

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Minas

Princípios de Utilização do Water Jet para Lavagem de
Solos

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas

Prof. Orientador : Wildor T Hennies
Aluno : Daniel Henrique Ayres Duarte da Rosa

São Paulo
Dezembro 2002

TF-2002

R71p

Expo 1439360

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Minas

Princípios de Utilização do Water Jet para Lavagem de
Solos

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas

Aluno: Daniel Henrique Ayres Duarte da Rosa
Prof. Orientador: Wilson T. Henriques

M2002 C

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005494

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter concluído o trabalho de formatura.

Agradeço especialmente ao Prof. Wildor T Hennies, que possibilitou a realização deste trabalho de formatura.

Aos professores deste departamento que me ajudaram durante o curso e que considero verdadeiros e a todos os funcionários do departamento.

Aos meus colegas da Engenharia Civil Fabrício Marques e Lúcio Rodrigues, e aos meus colegas da engenharia de minas.

Resumo

Os problemas causados pela contaminação do solo por substâncias químicas representam graves problemas ambientais. As conseqüências podem ser contaminação do lençol freático, inutilização do solo para agricultura, contaminação direta.

A técnica tradicional de remediação de solos contaminados consiste em retirada do solo (através de pás carregadoras ou retro escavadoras), transporte (através de caminhões), e deposição em aterros sanitários.

Uma técnica ainda nova no Brasil que pretendemos estudar é a limpeza do solo por water jet, assim chamada pois faz uso de um jato de água de alta pressão para limpar o solo "in situ". Assim o método se enquadra em casos de contaminação de solos em áreas urbanas, onde já existem habitações próximas e o transporte de solo para deposição em outro lugar teria um alto custo.

Lista de Figuras

Figura 1 – Rochas cortadas pelo sistema water jet	1
Figura 2 – Manufatura de aparelhos cirúrgicos.	2
Figura 3 – Limpeza de dutos.	2
Figura 4 – Utilização do water jet em uma linha de produção.....	3
Figura 5 – Utilização do water jet para cortar alimentos.....	4
Figura 6 - Esquema geral do processo de lavagem de solos.....	7
Figura 7 – Tipo de contaminação e processo de separação.	8
Figura 8 – Funcionamento de um tubo de jato de água de alta pressão.....	9
Figura 9 – Anel de alta-pressão a 5 bar.....	10
Figura 10 – Duas câmaras acopladas, formando um conjunto.....	11
Figura 11 – Croqui das instalações.....	18
Figura 12 – Esquema de limpeza do solo.....	21
Figura 13 – Processo de limpeza do solo na superfície.....	23

Lista de tabelas.

Tabela 1 –Tipo de solo no qual se aplica o método.....	12
Tabela 2 – Tipos de contaminantes.....	13
Tabela 3 – Concentração máxima que o solo deve apresentar após a sua lavagem para substâncias químicas nocivas (unidade mg / Kg).....	14
Tabela 4 – Concentração máxima que o solo deve apresentar após a sua lavagem para substâncias químicas nocivas (unidade μg / L e mg / L).....	15

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tabelas.....	iv
1 . Introdução.....	1
2 . Desenvolvimento.....	6
2.1 – O Processo de Lavagem de Solos.....	6
3 . Conclusão.....	16
4 . Referências Bibliográficas.....	17
5 . Apêndices.....	18
5.1 – Usando o princípio do water jet para lavagem de solos.....	18
5.2 - Tratamento com jato de água com alta pressão para remover pesticidas de maçãs.....	25

1 . Introdução .

O water jet ou corte por jato de água, tem várias aplicações industriais, como método de corte de rochas, desmonte cuidadoso, decapeamento de asfalto em pontes, além de reparos em armaduras de ferro em grandes estruturas, acabamento de precisão e final em peças, como plásticos, vidros, borracha, limpeza de dutos, corte de alimentos, e também na retirada de pesticidas da casca de maçãs (em Apêndice). Particularmente um emprego na mineração e no tratamento ambiental que será abordado neste trabalho de formatura é a lavagem de solos.

Algumas aplicações do WATER JET:

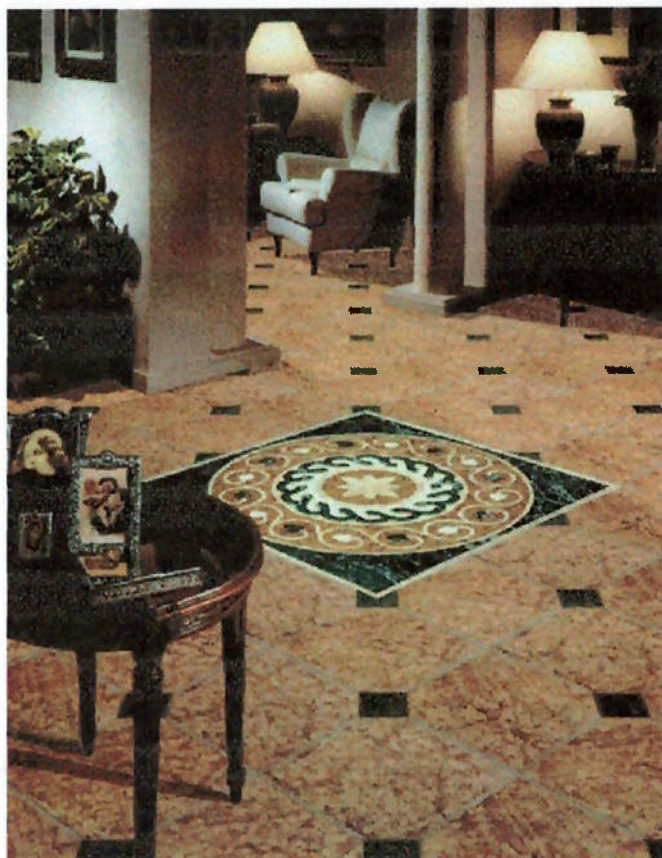


Figura 1 – Rochas cortadas pelo sistema water jet – o resultado final é um ótimo acabamento (Fonte : www.flowcorp.com – outubro de 2002).



Figura 2 – Manufatura de aparelhos cirúrgicos - o sistema permite um fino acabamento, cortando o material constituído por liga de aço inoxidável (Fonte : www.westmedco.com - foto de outubro de 2002).

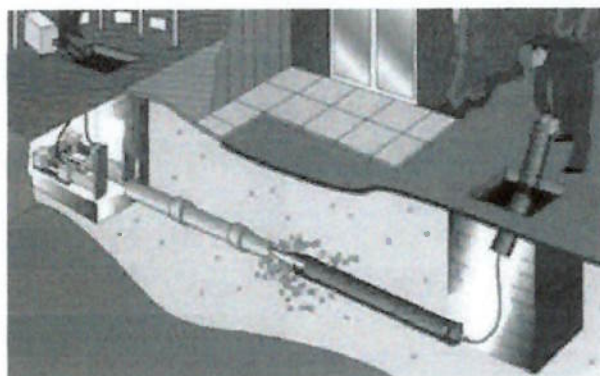


Figura 3 – Limpeza de dutos - neste caso a alta pressão produzida pelo jato é utilizada para desobstruir ou prevenir entupimentos de tubulações. (Fonte : www.soilandsurface.co.uk - outubro de 2002).

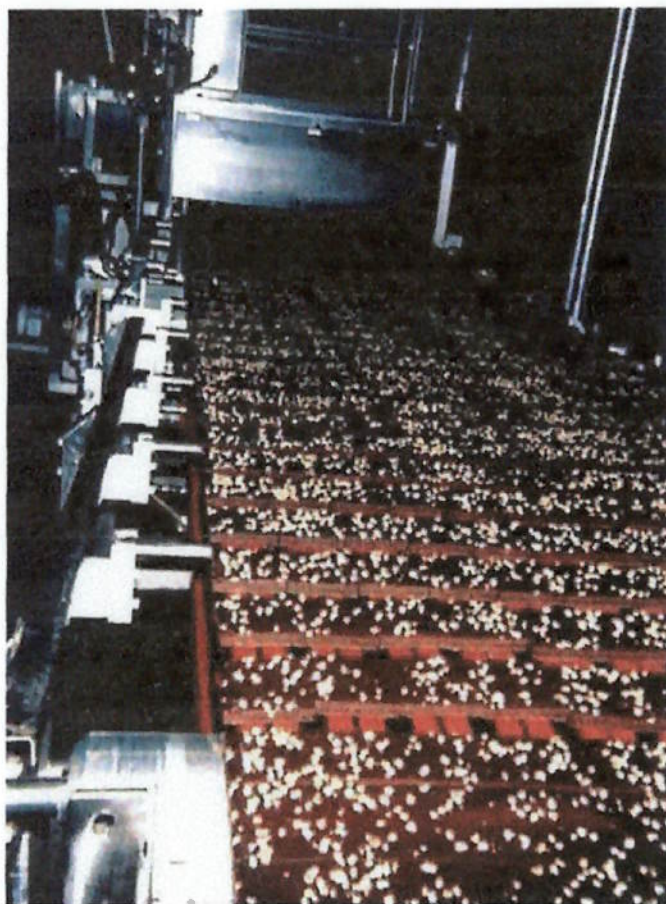


Figura 4 – Utilização do water jet em uma linha de produção - Fábrica de biscoitos (Fonte : www.flowcorp.com – outubro de 2002).



Figura 5 – Utilização do water jet para cortar alimentos - neste caso podemos observar o corte de uma pizza, para ser vendida como alimento congelado. (Fonte : www.flowcorp.com – outubro de 2002).

O uso do water jet pela indústria é recente, sendo empregado somente há pouco mais de 5 anos nos países desenvolvidos. O equipamento utilizado, para a maioria das aplicações, é simples. É constituído por bombas de alta pressão, mangueiras especiais, bocais de cerâmicas ou ligas muito resistentes, água e às vezes material abrasivo. Uma característica do equipamento é a alta emissão de ruídos.

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente, o aprimoramento desta técnica torna-se necessária, servindo como método inovador e alternativo às técnicas já em uso.

Os acidentes ambientais ocorridos recentemente com a SHELL na sua unidade do Ipiranga e também em postos de gasolina, como atesta o jornal Folha de São Paulo :

“ A CPI que apura as irregularidades em postos de combustível terminou. E o resultado é alarmante. Todos os 800 postos visitados pelos deputados estavam irregulares. Em 115, a situação é crítica: eles apresentam vazamento de combustível, e são consideradas pelo relator, vereador Viviani Ferraz (PL), "verdadeiras bombas-relógio armadas contra a cidade". As irregularidades mais comuns são a falta de alvarás de funcionamento e das licenças ambientais exigidas por lei. “

é fato comum e alarmante na cidade de São Paulo. As contaminações do solo e do lençol freático são feitas neste caso por metais pesados e derivados de petróleo. É interessante ressaltar que as contaminações ocorreram em áreas que atualmente são urbanas e tem intensa ocupação humana. Como as técnicas atuais constituem em retirar o material contaminado através de caminhões e estocá-lo em aterros, podemos concluir que isto implicaria em destruição de casas, edifícios e trânsito de caminhões dentro da cidade de São Paulo.

Este é um caso em que a técnica de lavagem de solos por WATER JET se torna extremamente vantajosa, pois através dela podemos tratar o solo no

próprio local onde houve a contaminação, lavando-o e colocando-o no mesmo local novamente e em muitos casos sem precisar destruir as habitações.

2 . Desenvolvimento.

O foco deste trabalho será o processo de lavagem de solo, serão demonstrados como funcionam os processos físicos e químicos de separação e suas condições de aplicação.

2.1 – O Processo de Lavagem de Solos.

Existem diversas tecnologias de descontaminação de solos, elas podem ser classificadas em :

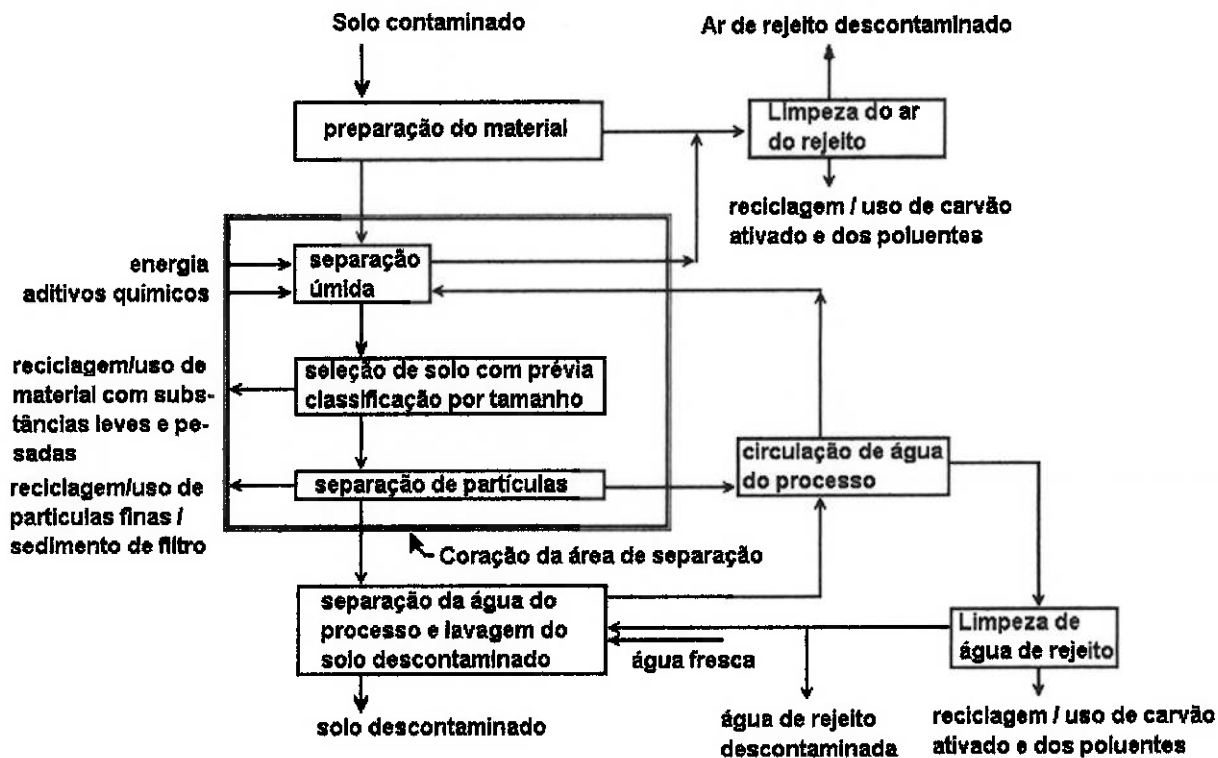
- Térmicas ou biológicas : onde os materiais poluentes são destruídos, ou eliminados;
- Físico-químico : a quantidade, natureza e estrutura dos materiais poluentes permanecem constantes todo o tempo.

A técnica que iremos abordar de lavagem de solos é do tipo físico-químico. Utilizamos a água como meio de separar os poluentes, como dispersante e também como transportadora. Dependendo da contaminação é adicionado solvente orgânico ou inorgânico, para aumentar a eficiência da separação.

A teoria de funcionamento é simples, a energia cinética, representada pela injeção de água sob altíssima pressão, separam os poluentes dos grãos de solo e os conduzem para a fase líquida ou gasosa. No caso dos poluentes serem transferidos para a fase líquida, eles poderão ficar separados na água ou agregados com um substância absorvente.

O processo, em linhas gerais, é constituído pelas seguintes fases e representado pelo diagrama.

- Preparação do material de alimentação;
- Separação em corrente úmida;
- Separação dos materiais com maior e menor densidade;
- Separação de partículas finas;
- Separação e tratamento da água do processo;
- Desaguamento do solo descontaminado;
- Limpeza da água do rejeito;
- Limpeza do ar do rejeito.



Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Figura 6 - Esquema geral do processo de lavagem de solos – Fluxo de massa no sistema.

O processo de lavagem de solo depende do tipo de poluente, da forma como está combinado com o solo e se após a separação, o poluente irá se combinar com a água ou ar do processo. Se ele for solúvel em água, devemos analisar sua solubilidade em água (pode ser necessário utilizar um coletor juntamente com a água), no caso do poluente ser uma substância volátil, ele irá para o ar do processo.

Inicialmente a máquina torna todas as superfícies dos grãos acessíveis pela introdução de água sob altíssima pressão.

Geralmente os poluentes são encontrados segundo a classificação :

- a) Moléculas dispersas;
 - Dissolvidas (sais após introduzir ácido);
 - Moléculas dispersas;
 - Dispersão coloidal (solo, emulsão);
 - Dispersão grossa (suspensão);

- b) Componente de partículas finas e / ou outros adsorventes;
- c) Componente de substância leve/pesada;
- d) Como uma fase separada;
- e) No ar do processo.

A seguinte tabela mostra o tipo de contaminação e o processo de separação, mostrando como se encontrará o contaminante depois de separado.

tipo de composto da contaminação	mecanismo de separação	contaminante separado
1 aglomeração	forças de cisalhamento	suspensão
2 incrustação de grão grosso	forças de impacto	dispersão
3 incrustação de partículas finas	forças abrasivas	dispersão
4 filme de óleo	desorção	emulsão
5 Sorbatos químicos	dissolução	solvente

Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Figura 7 – Tipo de contaminação e processo de separação – A forma como o contaminante se aglomera com o solo influi no mecanismo de separação.

Quando os poluentes se encontram na fase líquida, podemos utilizar as diferenças de peso específico para separá-los do solo através de técnicas de flotação, assim uma fração fina altamente contaminada existe ao lado de uma fração menor ou não contaminada. Quando os poluentes são voláteis, a energia

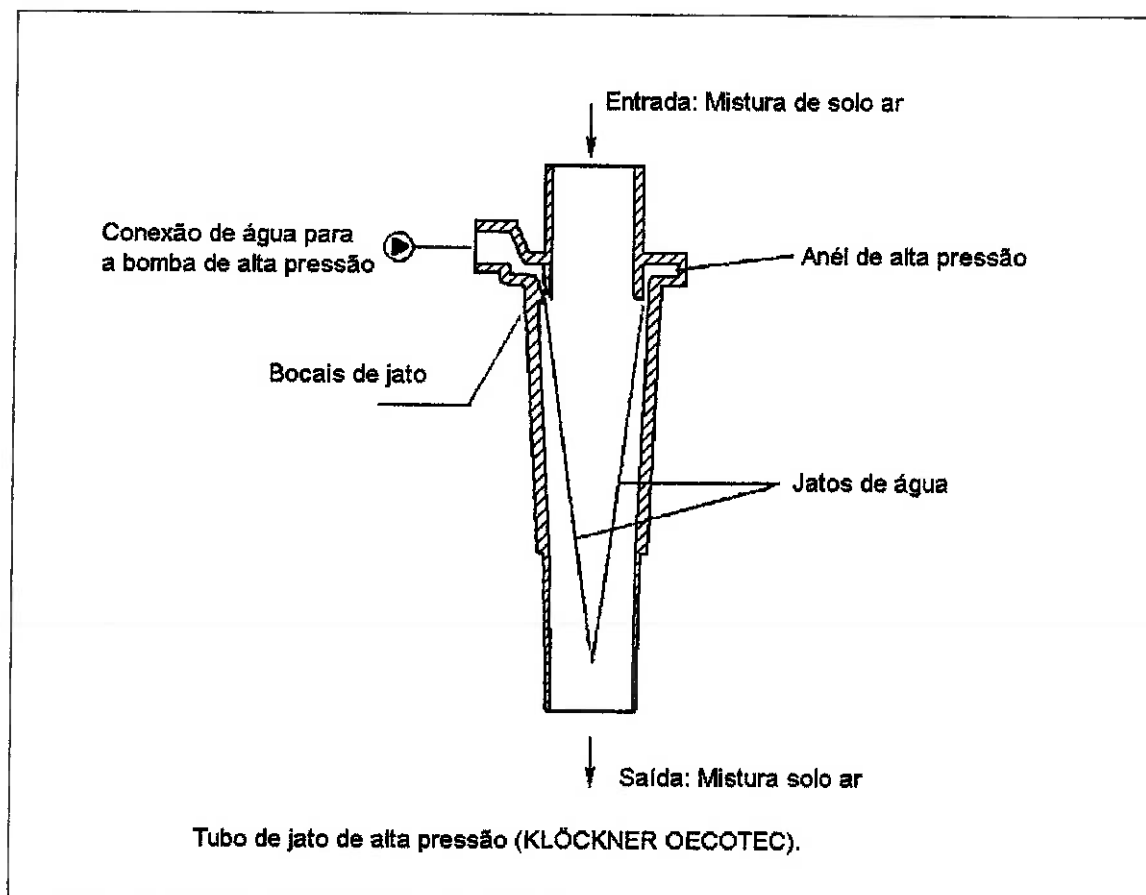
cinética faz com que o contaminante seja liberado como um gás, então o separamos posteriormente através de filtros de carvão ativado.

As usinas de lavagem de solos são compostas de várias etapas de processo, a primeira etapa é constituída pela introdução de energia cinética, pois objetivamos liberar todos os componentes do solo e assim efetuar a dispersão dos materiais sólidos.

Esta técnica, a qual será abordada neste trabalho, é chamada de processo de lavagem de solo sob alta pressão, e é patenteada pela empresa KLÖCKNER OECOTEC.

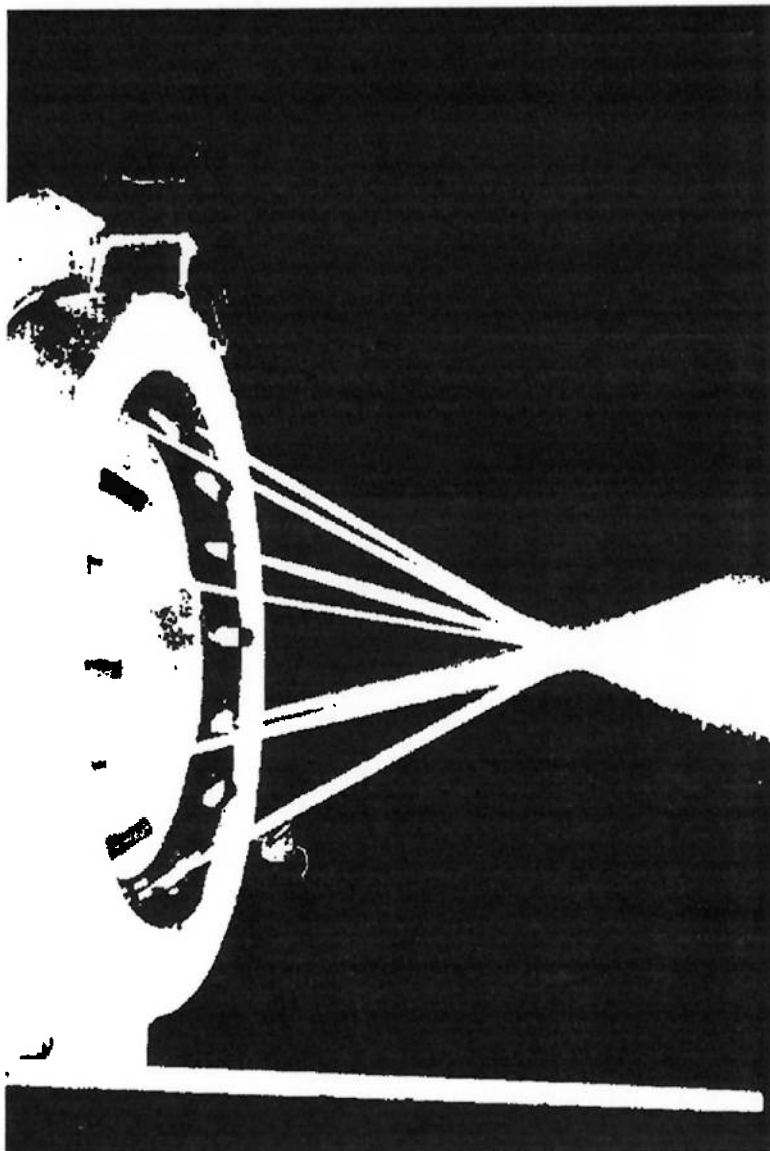
A técnica funciona da seguinte forma : o material a ser limpo (solo, borracha, etc.) é sugado para dentro pelo jato de água, pois a alta pressão provocada pelo jato faz com que anteriormente a ele se forme uma zona de baixa pressão. Como resultado, existe uma suspensão hidratada entre grãos de solo extraídos bem como poluentes sólidos e separados. Caso necessário, estas suspensões iniciam os processos seguintes de separação gravítica, classificação e separação magnética e a separação das suspensões hidratadas entre o material limpo e os poluentes concentrados.

Uma bomba de alta pressão fornece a água necessária para lavagem, com uma pressão de pelo menos 50 bar – em geral entre 200 e 380 bar – em um anel ao redor do tubo, que está equipado com diversos bocais. Normalmente, os jatos de água fornecem uma velocidade de saída de 250 m/s.



Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Figura 8 – Funcionamento de um tubo de jato de água de alta pressão - Entrada e saída de água e solo no sistema.



Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Figura 9 - Anel de alta-pressão a 5 bar – Anel constituído por vários jatos de água sob alta pressão.

Um anel com vários jatos formam um envoltório cônico e assim criam, de acordo com o desempenho da bomba do jato, uma redução da pressão de ar no interior do cone do jato de aproximadamente 0,7 a 0,8 bar.

Como consequência, tanto o solo quanto uma grande quantidade de ar serão sugados. Dependendo do número de anéis de jatos e ângulo dos jatos individuais uma quantidade de 4.000 m³/h de ar pode ser sugado. Usando

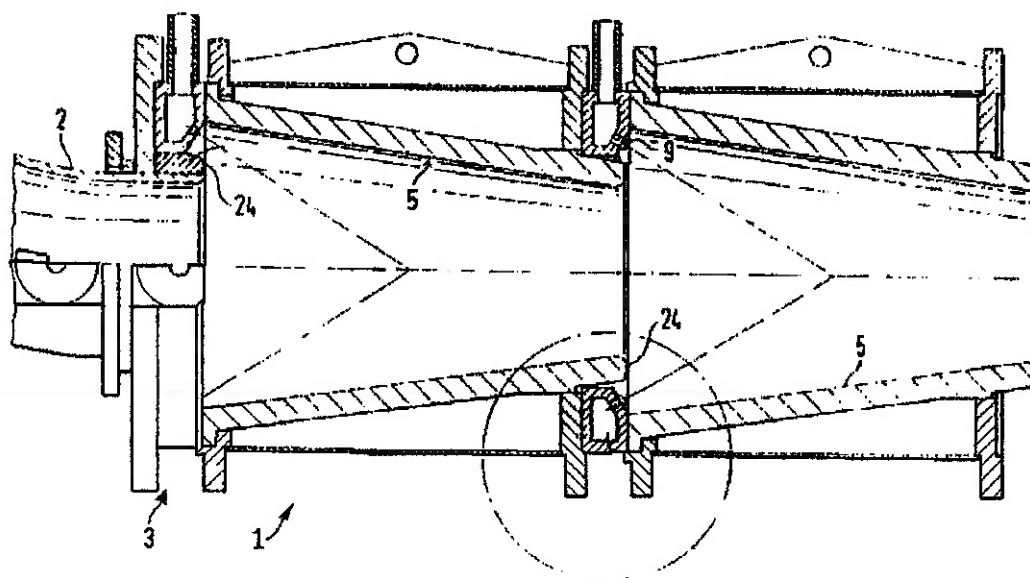
uma tubulação de 3 estágios, cerca de 12.000 m³ / h de ar em conjunto com 45 m³ / h de mistura solo/água podem ser sugados através do sistema.

A relação de água para solo é de 1:1, isto é, para cada tonelada de solo é necessário 1 m³ de água. Atrás do sistema de tubos de jato, existe a chamada câmara de impacto onde as partículas de solo que foram aceleradas a grandes velocidades no tubo de jato, são novamente brecadas a zero. Esta súbita diminuição de velocidade conduz não só a uma homogeneização seguinte, mas também uma separação da fração de poluentes da superfície dos grãos pelo emprego de intensivo atrito. Esta câmara de impacto é um separador da mistura de material água/sólido e uma considerável quantidade de ar sugado.

Cada anel forma uma câmara, a soma de todas as câmaras forma um tubo no qual ocorre a desagregação total do material.

Um aumento do desempenho de limpeza pode ser conseguido pela injeção de vapor d'água saturado, e assim reduzir o tratamento da água do rejeito.

A introdução do vapor é feita por anéis semelhantes àqueles dos jatos de água, e pode ser feito antes, na parte intermediária ou após os de água. A sequência a ser empregada depende do tipo de poluente. Com o uso do vapor haverá um aquecimento da mistura água/solo que é inevitável. As temperaturas mais elevadas fornecem um desempenho melhorado da limpeza. Deve-se tomar cuidado para que a temperatura da água de lavagem não se eleve a mais de 40°C durante a aplicação da tecnologia de alta pressão, pois neste caso a requerida alta pressão passa a não ser mais atingida.



Adaptação: Momber, A. *Water Jet. Applications in Constuction Engineering*, 1998

Figura 10 – Duas câmaras acopladas, formando um conjunto.

O equipamento é constituído pela junção de vários tubos, como mostrado na figura 8 : o tubo de jato (1) compreende uma seção (3) que está ligada a uma tubulação de alimentação (2), com bocais locados na periferia, e uma porção tubular cônica aditiva (5). Esta porção cônica tubular (5) é de tal modo projetada que sua extremidade é encaixável (24) no próximo tubo de jato. Isto previne a abrasão e a destruição dos bocais por meio do material que passa na tubulação. Os suportes do tubo de jato tem pares de roletes e são instalados sobre trilhos. Assim, é fácil desmontar os tubos com desaperto de parafusos; portanto, eles são sempre fixados na mesma seqüência. Portanto, uma rápida substituição de porções tubulares, os quais têm um alto grau de desgaste, é possível.

Os tubos podem tem duração de 4.000 a 8.000 toneladas, dependendo do material tratado e do tempo não produtivo dos tubos, que são feitos de uma liga de metal ou material cerâmico especial.

A capacidade de produção depende do tipo de solo e tipo de contaminação. Como mostrado nesta tabela, os tipos de solos laváveis são suficientemente descritos por quantidade de grãos, pela forma dos grãos e mineralogia.

Tabela 1 –Tipo de solo no qual se aplica o método – a granulometria é um dos fatores limitantes da aplicabilidade do método.

Tipo de solo	Não Adequado	Com limitação	Adequado
Cascalho*			X
Areiamédia*			X
Areia fina*			X
Areia +alta % argila*			X
Marga			
Argila*	X		
Pedregulho		X	
Lama		X	
Cinzas	X		

* de acordo com a DIN 18 196 (norma alemã de classificação granulométrica)
Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Um fator decisivo para aplicação do método é a porção da fração mais fina do solo. Como um limite, uma porção de 25-30% de argila grossa com

partículas < 0,02 mm é indicada pelos operadores de usinas. Dependendo dos poluentes, solos com porções superiores de partículas finas podem ser tratados economicamente.

Segundo uma classificação grosseira os tipos de contaminação nos quais podemos utilizar o processo do WATER JET podem ser classificados em :

1. Contaminação facilmente volátil (tirável);
2. Contaminação solúvel : sais, ácidos, substâncias orgânicas polares.
3. Contaminações emulsificadas e dispersas em água porosa.
4. Contaminações que estão adsorvidas ao grão (por exemplo, filmes de óleo).
5. Contaminação em micro ou macro poros de grãos de solo (por exemplo, solo de escorias, tijolos, pedaços de concreto, etc.)
6. Suportes de contaminação de substâncias que não sejam solos. (massas de óleo, madeira, etc.)

Os tipos de poluentes de 1-4 são facilmente laváveis. Os tipos 5 e 6 requerem mais esforços de operação, por exemplo aumento máximo de energia, separação gravítica, separação magnética e maior adição de detergentes. Num caso de restauração os valores de contaminantes no produto final devem obedecer um critério que leva em consideração a utilização final do material.

Tabela 2 – Tipos de contaminantes – O tipo contaminante também é um dos fatores limitantes da aplicabilidade do método.

Tipo de solo	Não Adequado	Com limitação	Adequado
Cascalho*			X
Areia média*			X
Areia fina*			X
Areia +alta % argila*			X
Marga			
Argila*	X		
Pedregulho		X	
Lama		X	
Cinzas	X		

* de acordo com a DIN 18 196 (norma alemã de classificação granulométrica)

Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Segundo uma classificação utilizada na Alemanha (LAGA - Länder Arbeits Gemeinschaft Abfall) os valores finais que devem ser alcançados para

a concentração de elementos para solos considerados limpos deve seguir a tabela abaixo.

Tabela 3 – Concentração máxima que o solo deve apresentar após a sua lavagem para substâncias químicas nocivas (unidade mg / Kg).

Parâmetro	Unidade	Valor de Classificação			
		Z.0	Z.1	Z.1.2	Z.2
Valor de pH ^a		5,5-8	5,5-8	5-9	
EOX ^b	mg/kg	1	3	10	15
Carbono – Hidrogênio	mg/kg	100	300	500	1.000
Σ BTEX ^c	mg/kg	<1	1	3	5
Σ LHKW ^d	mg/kg	<1	1	3	5
Σ PAK segundo EPA	mg/kg	1	5 ^b	15 ^c	20
Σ PCB (Segundo DIN 51527)	mg/kg	0,02	0,1	0,5	1
Arsênico	mg/kg	20	30	50	150
Chumbo	mg/kg	100	200	300	1.000
Cádmio	mg/kg	0,6	1	3	10
Cromo	mg/kg	50	100	200	600
Cobre	mg/kg	40	100	200	600
Níquel	mg/kg	40	100	200	600
Mercúrio	mg/kg	0,3	1	3	10
Tálio	mg/kg	0,5	1	3	10
Zinco	mg/kg	120	300	500	1.500
Cianeto	mg/kg	1	10	30	100

Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

^a) Valores de pH mais baixos não é critério para exclusão. No caso de excesso, a razão deve ser verificada. ^b) Valores singelos de Naftalina e Benzo [a] pireno cada <0,5 ^c) Valores singelos de Naftalina e Benzo [a] pireno cada 1,0.

[d] EOX: Halogênio Orgânico Extraível, [e] BTEX: Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno, Xileno, [f] LHKW: Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe, [g] PAK, EPA: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, Agência de proteção do meio-ambiente-USA., [h] PCB: Poliaromático hidroxicarbono.

Tabela 4 – Concentração máxima que o solo deve apresentar após a sua lavagem para substâncias químicas nocivas (unidade $\mu\text{g} / \text{L}$ e mg / L).

Parâmetro	Unidade	Valor de Classificação			
		Z.0	Z.1	Z.1.2	Z.2
Valor de pH ^{a)}		6,5-9	6,5-9	6-12	5,5-12
Eletro condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	500	500	1.000	1.500
Cloro	mg/L	10	10	20	30
Sulfato	mg/L	50	50	100	150
Cianeto (Soma)	$\mu\text{g}/\text{L}$	< 10	10	50	100 ^{c)}
Índice de fenol ^{b)}	$\mu\text{g}/\text{L}$	< 10	10	50	100

Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

a) Valores de pH mais baixos não é critério para exclusão. No caso de excesso, a razão deve ser verificada. b) No caso de exceder, a razão deve ser verificada. Valores maiores devido a agentes úmicos não são critério para a exclusão. c) Utilização para Z.2 > 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ é permitido quando cianeto de Z.2 (facilmente precipitado livre) < 50 $\mu\text{g}/\text{l}$.

3 . Conclusão.

A partir do trabalho apresentado podemos verificar sua aplicação prática no Brasil, tomando como exemplo o caso de vazamento de derivados de petróleo no bairro residencial do Ipiranga, onde deve ser feita a remoção de solo contaminado sem ocorrer destruição das habitações. diminuir os custos com o transporte deste material.

4 . Referências Bibliográficas.

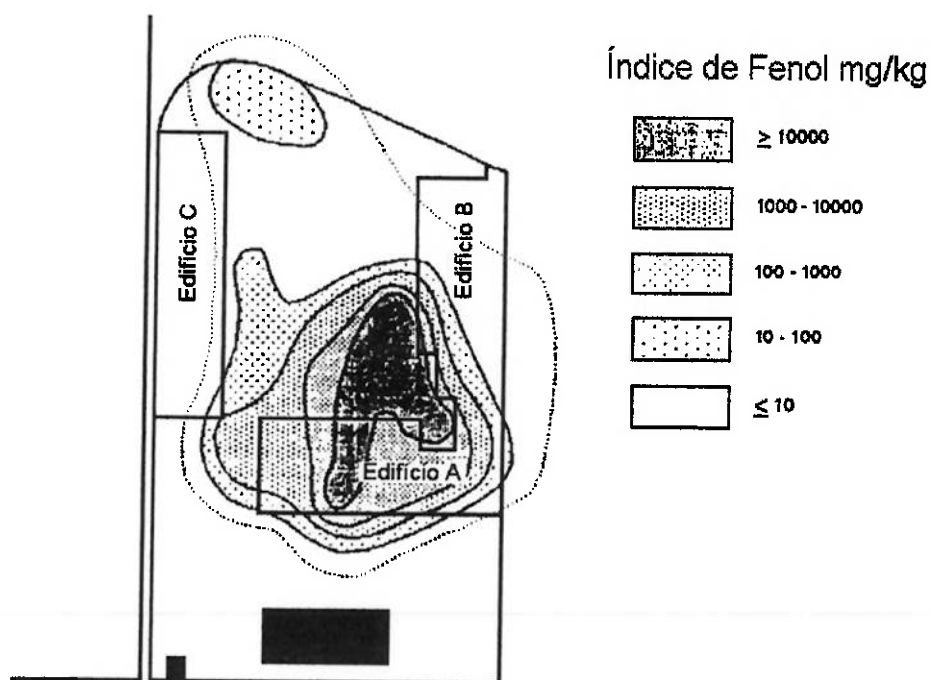
- SODERMAN, W. 1998 Extraction and washing contaminated soils using high-pressure jet grouting techniques. In Momber, A (ed.) Water Jet Application in Construction Engineering A.A. Balkema Rotterdam p. 207-216.
- HEIMHARD, H. -J. 1998 Application of the water jet technology for the 'High-pressure soil washing process'. In Momber, A (ed.) Water Jet Application in Construction Engineering A.A. Balkema Rotterdam p. 217-229.
- MOMBER, A. (1998) Water Jet Applications in Construction Engineering p.207-229.
- FOLHA DE SÃO PAULO, (10 de outubro de 2002)
- FLOW INTERNATIONAL CORPORATION, Home page,
<http://www.flowcorp.com> 2 / 11 / 2002
- SOIL NA SURFACE, Home page, <http://www.soilandsurface.co.uk> 2 / 11 / 2002
- WESTSTAR, home page, [http:// www.westmedco.com](http://www.westmedco.com) 2 / 11 / 2002

5 . Apêndices.

5 . 1 – Usando o princípio do water jet.

Este artigo explica como uma técnica geotécnica, a injeção sob pressão, foi adaptada com uma nova tecnologia, a lavagem de solos.

A contaminação do subsolo, particularmente sob uma estrutura, em um local urbano congestionado, constituiu um problema único. Um local estreito em Hamburgo, Alemanha, atualmente ocupado por três antigas fábricas foi contaminado com fenol, uma substância química que foi usada na manufatura de desinfetantes. Os edifícios da antiga fábrica foram renovados e agora são ocupados por um centro comunitário e lojas comerciais. Uma extensiva investigação local revelou contaminação concentrada entre e abaixo dos edifícios como mostrados na figura 11.



Extensão de contaminação com relação aos edifícios

Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Figura 11 – Croqui das instalações - Extensão da contaminação, e a concentração das substâncias.

A estrutura do solo era basicamente horizontal com leitos de turfas e areia sobre uma camada de argila de aproximadamente 7 metros de espessura.

O centro da área contaminada estava localizado em frente e abaixo da antiga usina de desinfetantes.

Visto que retirada do solo contaminado é difícil e seu custo proibitivo foi necessário desenvolver métodos de remoção viáveis e tratamento no local dos solos contaminados. Medidas saneadoras neste local exigiram a descontaminação dos solos adjacentes, e abaixo da estrutura durante o procedimento com adequado suporte do subsolo das fundações. Um programa piloto no local foi traçado usando técnicas de injeção para extrair e lavar os solos contaminados. Este processo usou um jato de alta pressão de ar / água que erodiu e lavou a substância de contaminação do solo granular. Tratamento biológico provou-se sem sucesso.

Um processo geotécnico conhecido como injeção sob pressão pelo método do sistema triplo foi combinado com lavagem "in situ" de solo.

A injeção sob pressão é um sistema de modificação do subsolo usado para criar geometrias de solo cimentado no local (solocreto). O sistema foi desenvolvido inicialmente para enrijecer e dar suporte à escavação, mas tem sido também adaptado para estabilização de solos moles e mais recentemente para medidas de controle de poluição.

No processo SOILCRETE S (que será descrito a seguir), água ou suspensão é usada como um feixe de jato para dissolver a estrutura existente do solo que é então suspensa. A quantidade de suspensão não acomodada no solo ou fluindo para dentro de vazios retorna pelo espaço anular do furo de sonda e é descarregado.

Para produzir um jato com energia, correntes de pressão de bomba de 300-500 bar são necessárias. O líquido emerge através de um ou diversos bocais com diâmetros de 1,5 a 4,0 mm. Para assegurar que a energia de pressão é convertida o mais possível em energia cinética, não é permitido que se bombeie em um sistema fechado, mas através de aberturas de alívio, usualmente no espaço anular do furo de sonda, a pressão na parte externa dos bocais está limitada a pressão hidrostática. A pressão da bomba não é nenhuma medida de eficiência do equipamento. Somente quando o volume da

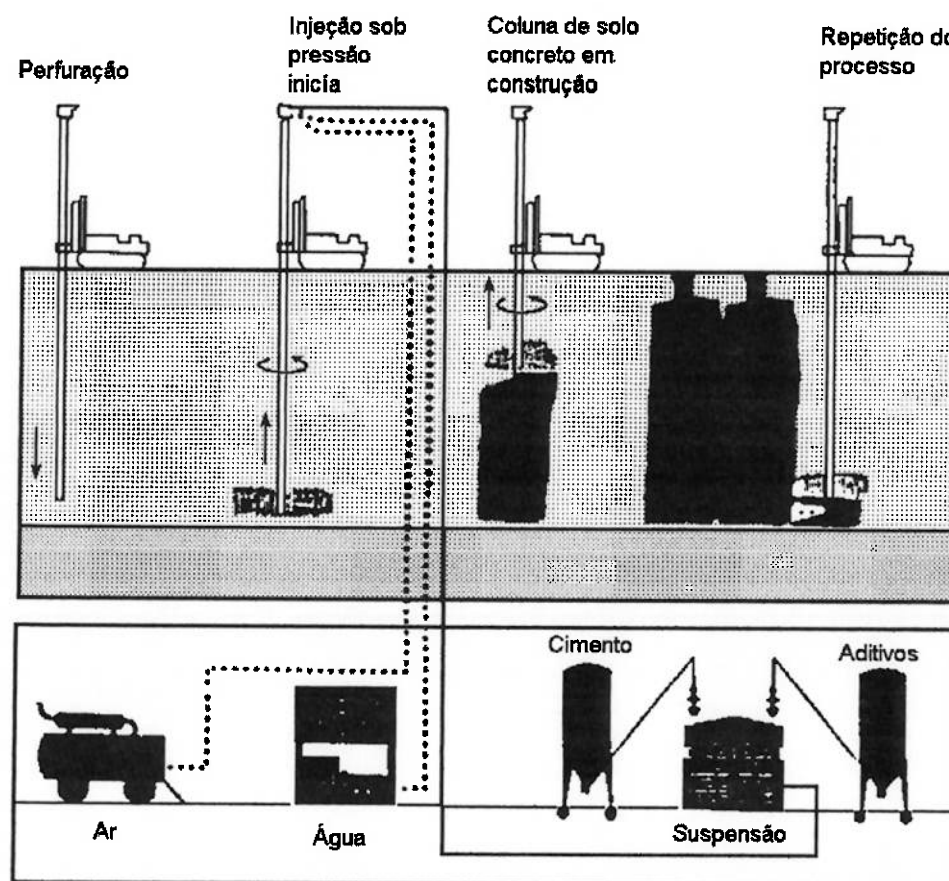
bomba, perda de pressão e diâmetro dos bocais são conhecidos é possível conhecer se o equipamento está operando eficientemente.

O processo de Soilcrete desenvolvido pela Keller Grundbau GmbH é realizado em três formas diferentes:

- Soilcrete – S opera com barra singela usada para perfuração e injeção sob pressão. Através de um ou diversos bocais suspensão de cimento é injetada ao mesmo tempo em que solo sofre erosão.
- Soilcrete – D usa duas barras para suprir em separado a suspensão de cimento e ar até os bocais. Com este método igualmente, a suspensão é usada para objetivos de corte, com ar sendo adicionado para aumentar a eficiência.
- Soilcrete – T opera com barras triplas; uma linha de suprimento de água é adicionada a suspensão e linhas de ar. O ar é adicionado imediatamente junto ao bocal de água. A suspensão emerge de um bocal adicional com saída de mais baixa velocidade que aquela do jato de corte.

Para determinar os parâmetros de projeto, os seguintes dados mecânicos do solo são requeridos: consistência, teor em água, distribuição granulométrica, densidade das camadas, condição do solo, parâmetro de cisalhamento, resistência a compressão.

Para a extração e lavagem do solo contaminado o processo soilcrete – T foi modificado. O sistema triplo (ou de barra tripla como também é chamado) de injeção por pressão usa uma combinação de jato de água de alta pressão (até 400 bar) para cortar e elevar o solo até a superfície.



Sistema de injeção sob pressão triplo

Adaptação: Momber, A. *Water Jet. Applications in Constuction Engineering*, 1998

Figura 12 – Esquema de limpeza do solo –Retirada do solo pela sonda, tratamento na superfície e posterior recolocação.

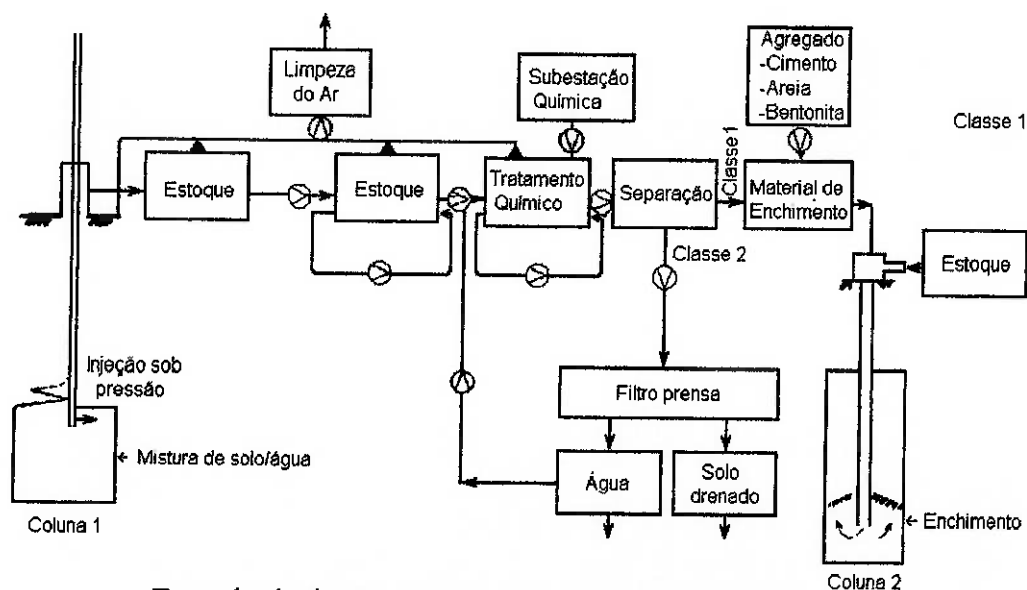
O jato de água é circundado por um colar concêntrico de ar comprimido, o qual concentra o jato. Este jato de água de alta pressão e corrente de ar foi projetado para provocar não só a erosão do solo envolvente, mas também para agir como lavador de certa contaminação dos grãos mais grossos do solo. Este meio também tornou-se a fonte para o sistema de alívio e deslocamento do fluido até a superfície onde e podia ser coletado no topo do furo de sonda. Este sistema de remoção e capacidade de lavagem controlada do solo foi escolhido para um programa em escala piloto em Hamburgo.

Cinco colunas testes foram instaladas para analisar o sucesso do procedimento. O subsolo a ser limpo foi impermeabilizado com uma capa na superfície na área dos furos de sonda. Após avançar a perfuração até a

profundidade desejada de tratamento, água a alta pressão e ar são forçados através dos furos da sonda. A barra de perfuração é rodada e retraída com razão predeterminada. O corte do feixe de alta energia conduz a dissolução do solo tratado até determinada faixa a partir da abertura do furo de sonda. Neste caso, o volume tratado das colunas de solo tem um diâmetro efetivo de cerca de 1,5 m. O solo sofre erosão e intensa lavagem e se mistura com a água. O raio da coluna de erosão pode ser regulado alterando as velocidades do feixe de água, de rotação e sucção. Isto permite variação no sistema, para adaptações às condições do solo. Este processo continua em direção a superfície ou até o limite superior de contaminação. Durante e após o processo de produção, a estabilidade da coluna é mantida pela pressão do material suspenso na coluna. O uso de aditivos na água de corte (isto é, lama de bentonita) pode ser empregada, se necessária.

O diâmetro da coluna (isto é, o volume de solo tratado) pode ser mecanicamente medido no final da operação por meio de uma tela dobrável, a qual é abaixada no interior da coluna com material em suspensão. Isto normalmente é realizado nas primeiras colunas testes para coletar parâmetros para o trabalho de produção.

Os solos contaminados deslocados para a superfície pelos furos de sonda, são limpos da contaminação com fenol por oxidação em uma unidade apropriada.



Tecnologia de tratamento e lavagem de alta pressão

Adaptação: Momber, A. Water Jet. Applications in Constuction Engineering, 1998

Figura 13 – Processo de limpeza do solo na superfície – Retirada de solo, limpeza na superfície por tratamento químico, retirada de poluentes do ar, mistura com agregado (cimento, areia) e posterior recolocação.

Após a descontaminação, o material limpo é separado de acordo com a composição então filtrada. Solo limpo é misturado com cimento e recolocado. A Comissão de Meio Ambiente da cidade de Hamburgo realizou testes que indicaram que o nível de fenol no solo era bem inferior aos limites máximos aceitáveis. Este processo usando uma combinação de técnicas de injeção sob pressão e lavagem no local de solos e reciclagem de material limpo provou-se de sucesso neste projeto.

Milhares de locais de rejeitos perigosos são conhecidos como existentes na América do Norte e Europa. Avaliações de muitos destes locais e seu potencial de perigo (ou dano adicional) para o ambiente tem produzido um vasto número de técnicas corretivas. Tradicionalmente, escavação e transporte de solo contaminado para um local de enchimento de terra tem sido o mais comum meio usado e método de correção do local. Entretanto, devido à legislação do uso do solo e o custo extremamente elevado da disposição do solo em local diverso tem sido uma norma da indústria da contenção e tratamento no próprio local de solos contaminados.

Áreas urbanas congestionadas com contaminação do subsolo têm desafios particularmente difíceis para o projeto de correção .

A correção da contaminação de solos precisa assegurar que todo solo contaminado, mesmo em áreas de difícil acesso (isto é, sob locais desenvolvidos) pode ser descontaminado enquanto o uso da integridade da estrutura existente é preservada.

5.2 - Tratamento com jato de água com alta pressão para remover pesticidas de maçãs.

Diana C. Whiting*, e Lisa E. Jamieson

HortResearch, Caixa Postal 92169, Auckland, New Zealand.

Ph: (64 9) 815 4200; Fax: (64 9) 815 4207; E-mail: dwhiting@hort.cri.nz

Nos últimos 5 anos, HortResearch, em parceria com ENZAFRUIT Nova Zelândia (Internacional) and Technology New Zealand, desenvolveu um sistema de limpeza pré embalagem que consiste em um jato de água em alta pressão que remove o pesticida das superfícies das maçãs para exportação. Ensaios biológicos, para identificar efetivos tratamentos de eliminação dos inseticidas e que não causem danos às frutas, tem ocorrido paralelamente com os avanços da engenharia para aumentar a qualidade do produto e somando valor agregado. Pesquisas iniciais testaram a efetividade do tratamento (variando a pressão da água e a velocidade da esteira rolante) nas maçãs "Royal Gala".

O jato de água em alta pressão reduziu significativamente a atividade dos inseticidas nas maçãs tratadas em relação as maçãs que são sujeitas ao sistema de embalagem convencional sem aumentar os danos às frutas.