

6 Conclusões e Sugestões

O sistema de dessorção térmica *ex situ* desenvolvido na PUC-Rio é um sistema modular que permite a sua aplicação *on site* e *off site*. Ele foi desenvolvido para atender projetos de remediação de solos contaminados com combustíveis em postos de serviços bem como em acidentes relacionados ao derrame destes em rodovias, ferrovias, bases de combustíveis, refinarias e em indústrias que os armazenam.

O sistema foi projetado para ser acondicionado na carroceria de uma *pick up* de médio porte facilitando o seu transporte e deslocamento em zonas urbanas de grandes cidades. Ele apresenta uma capacidade máxima de tratamento de 1,5m³ de solo contaminado quando se utiliza os três módulos. No entanto, por ser modular pode funcionar com uma, duas ou três caixas para atender as características de cada projeto.

A energia para alimentar o sistema pode ser fornecida pelas concessionárias ou através de grupos geradores em locais onde não há o atendimento. Para isto, a PUC-Rio possui um sistema móvel, *i.e.* gerador AGRALE a diesel instalado em uma carreta rodoviária, que permite o fornecimento de até 10kVA.

O sistema foi avaliado no tratamento de um solo contaminado de um antigo posto de serviços situado no Bairro do Grajaú. O tratamento foi realizado *off site*, no subsolo do Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-Rio (LEM), para não interromper as atividades do empreendimento residencial no local. O solo escolhido para tratamento foi o que apresentou o maior nível de concentração *in situ*. A avaliação foi realizada empregando um amostrador de gases tipo *Geoprobe* e um analisador de gases *Thermo Innova SV*. Foram coletados cerca de 346kg de material que foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o LEM.

A concentração do material coletado foi avaliada novamente no LEM empregando a metodologia proposta pela CETESB. Esta demonstrou ter uma má repetibilidade e os valores medidos ficaram aquém daqueles determinados *in situ*.

Não foi possível testar o sistema na sua totalidade. Devido ao reduzido pé-direito do subsolo do LEM o ensaio de avaliação só empregou uma das caixas de dessorção e não foi possível instalar o sistema de tratamento de emissões.

O ensaio de avaliação foi conduzido obedecendo um sistema de rampas e patamares de temperatura. Os cobertores térmicos aplicaram uma temperatura máxima de 400⁰C ao solo contaminado. Durante o ensaio observou-se uma diferença entre o valor de temperatura aplicado ao cobertor térmico e os valores medidos pelos diferentes termopares posicionados no interior da massa de solo. A diferença observada nos valores de temperatura é decorrente do bolsão de ar existente entre os cobertores térmicos e a massa de solo. Sendo o ar um mau condutor térmico, os cobertores térmicos não conseguem transmitir integralmente ao solo o calor emitido. Adicionalmente, à medida que o valor do teor de umidade do solo vai sendo reduzido pode-se observar um aumento na diferença de temperatura entre diferentes pontos da massa de solo. A redução do grau de saturação do solo, aliada à baixa condutividade térmica das partículas sólidas do solo, resulta em uma crescente diferença de temperatura entre as partes mais superficiais do solo na caixa de dessorção (*i.e.*, àquelas mais próximas a fonte de calor) e aquelas que estão posicionadas próximo ao seu fundo. Devido ao solo ser constituído de grãos de quartzo e feldspato observou-se nos instantes finais do ensaio diferenças de temperatura de quase 150⁰C entre pontos espaçados de apenas 12cm.

Apesar da diferença de temperatura observada no decorrer do ensaio, este demonstrou um bom desempenho do sistema. A concentração do material contaminado foi reduzida a valores inferiores ao limite de detecção do analisador de gás. O solo tratado voltou ao seu aspecto original, uma cor amarela avermelhada, e não apresentou odor.

Entretanto, observou-se uma pequena quantidade de material de tonalidade mais escura quando da retirada do material do fundo da caixa. As análises realizadas neste material constataram níveis de TPH abaixo do limite de detecção do analisador de gás denotando que houve coqueamento nesta região durante o decorrer do ensaio.

O coqueamento foi um indicativo que não houve uma aeração uniforme no interior da caixa. Este experimento mostrou a necessidade de alterar a forma de aeração em seu interior. Teoricamente, a forma mais adequada de aeração seria a

vertical descendente mas na prática há uma dificuldade de penetração do ar mais quente e, por conseguinte menos denso, no interior da massa de solo devido a sua baixa permeabilidade quando úmido.

Sugere-se a realização de um novo experimento com a introdução de uma chapa perfurada com abertura de malha inferior a $75\mu\text{m}$ e distante uns poucos centímetros do fundo da caixa para que se possa formar um bolsão de ar pela ação do soprador. Recomenda-se que no decorrer do ensaio a concentração de oxigênio seja monitorada com um medidor de oxigênio portátil para avaliar a eficácia do método de aeração.

Sugere-se a realização de uma análise por cromatografia gasosa do solo tratado para averiguar com exatidão a eficácia do tratamento efetuado.

Um outro problema detectado foi a variação de volume das peças metálicas resultante da sua exposição a altas temperaturas durante o ensaio. Esta variação foi primeiramente constatada na fase de ajuste do sistema de dessorção onde a dilatação dos componentes resultava em um curto circuito no cobertor térmico. Este problema foi contornado com a utilização de mantas de amianto.

Durante a execução do ensaio com o solo contaminado a tampa da caixa empenou provocando uma ligeira fuga dos gases emitidos pela volatização do contaminante. Este problema pode ser contornado através do reforço estrutural da tampa bem como da fixação de flanges na sua lateral e na própria caixa visando um perfeito encaixe. Recomenda-se ainda a colocação de uma manta de amianto, entre as paredes da caixa e a tampa, para proporcionar uma vedação adequada e virtualmente eliminar a fuga de gases.

O custo do tratamento do solo contaminado, levando-se em conta somente o valor da energia elétrica, ficou em torno de R\$ 0,43/kg de solo tratado. Este valor é bem aquém daqueles cobrados por unidades de incineração do Estado do Rio de Janeiro (*i.e.*, cerca de R\$ 3,00/kg) e inferior ao cobrado pelas empresas de gerenciamento de resíduos para dispô-lo adequadamente (*i.e.*, cerca de R\$ 0,60/kg). O custo real poderá ser obtido acrescentando ao valor calculado o montante relativo à mão-de-obra e os impostos e encargos sociais.

No entanto, os diversos testes de bancadas executados empregando os sistemas já desenvolvidos na PUC-Rio permitem prever que o tempo necessário à remediação de um solo contaminado com combustíveis aplicando o método da dessorção térmica seja inferior à 24h. No presente trabalho optou-se por realizar

um tratamento mais longo para observar a confiabilidade do sistema. Crê-se que com a redução do tempo de tratamento o custo energético possa cair pelo menos 60%.

A grande vantagem do método de dessorção térmica em relação à incineração é que o primeiro não destrói o material tratado permitindo o seu reaproveitamento. Neste sentido, é importante que se avalie a microbiota do meio contaminado antes e após o tratamento. As conclusões de um estudo deste tipo facilitariam o licenciamento desta atividade junto aos órgãos licenciadores.