

SEMINÁRIO DE TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO EM GESTÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS - 2005

CURSO DE REMEDIAÇÃO

"THE REMEDIATION COURSE"

Março 14-18, 2005

Denver, CO, EUA

Princeton Groundwater, Inc

Robert W. Cleary - Princeton Groundwater, Inc.

Berbard H. Kueper - Department of Civil Engineering Queen's University

Gregory J. Rorech - Progressive Engineering & Construction, Inc.

Michael C. Kavanaugh - Malcom Pirnie, Inc.

Murray D. Einarson - Geomatrix Consultants

Maria Leonora de Castro - **CETESB/ESCC**

- ✓ Estratégias para Custo de Soluções Efetivas de Remediação de Solo e Águas Subterrâneas
- ✓ Conceitos Fundamentais e Avançados da Hidrogeologia da Remediação: conceitos básicos de hidrogeologia, propriedades dos aquíferos, efeitos da microgeologia e da anisotropia, refração, modelos de exposição preferidos, velocidades de vazamento e gradientes e direções variáveis, parâmetros hidráulicos, permeabilidade da zona vadosa, testes de bombeamento, slug test, amostragem multinível
- ✓ Conceitos Fundamentais e Avançados do Transporte dos Contaminantes Dissolvidos: atenuação natural por advecção, dispersão, decaimento de primeira ordem, retardamento, efeitos de bombeamento e tratamento.

- ✓ Caracterização Ambiental dos Sites: Abordagens e Novas Tecnologias
- ✓ Métodos em campo para determinação dos parâmetros hidráulicos: K , permeabilidade zona não saturada, testes de bombeamento, "slug test", permeabilidade em lab., modelos numéricos para determinar os parâmetros hidráulicos, amostragem multi-nível
- ✓ **Tecnologias com Movimentação de Fluidos:** Extração vapor do solo, Bombeamento e tratamento, "Air sparging", ISCO com Fenton's ou Permanganato, Extração dupla fase, etc.

- ✓ Tecnologias de Tratamento Ex-situ - "air stripping", adsorção, precipitação, oxidação química, foto-oxidação, oxidação e redução biológica, sedimentação, filtração / membranas.
- ✓ Barreiras Reativas
- ✓ Bioremediação
- ✓ Revisão e Cálculo de Design: Atenuação Natural, Decloração Redutiva, Oxidação Química
- ✓ Design de Remediação: Considerações Práticas e Equipamentos

- ✓ Introdução às Zonas fontes de DNAPL e LNAPL e Plumas Dissolvidas
- ✓ Migração NAPL em Depósitos Sedimentares Heterogêneos e Rochas Fraturadas
- ✓ Tecnologias para Remoção de DNAPL: Térmico e Fluxo Químico
- ✓ Investigação da Remediação / Exeqüibilidade

- ✓ Verificação da Eficiência da Remediação (c x tempo)
- ✓ Fundamentos de Modelamento com Aplicações na Remediação de Águas Subterrâneas: Modelos Analíticos (SESOIL, Bioscreen, Domenico-3D, , AT123, Prince, etc.); Modelos Numéricos (MODFLOW, MT3D, RT3D, FEFLOW, BIOPLUME, SUTRA, CHEMFLO, etc); Exemplos de Simulações de Transporte, Visualização dos Resultados de Modelamento em 3D.
- ✓ Exemplos Práticos em Remediação Aplicada e Exercícios de Simulação de Modelamento de Remediação no Computador

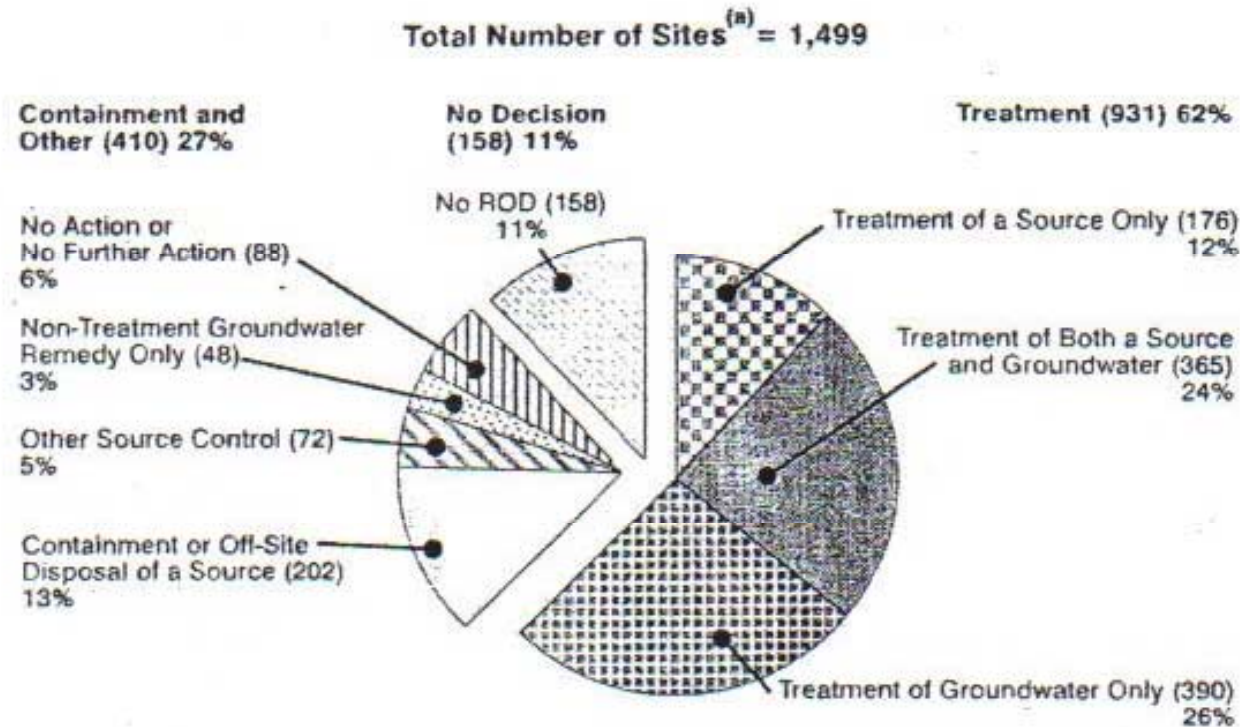
- Os EUA dispendem mais de \$6 Bilhões por ano -
Remediação de Solo e Águas Subterrâneas
- Nos últimos 25 Anos Significante Progresso na
Remediação dos Sites (EUA): avanços na ciência e
tecnologia em caracterização dos sites, tecnologias
de remediação, avaliação de riscos

Desafios Técnicos e Institucionais

- ✓ Otimização dos sistemas de bombeamento e tratamento,
- ✓ Remoção parcial das Fontes DNAPL,
- ✓ Impraticabilidade de algumas técnicas (ex. DNAPL em meio fraturado),
- ✓ Re-uso da área na presença de contaminação residual.
- ✓ Novos contaminantes (1,4-dioxano, Perclorato) ou metas de remediação mais baixas (ex. arsênio, TCE, Perclorato, Cromo Hexa)

AÇÕES DE REMEDIAÇÃO DO "SUPERFUND"

TIPOS DE REMEDIAÇÃO- SITES DA LNP (FY 1982 - 2002)*



ROD = Record of Decision

* Includes information from an estimated 70% of FY 2002 RODs.

(a) NPL sites include current sites and former NPL sites that were deleted or removed from the NPL between FY 1982 and 2002.

EPA, 2004

LNP - LISTA NACIONAL DE PRIORIDADES (NPL)

"THE REMEDIATION COURSE", Denver, CO-2005

TECNOLOGIAS COM MOVIMENTAÇÃO DE FLUIDOS

Tecnologias Estabelecidas

- Bombeamento e tratamento ("Pump & Treat")
- Extração de vapor do solo / Vácuo
- "Air sparging"
- ISCO com Fenton's ou Permanganato
- Aeração no poço
- Extração Dupla Fase
- Recirculação nos poços

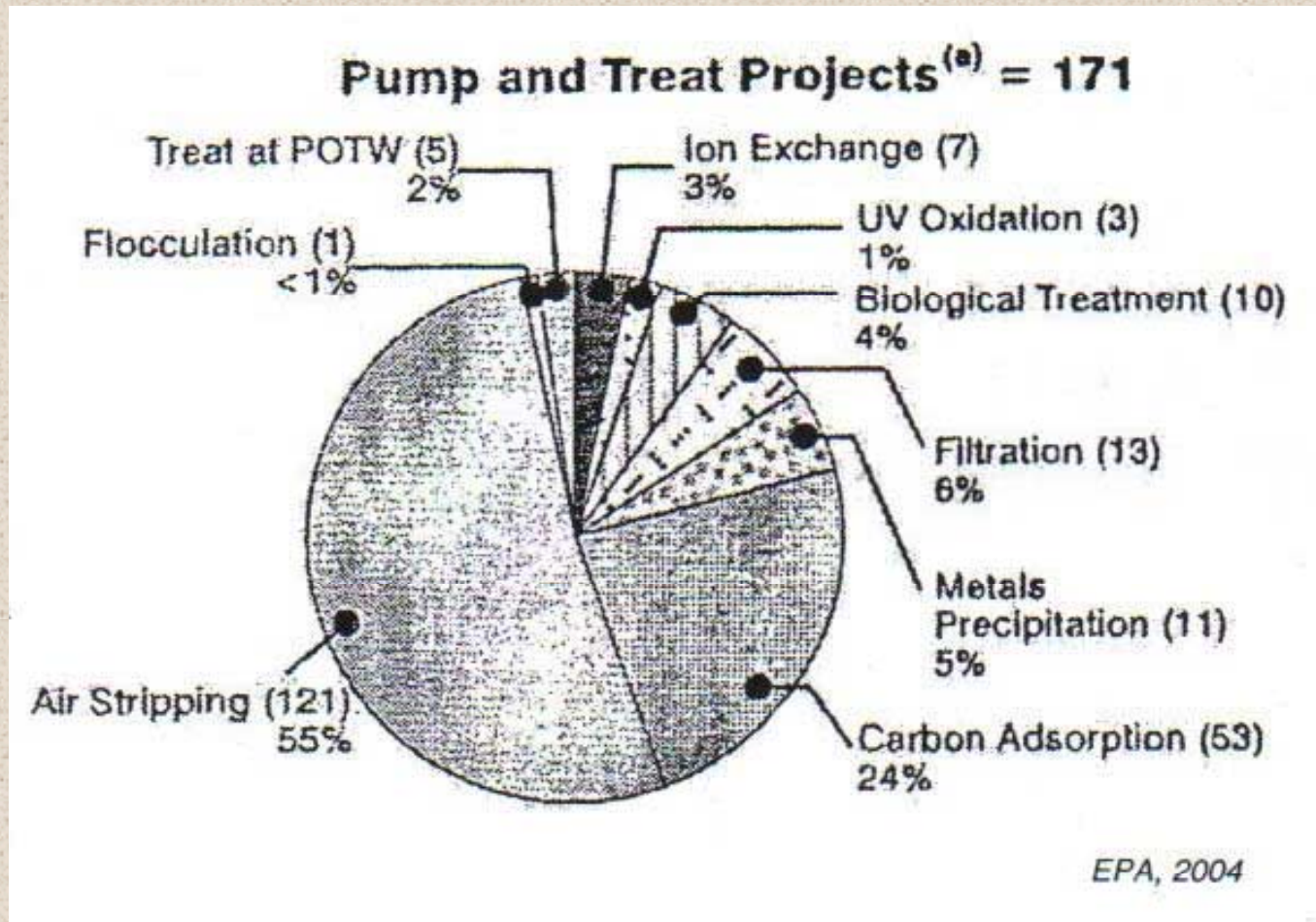
TECNOLOGIAS COM MOVIMENTAÇÃO DE FLUIDOS

Tecnologias Emergentes

- Surfactantes
- Co-solventes
- "Air sparging" com Ozônio
- ISCO com Persulfato
- Injeção de nano ferro valência zero
- Térmico/Injeção de vapor
- Eletrocinética

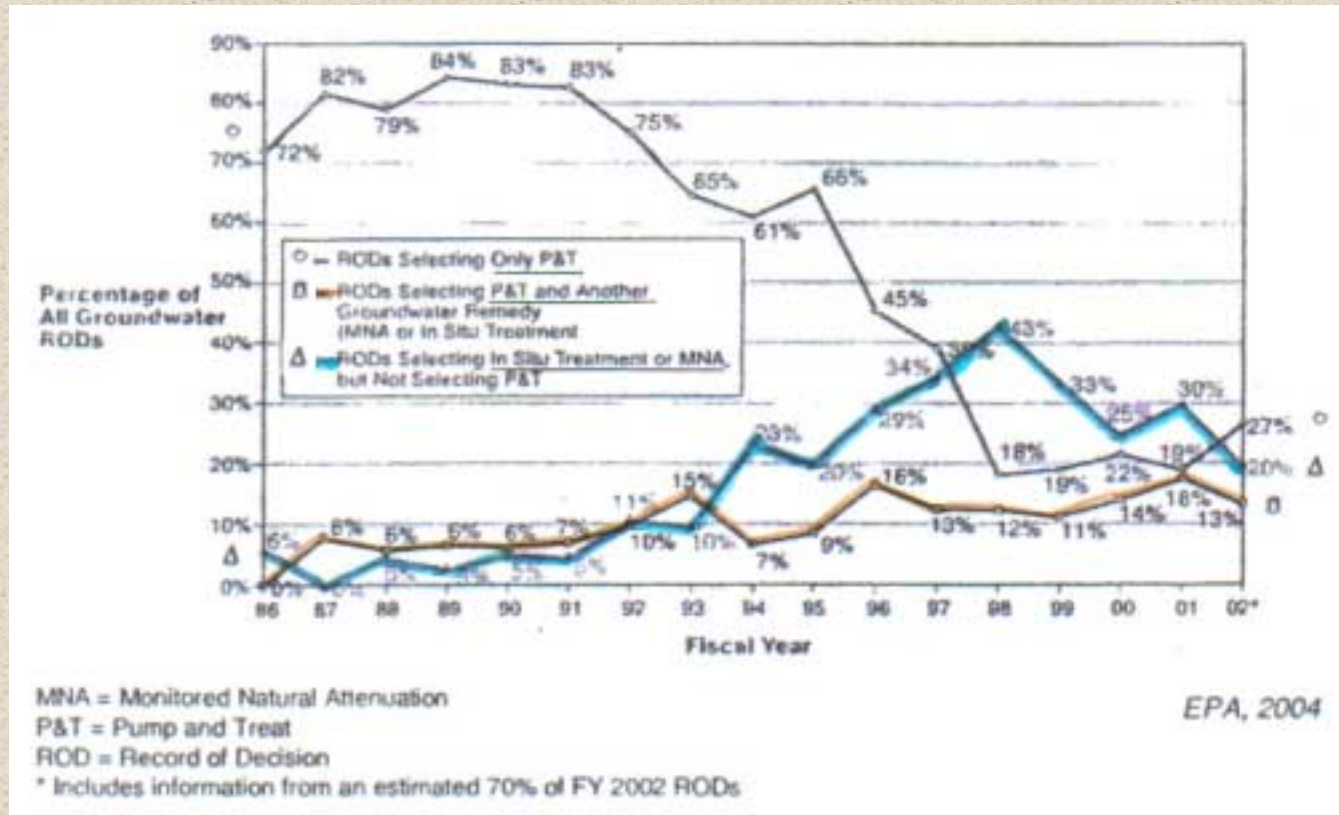
AÇÕES DE REMEDIAÇÃO DO "SUPERFUND"

COMPONENTES- BOMBEAMENTO E TRATAMENTO (FY 1982 - 2000)



AÇÕES DE REMEDIAÇÃO DO "SUPERFUND"

TENDÊNCIAS NA SELEÇÃO DO BOMBEAMENTO E TRATAMENTO (FY 1986 - 2002)*



"AIR SPARGING"

VANTAGENS

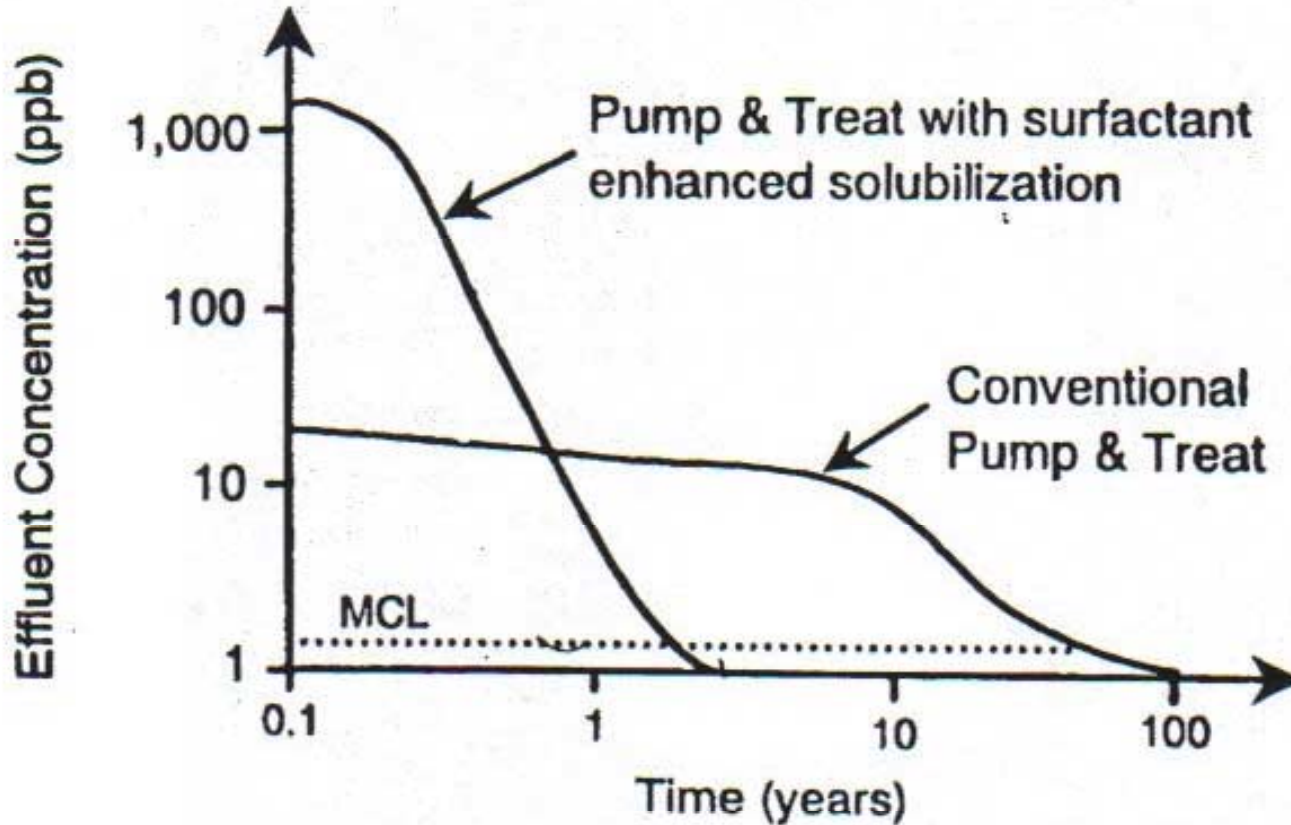
- ✓ Tratamento in situ -sem remoção de solo ou água subterrânea
- ✓ Ação Permanente-responsabilidade eliminada em longo prazo
- ✓ Custos relativamente baixos: instalação, operação e manutenção
- ✓ Rompimento mínimo das operações existentes

"AIR SPARGING"

LIMITAÇÕES

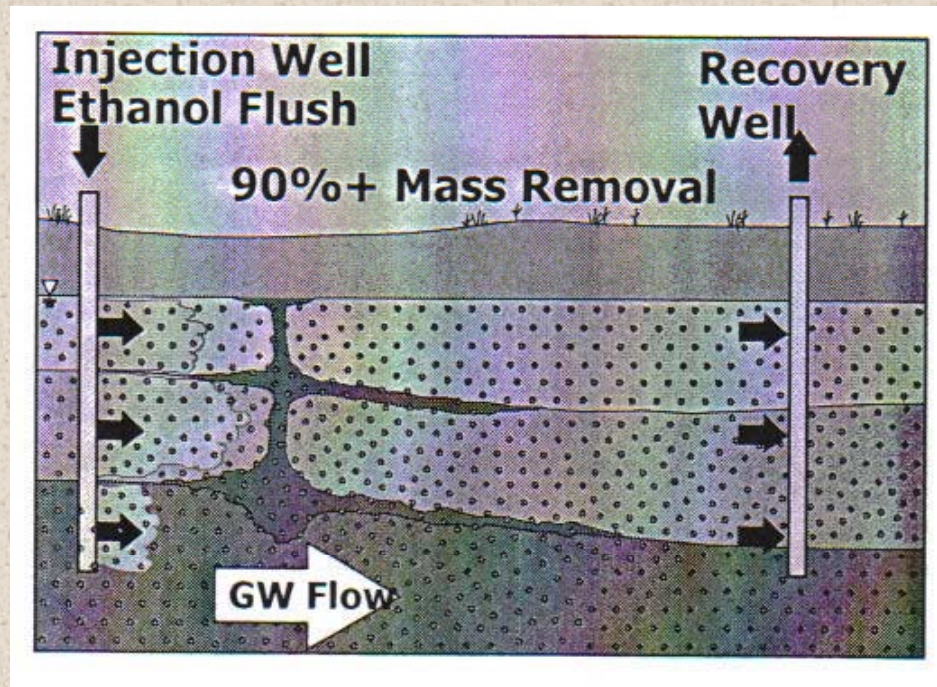
- ✓ Distribuição do ar é muito variável e pode resultar em eficiência de remediação insatisfatória.
- ✓ Monitoramento convencional → falsas conclusões sobre a performance.
- ✓ Problemas de segurança (migração indesejada de vapor para construções, conduítes, etc).
- ✓ Desempenho é muito mais sensível ao design do sistema que outras tecnologias.

SURFACTANTES - ↑ SOLUBILIDADE



EXTRAÇÃO CO-SOLVENTES

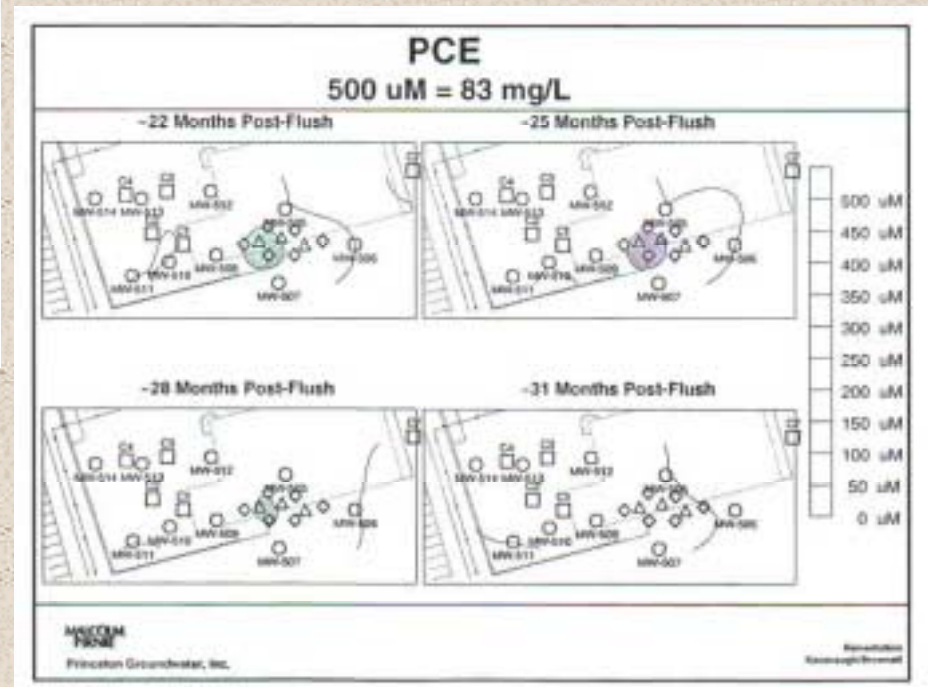
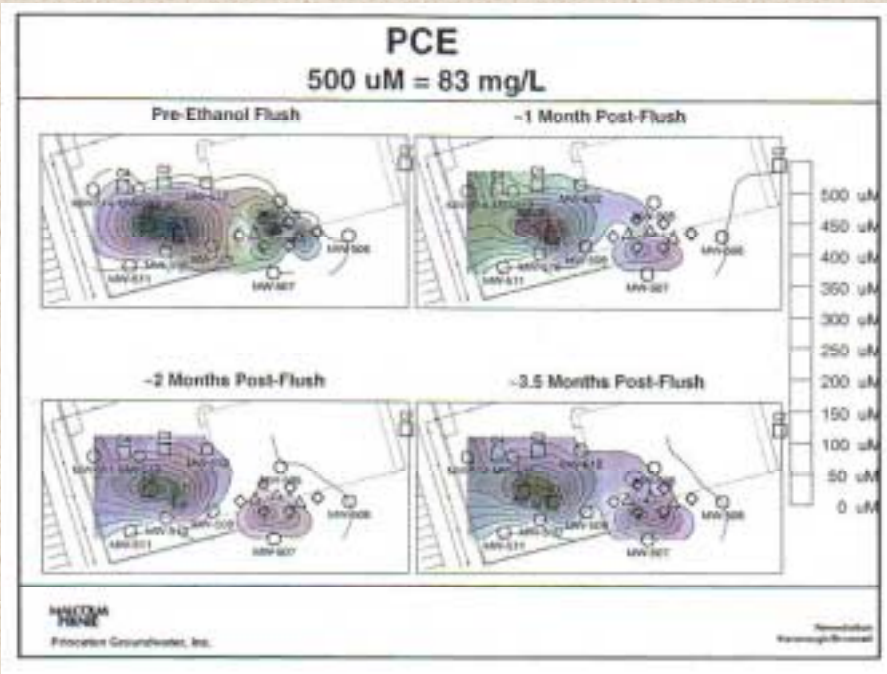
Remoção de PCE residual (ETANOL)



Caso: Jacksonville, Fl. - 90% de remoção PCE - 31 meses

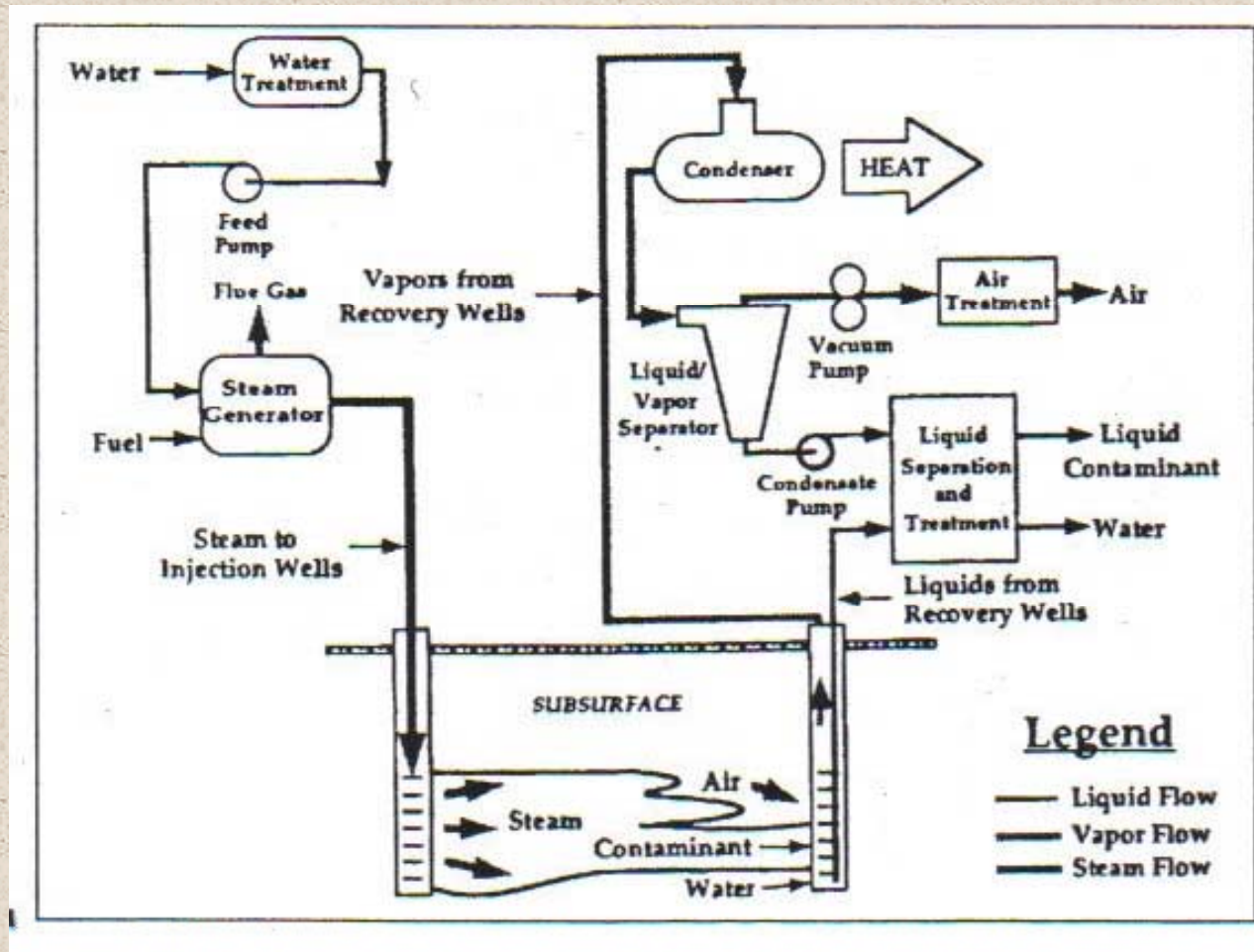
EXTRAÇÃO CO-SOLVENTES

Caso: Jacksonville, Fl. - 90% de remoção PCE - 31 meses



“THE REMEDIATION COURSE”, Denver, CO-2005

TÉRMI CO / INJEÇÃO DE VAPOR



ESTUDO DE CASO - EXTRAÇÃO COM VAPOR

CAMPO DE PÓLO EM VISALIA - CREOSOTO

- ✓ 20 ANOS DE "PUMP & TREAT" - 9.600 lbs (10 lbs/wk)
CUSTO ANUAL \$1,2 MILHÕES (\$24 Milhões)

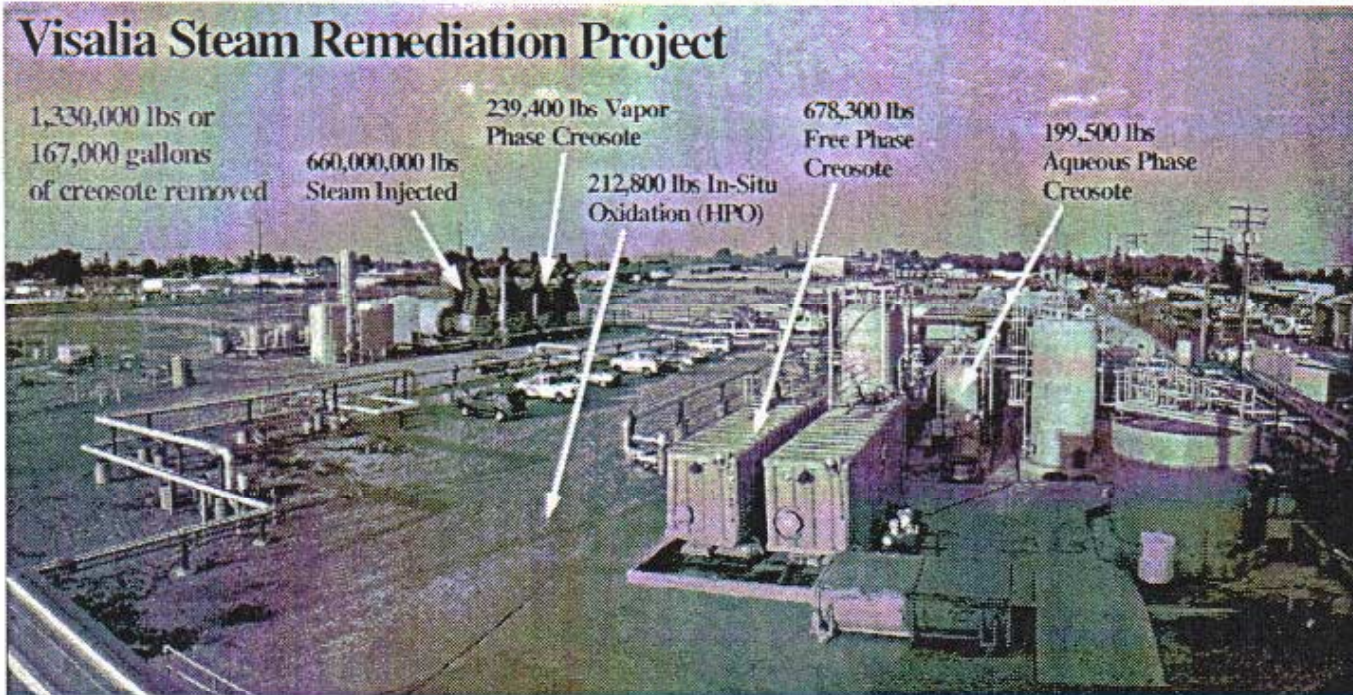
- ✓ JUN/97 A MAR/99 - EXTRAÇÃO COM VAPOR : 960.000 lbs
(1800 ANOS "PUMP & TREAT")
 - ◆ 145.000 lbs - vapor de hidrocarbonetos
 - ◆ 500.000 lbs - produto livre
 - ◆ 145.000 lbs - hidrocarbonetos dissolvidos
 - ◆ 170.000 lbs - destruído (oxidado) in-situ

- ✓ CUSTO ESTIMADO PARA COMPLETAR O TRATAM.:
 - ◆ \$15 MILHÕES - original
 - ◆ \$27 MILHÕES - 2004

Visalia Project – 2001

(Courtesy of J. Cummings, EPA)

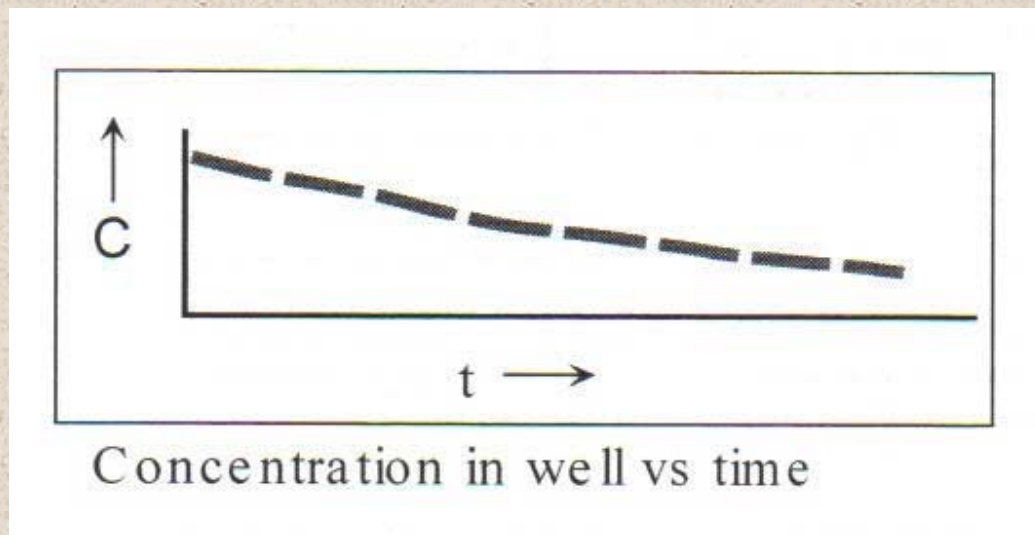
Visalia Steam Remediation Project



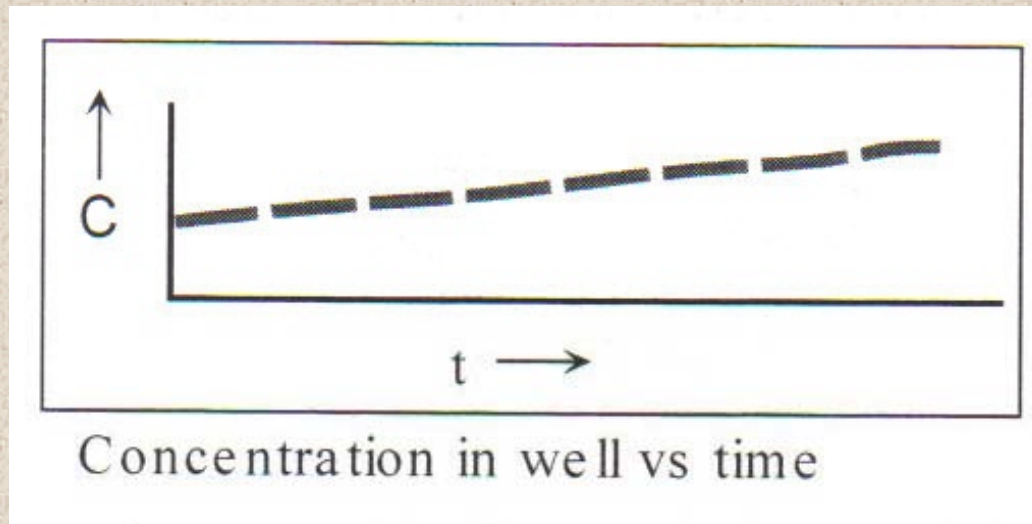
**MALCOLM
PIRNIE**
Princeton Groundwater, Inc.

Remediation
Kavanaugh/Brownell

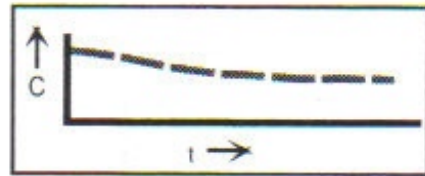
Verificação da Eficiência da Remediação (c x tempo)



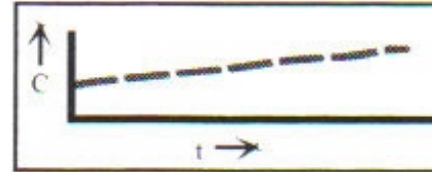
Verificação da Eficiência da Remediação (c x tempo)



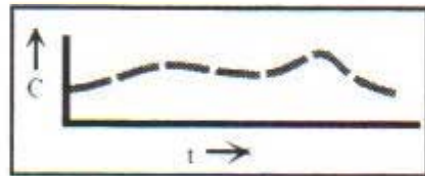
Verificação da Eficiência da Remediação (c x tempo)



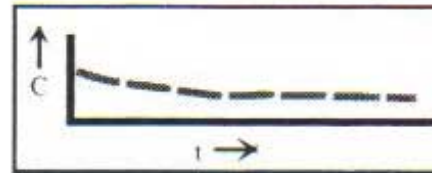
Concentration in well vs time



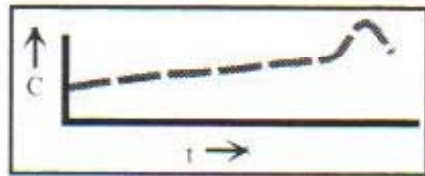
Concentration in well vs time



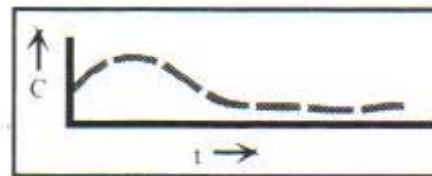
Concentration in well vs time



Concentration in well vs time



Concentration in well vs time



Concentration in well vs time

FATORES QUE CAUSAM A DISSOLUÇÃO DA PLUMA OU ATENUAÇÃO NATURAL

- ✓ DISPERSÃO HIDRODINÂMICA
- ✓ SORÇÃO IRREVERSÍVEL / DIFUSÃO
- ✓ EVAPOTRANSPIRAÇÃO
- ✓ REAÇÕES ABIÓTICAS
- ✓ BIORREMEDIAÇÃO

EVIDÊNCIAS DE ATENUAÇÃO NATURAL

- ✓ ESTABILIZAÇÃO DA PLUMA
- ✓ CONSUMO DOS RECEPTORES DE ELÉTRONS
- ✓ PRODUÇÃO DE DERIVADOS
- ✓ MODELO DEFINIDO DE REAÇÃO BIOLÓGICA

ESTABILIZAÇÃO DA PLUMA

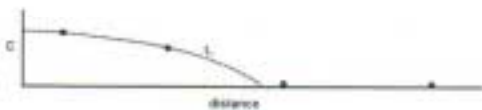
Plume emanating from a constant source at time t_1



Plots of concentration versus time at different mon. points



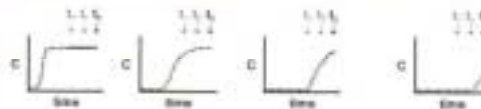
Plots of concentration versus distance at different times



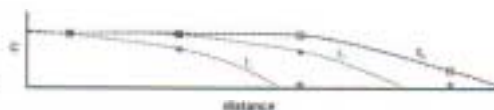
Plume emanating from a constant source at time t_3 - Plume still growing



Plots of concentration versus time at different mon. points



Plots of concentration versus distance at different times

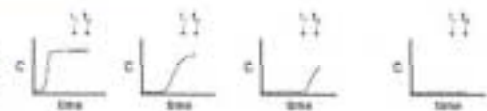


Note: dispersion didn't result in lasting attenuation at Well MW-3; it just delayed the arrival of the high concentration core of the plume!

Plume emanating from a constant source at time t_2 - Plume still growing



Plots of concentration versus time at different mon. points



Plots of concentration versus distance at different times



Plume emanating from a constant source at time t_4 - Plume stabilized



Plots of concentration versus time at different mon. points



Plots of concentration versus distance at different times

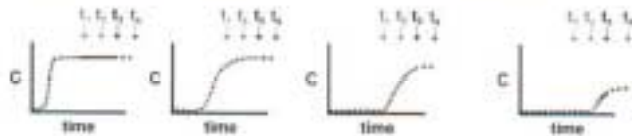


ESTABILIZAÇÃO DA PLUMA

Plume emanating from a constant source at time t_4 - Plume still growing, but appears to be stable!



Plots of concentration versus time at different mon. points



Plots of concentration versus distance at different times

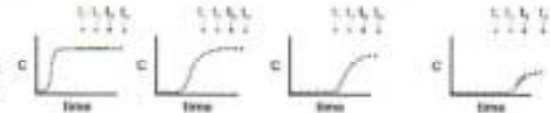


Monitoring wells positioned oblique to the "centerline" of the plume

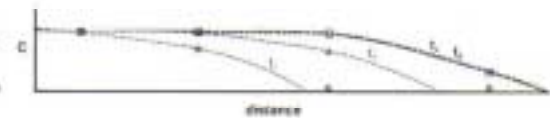
Plume emanating from a constant source at time t_4 - Plume stabilized



Plots of concentration versus time at different mon. points



Plots of concentration versus distance at different times



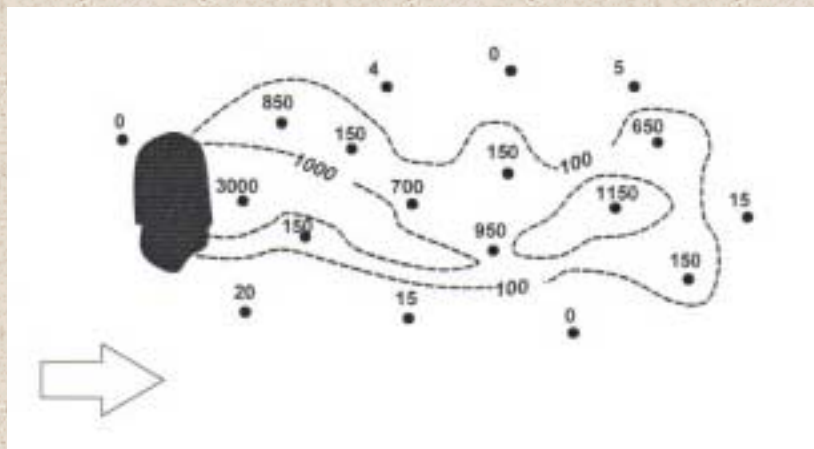
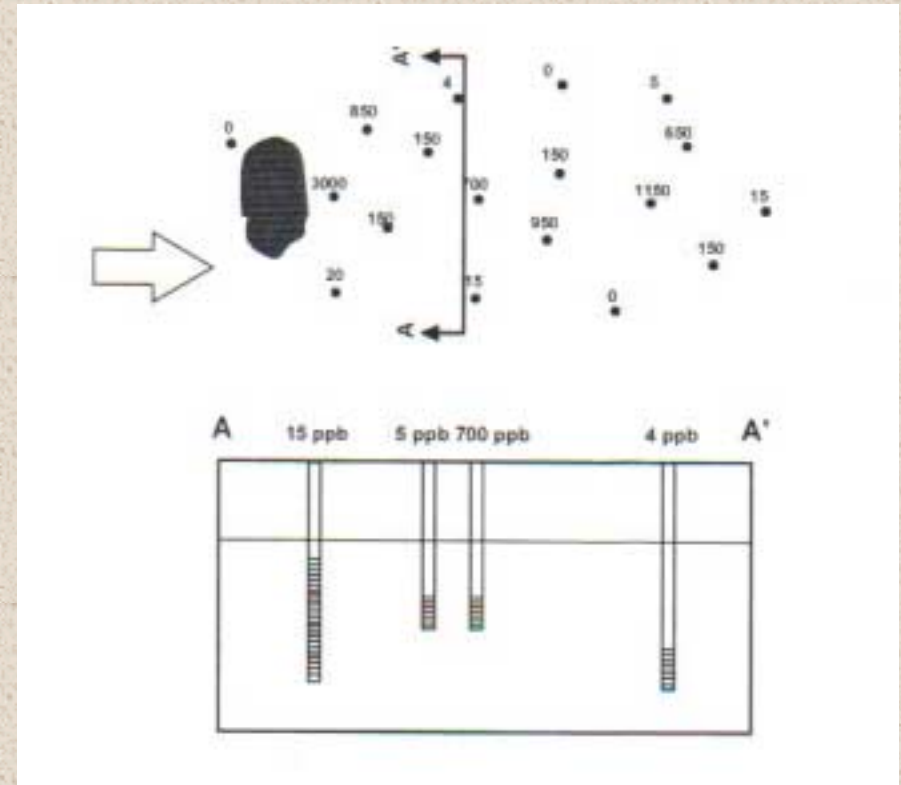
INDICADORES DE ATENUAÇÃO NATURAL

- ↓ CONC DOS CONTAMINANTES
- ↓ O₂ DISSOLVIDO E ↑ CO₂ (BIODEGRADAÇÃO AERÓBICA)
Contaminante + O₂ → CO₂ + H₂O
- DENITRIFICAÇÃO: ↓ NITRATO (CONDIÇÕES ANAERÓBICAS)
Contaminante + NO₃⁻ + H⁺ → CO₂ + N_{2(g)} + H₂O
- REDUÇÃO SULFATO: ↓ SULFATO (CONDIÇÕES ANAERÓBICAS)
Contaminante + SO₄²⁻ + H⁺ → CO₂ + H₂S + H₂O

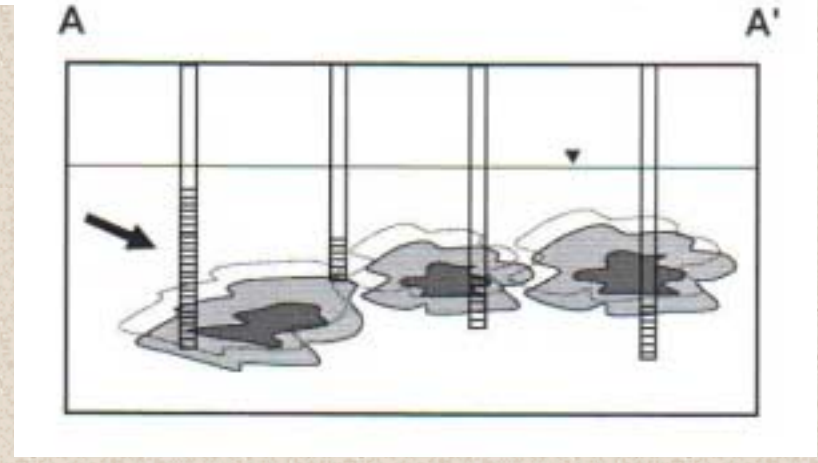
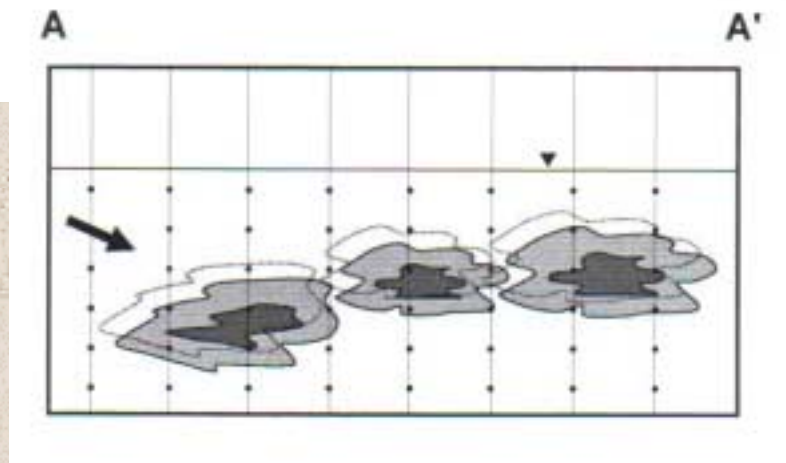
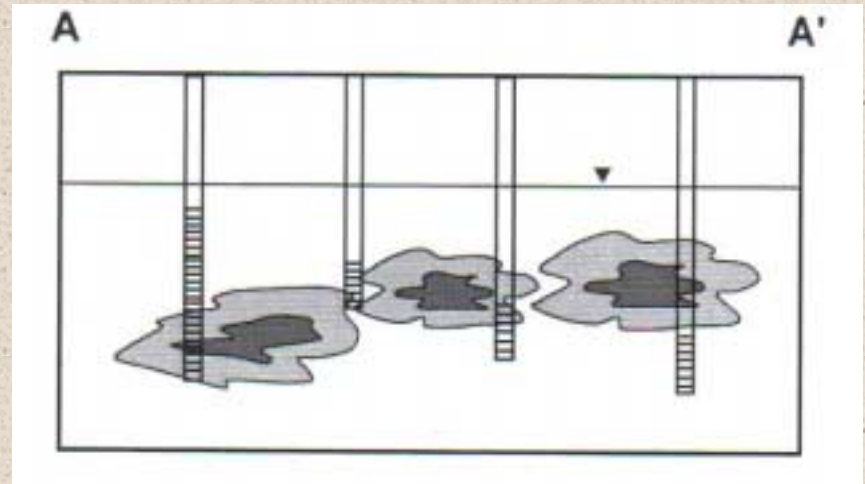
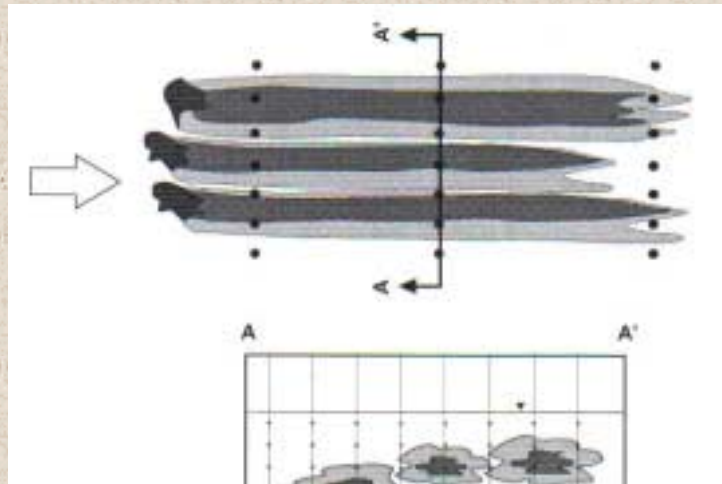
INDICADORES DE ATENUAÇÃO NATURAL

- REDUÇÃO DO FERRO: ↑ Fe^{+2} (CONDIÇÕES ANAERÓBICAS)
 $\text{Contaminante} + \text{Fe(OH)}_3 (\text{s}) + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
- PRODUÇÃO DE METANO (CONDIÇÕES ANAERÓBICAS)
 $\text{Contaminate} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CH}_4$
- ↑ ALCALINIDADE ↑ CO_2 (DENITRIFICAÇÃO, ↓ SO_4^{2-} , ↓ Fe^{3+})
- ↑ CLORETO E ↑ COMPOSTOS DERIVADOS (CONDIÇÕES ANAERÓBICAS)
- PRESENÇA DE ÁCIDOS ORGÂNICOS

PLUMAS E POÇOS DE MONITORAMENTO



PLUMAS E POÇOS DE MONITORAMENTO



REDE POÇOS MULTINÍVEIS NA TRANSVERSAL

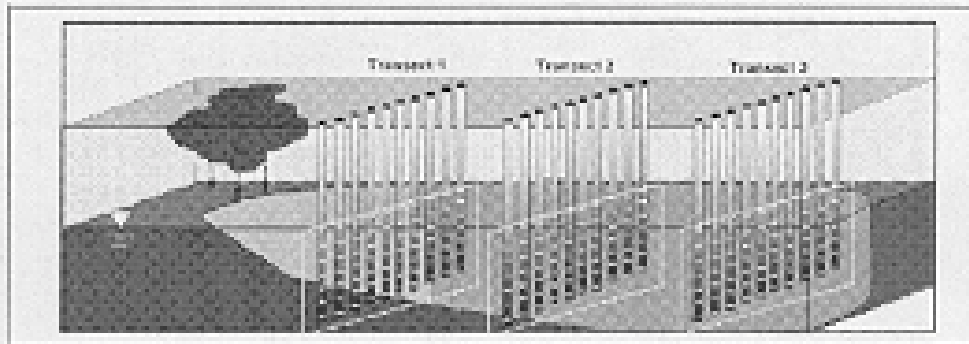
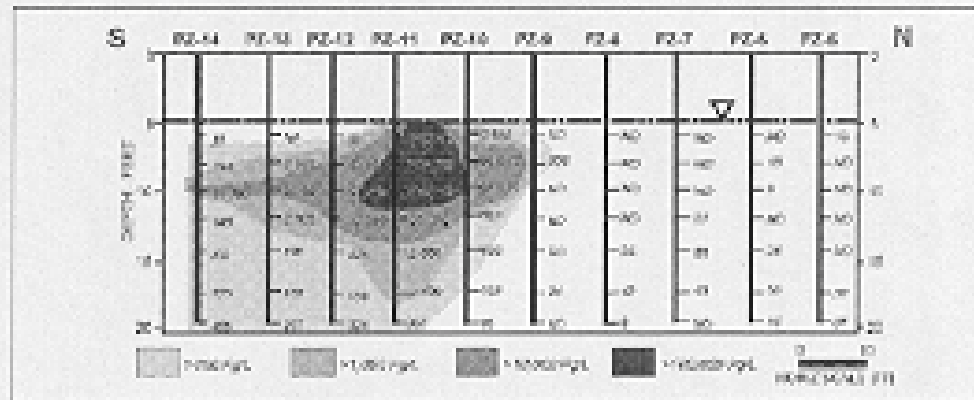


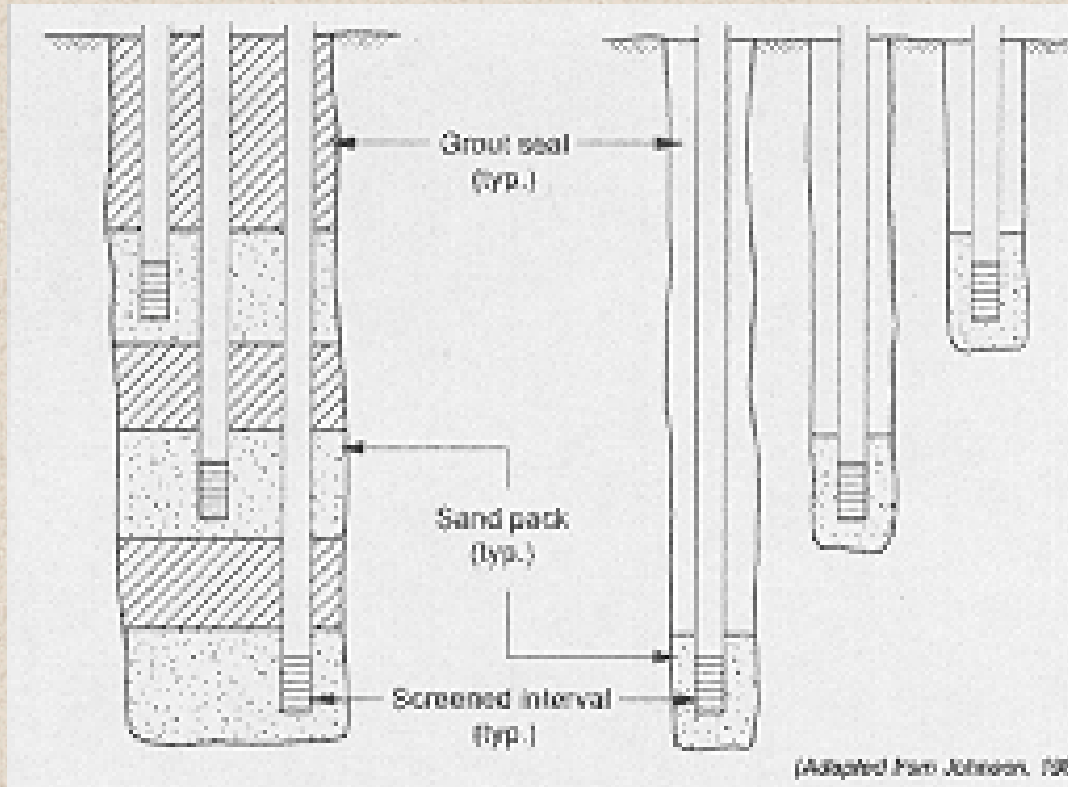
Figure 4. Example Transects Through 3-D Plume Definition



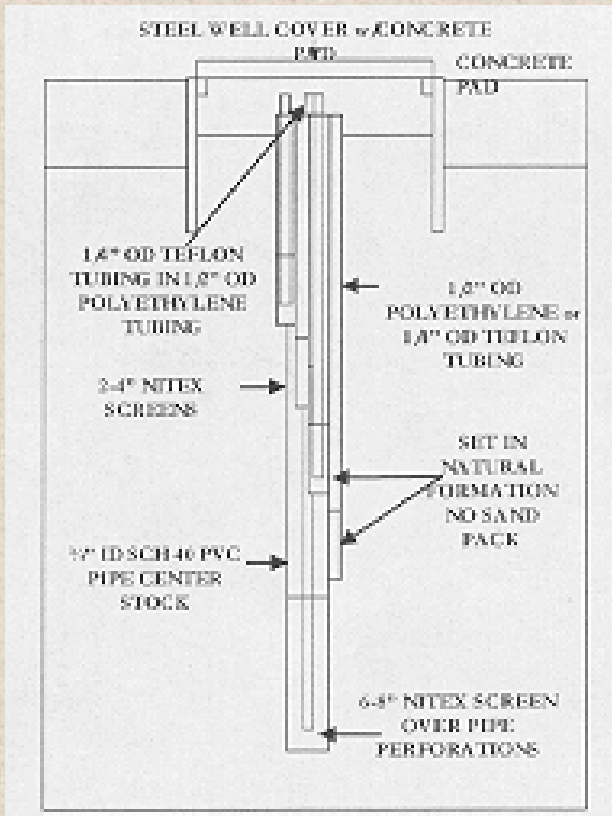
REDE POÇOS MULTINÍVEIS NA TRANSVERSAL

- NENHUMA PARTE DA PLUMA IRÁ ESCAPAR DE DETECÇÃO
- IDENTIFICAÇÃO PRECISA DOS CENTROS DAS PLUMAS
- MONITORAMENTO ÁGUAS SUBT. DE MESMA IDADE
- INFORMAÇÕES FREQUENTES SOBRE VARIAÇÕES SAZONAIS E A LONGO PRAZO NA TENDÊNCIA DA PLUMA
- MOSTRA ONDE AS CONCENTRAÇÕES SÃO REALMENTE BAIXAS OU ND (NÃO BAIXA OU ND POR DILUIÇÃO)
- PERMITE O CÁLCULO DO FLUXO DE MASSA DO CONTAMINATE

POÇOS MULTINÍVEIS



POÇOS MULTINÍVEIS



POÇOS MULTINÍVEIS



"THE REMEDIATION COURSE", Denver, CO-2005

POÇOS MULTINÍVEIS



POÇOS MULTINÍVEIS



Murray D. Einarson

- ✓ MELHOR REDE DE PONTOS DE MONITORAMENTO
- ✓ POÇOS MULTINÍVEIS TRANSVERSAL/ AO EIXO DA PLUMA
- ✓ MONITORAR FREQUENTE/ PARA IDENTIFICAR EFEITOS SAZONAIS, ALTERAÇÕES EXTENSÃO DA PLUMA, ATENUAÇÃO BIOQUÍMICA
- ✓ EVITAR MAPEAMENTO HORIZONTAL PLUMAS
- ✓ MAPEAMENTO VERTICAL DAS PLUMAS
- ✓ CORRELACIONAR AS ANOMALIAS NAS PLUMAS COM O QUE TERIA OCORRIDO QDO A PLUMA ESTAVA SENDO FORMADA NA ZONA FONTE → ANÁLISE VERDADEIRA DA ATENUAÇÃO NATURAL - VARIAÇÃO TEMPORAL

THANK YOU !