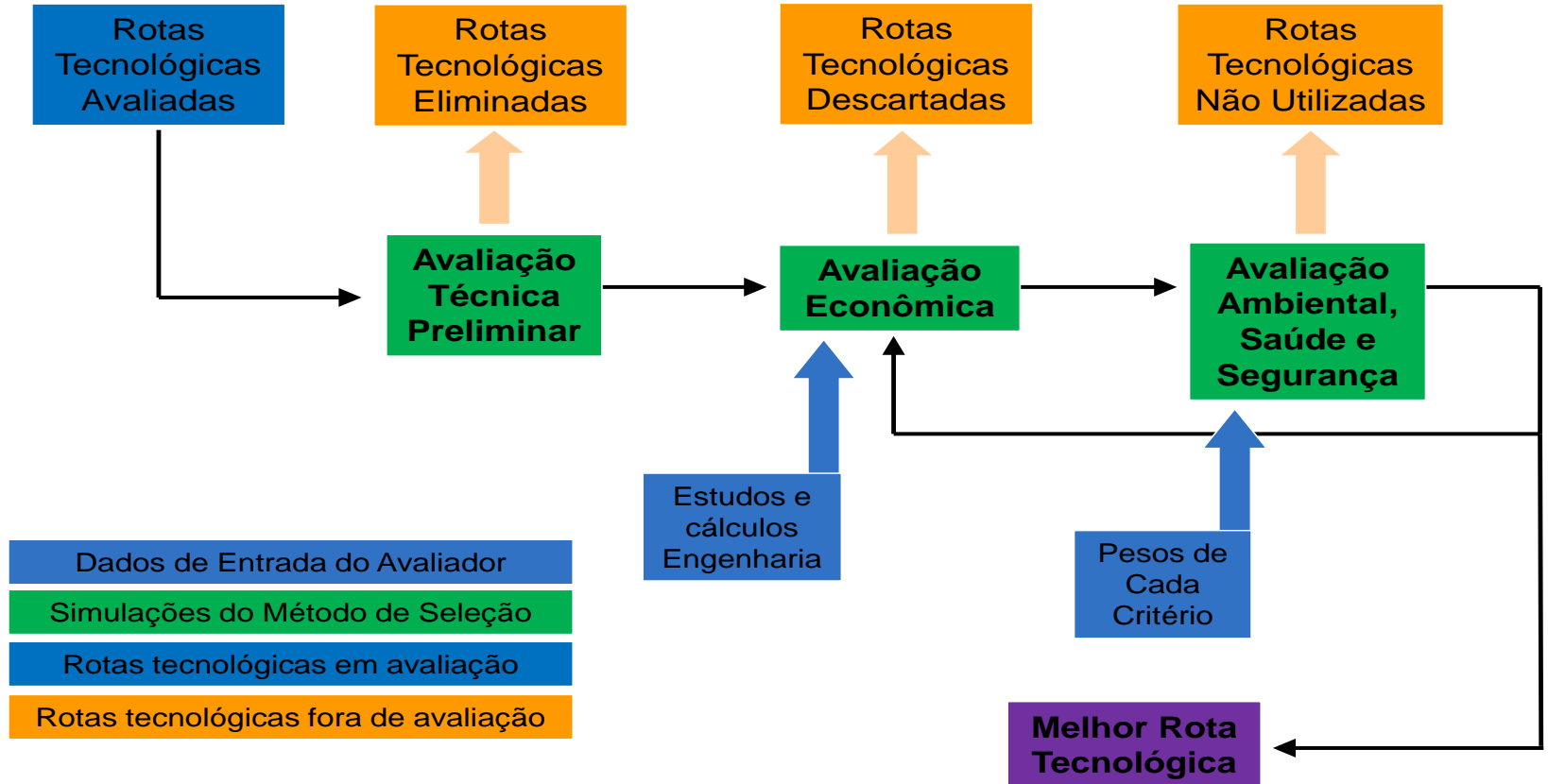
• Abordagem Geral

- ✓ Investigação Complementar
- ✓ Projeto Conceitual da Remediação
- ✓ Testes de Tratabilidade
 - Hidráulicos
 - Solo
 - Químicos
- ✓ Ensaio Piloto
- ✓ Remediação



3. PROJETO CONCEITUAL

• Avaliação Técnicas Remediação



Fonte: MELLO, G.D.C. (2012)

III Seminário Sul-Brasileiro de Áreas Contaminadas
12-nov-2015

3. PROJETO CONCEITUAL

- **Conceito da Remediação**



Remediação de Níquel, Cobalto e Zinco:

- Precipitação In-Situ, utilizando hidróxido e/ou sulfeto
 - Riscos: controle do pH, re-solubilização, condições heterogêneas do site

Remediação de Boro:

- Co-Precipitação In-Situ, utilizando magnésio e/ou ferro
 - Riscos: efetividade da co-precipitação, re-solubilização
- Adsorção Química, utilizando resinas específicas de troca iônica

4. TESTES DE TRATABILIDADE

- **Objetivos:**

Testes Hidráulicos:

- Realização de testes de rebaixamento e recuperação do NA nas regiões de interesse → estimar raios de influência das injeções

Testes do Solo:

- Amostragem de solo para análises de granulometria → confirmar litologias
- Testes de coluna de solo → avaliar retenção/adsorção minerais

Testes Químicos:

- Definição dos compostos químicos (tipos, concentrações) para as injeções
- Avaliar potenciais reações secundárias/conflitos

4. TESTES DE TRATABILIDADE

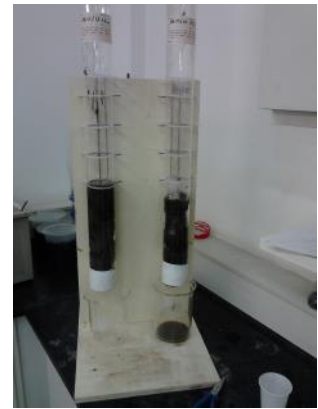
• Resultados:

Hidráulico:

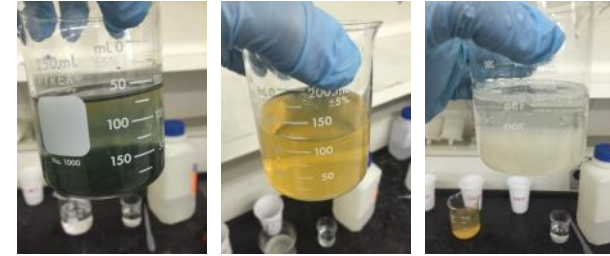
- 3 poços testados, utilizadas bombas submersas e level logger
- Transmissividade: valores entre 0,4 a 5,3 m²/dia
- Condutividade: valores entre 0,1 a 0,7 m/dia

Solo:

- Análises de granulometria confirmaram litologias obtidas das descrições campo e também foram bem correlacionadas com os resultados Testes Hidráulicos
- Testes de coluna de solo falharam: compactação amostras, solo argiloso



4. TESTES DE TRATABILIDADE



• Resultados:

Químicos:

- Realizados cerca de **80 testes de bancada** em 3 sequências de testes
- Testados cerca de **12 diferentes produtos químicos**: hidróxidos, sulfetos, floculantes, sais de magnésio, oxidantes
- Água subterrânea coletada em diferentes locais (poços) – **site heterogêneo**
- **1ª** sequência de testes: resultados abaixo do esperado → presença de **matéria orgânica e surfactantes** no subsolo
- **2ª** sequência de testes: efetividade na **quebra dos complexos orgânicos** e boa taxa de remoção
- **3ª** sequência de testes: **refinamento das concentrações** (atingir metas de remediação), definição final dos reagentes

4. TESTES DE TRATABILIDADE

• Resultados:

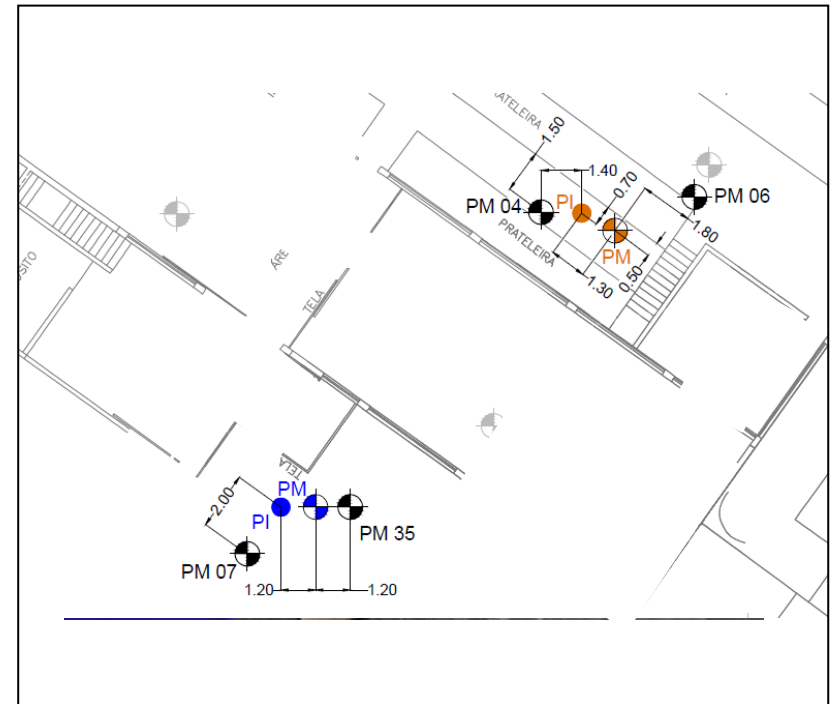
Químicos (cont.):

- Ni + Zn: taxas de remoção atingidas próximas de 95-99%
- Co: taxas de remoção próximas de 60-90% (baixas concentrações)
- B: taxas de remoção próximas de 30-40% (co-precipitação pouco efetiva)
- Formulação Final de Reagentes:
 - 1 sal de alumínio → agente floculador
 - 1 sulfeto orgânico → agente precipitador
 - 1 sal de magnésio → agente auxiliador (B)
 - 1 hidróxido → agente alcalino

5. ENSAIO PILOTO

- **Objetivos e Características:**

- Verificar em campo (in situ) a efetividade da precipitação química obtida em laboratório/bancada
- 2 áreas de injeção:
 - 1 poço de injeção
 - 2 PM jusante
 - 1 PM montante
- Injeção + 3 semanas monit.
- Outubro de 2015



5. ENSAIO PILOTO

• Resultados:

- **Físico-Químicos:** alguma oscilação no ORP (potencial redox) e aumento do pH somente nos poços de injeção
- **Analíticos:** resultados de 1 e 2 semanas pós injeção → taxas de remoção dos metais abaixo dos resultados de bancada → média de 40-60%
 - Limitações hidráulicas de distribuição dos reagentes?
 - Falta de reagentes?
 - Interferências dos reagentes com compostos do solo?
- **Teste Adicional:** elevação de pH em bancada das amostras dos PMs → taxas de remoção ficaram próximas dos valores iniciais de bancada

5. ENSAIO PILOTO

- **Conclusões:**

- Distribuição dos reagentes foi efetiva, com exceção do hidróxido (último a ser injetado) → hidráulica, retardamento, reações secundárias?
- Remoção do Boro foi pouco efetiva com o uso de Co-Precipitação
- Taxas de remoção poderão ficar próximas dos resultados de bancada se conseguirmos garantir a elevação de pH do meio → avaliação de alternativas de engenharia
- Raios de influência obtidos foram superiores aos calculados durante os testes hidráulicos

6. CONCLUSÕES GERAIS E PRÓXIMAS ETAPAS

Desafios do Projeto:

- Propor um método de remediação que fosse potencialmente eficaz dentro do curto horizonte de tempo previsto (9 meses)
- Interferir ao menos com as atividades produtivas e de desmobilização que estão em andamento
- Existência de outros compostos químicos (surfactantes orgânicos) no subsolo que culminam em outras vias de reação dos compostos injetados
- Buscar reproduzir em campo os bons resultados obtidos nos testes de bancada usando as demais informações dos testes tratabilidade

6. CONCLUSÕES GERAIS E PRÓXIMAS ETAPAS

Próximas Etapas:

- Reunião de Alinhamento Técnico de Informações com o órgão ambiental
- Elaborar Projeto do Sistema de Remediação em Larga Escala com base nos resultados do Ensaio Piloto
- Implantar Sistema de Remediação (+ Monitoramentos) e adotar medidas de contingência caso necessárias

6. CONCLUSÕES GERAIS E PRÓXIMAS ETAPAS

Aprendizados:

- Seguir a metodologia de trabalho científico e os procedimentos estabelecidos pelos órgãos competentes é fundamental para o bom desenvolvimento de um Projeto de Remediação
- Testes de Tratabilidade e Ensaio Piloto são fundamentais para as definições das especificidades técnicas de um Projeto de Remediação
- As reações químicas de precipitação tem cinética rápida e eficaz, mas podem ser afetadas por fatores FQ e outros compostos do solo
- “O ambiente subterrâneo é o reator químico mais complexo que existe na Terra”

OBRIKADO!!!

Gustavo Dorota C. de Mello
gmello@ramboll.com
011-2832-8000

Ramboll Environ Brasil