

5

Conclusões e sugestões

O presente trabalho buscou avaliar o transporte de nutrientes em solo residual gnáissico via eletrocinese em laboratório.

O equipamento utilizado foi desenvolvido no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio buscando praticidade, baixo custo e fácil manuseio. Consiste em uma célula de acrílico que acomoda o corpo de prova com 50mm de comprimento e 38mm de diâmetro e teve a sua eficácia testada por Rivas (2002).

Um programa experimental foi elaborado para avaliar a eficácia da técnica eletrocinética e demonstrar experimentalmente a taxa de transporte de nutrientes ao longo do corpo de prova, assim como a sobrevivência/crescimento de microrganismos quando submetidos a aplicação de um gradiente de potencial elétrico e a injeção de nutrientes.

Os resultados dos ensaios realizados geraram dados coerentes e semelhantes aos da literatura consultada revelando a viabilidade dessa técnica na injeção de nutrientes e conseqüente preparação do ambiente para uma futura biorremediação. Dentre os fenômenos eletrocinéticos avaliados, eletro-osmose e migração iônica, a migração iônica mostrou-se como um importante mecanismo de transporte essencial na avaliação desse trabalho.

Foram visualizados nos ensaios, os efeitos das reações eletroquímicas que geram formação de gases e trincas radiais no centro no corpo de prova. Essas trincas interferem no fluxo por criarem linhas de fluxo preferenciais e alterarem a condutividade hidráulica e elétrica ao longo da amostra.

As análises microbiológicas em ensaios eletrocinéticos sem injeção de nitrato indicaram um aumento em uma ordem de grandeza na população original. Esse comportamento foi visualizado na porção do solo incubado por uma semana após a aplicação do potencial elétrico. Este crescimento provavelmente ocorreu devido ao

pH final da amostra do solo adjacente a região do catodo ter um valor próximo do pH natural do solo.

Os resultados indicaram que houve uma movimentação de microrganismos através do solo na célula eletrocinética mesmo não apontando um aumento da população microbiana durante a aplicação do potencial elétrico. Isto pode ser devido a presença de carga negativa geralmente presente na superfície celular. Contudo, a quantidade de ensaios não foi suficiente para sustentar essa afirmação, sendo necessário uma elaboração de um programa específico de ensaios para comprovação desta hipótese.

As análises microbiológicas também mostraram um crescimento na população na porção do solo onde há maior incidência de concentração de nitrato, tendo a mesma tendência manifestada no solo incubado por uma semana.

Os ensaios convencionais de análise microbiológica realizados são muito limitados, pois abrangem somente de 1 a 10% da população microbiana daí surge a sugestão que para que, em trabalhos futuros, esses ensaios sejam adaptados as condições impostas pelo ensaio eletrocinético (saturação, compactação, mudança de pH e corrente elétrica). Para tentar modelar um perfil populacional microbiano, devido a seletividade ocorrida durante os ensaios, seriam necessárias análises de biologia molecular de perfil genético dessa população.

O controle de pH nos eletrólitos seria uma maneira de prevenir o excesso de H^+ no anodo, que causa uma diminuição do fluxo eletro-osmótico, assim como, reações no catodo geram OH^- , pH alto, que resulta na precipitação e imobilização do contaminante no solo. A mudança de pH também causa impacto na população microbiana o que seria evitado com esse controle.

As análises de concentração de nitrato mostraram que quanto maior a concentração da solução, maior o fluxo eletro-osmótico, isso devido a presença de íons carregados negativamente na solução (NO_3^-). A presença de nitrato acresce a carga negativa do fluido adjacente a dupla camada difusa, que aumenta a alcalinidade do meio e permite a mudança no potencial zeta, favorecendo o fluxo em sentido contrário, do catodo para o anodo. Essas análises também comprovaram o carregamento do íon nitrato no mesmo sentido do fluxo eletro-osmótico, o que já era

esperado. O fato de aumentar a concentração de íons carregados eletricamente também pode explicar o comportamento da corrente e do coeficiente de condutividade eletro-osmótica que apresentam valores maiores para os ensaios com injeção de nitrato de amônio quando comparados com os sem injeção de nitrato. A partir de valores da corrente podemos calcular o coeficiente de eficiência eletro-osmótica (k_i), onde k_i apresentou comportamento inverso a corrente, e o ensaio com maior concentração de nitrato apresentou uma menor eficiência eletro-osmótica com o tempo.

Nos ensaios com injeção de nitrato observou-se um aparecimento maior de “bolhas”, tanto no catodo como no anodo, e um número maior de trincas e microfissuras devido ao fluxo acontecer mais rápido e em maior volume.

Foi observada também corrosão nos eletrodos mostrando sinais de que a eletrólise, além de gerar gases de hidrogênio no catodo e oxigênio no anodo, também causou oxidação no anodo e redução no catodo. Os desgastes nos eletrodos são também devido ao pH e a composição do nutriente, havendo maior deposição e mudança de coloração nos eletrólitos do anodo devido a maior concentração de nitrato devido ao fluxo. Observou-se ainda que o pH em ensaios com injeção de nitrato obtiveram aproximadamente o mesmo comportamento do ensaio sem injeção.

Os resultados mostram que a energia consumida por unidade de volume de solo tratado com o tempo variou entre 1,0 e 9,5 kWh/m³. O custo em valor real para o Município do Rio de Janeiro, assumindo um preço da energia como sendo de R\$ 0,32 kWh foi de R\$ 0,23 por kWh/m³ para ensaios sem injeção de nitrato e variou entre R\$ 0,81 kWh/m³ a R\$ 2,90 kWh/m³ para ensaios com injeção de nitrato. Estes valores sugerem que, quanto maior a concentração de nitrato maior o consumo.

Pode-se considerar que nos ensaios realizados não ocorreram formação de gradiente térmico que pudesse interferir no fluxo eletro-osmótico.

Devido à gama extensa de parâmetros analisados e o curto período de tempo para a realização do programa experimental aqui apresentado recomenda-se à repetição de ensaios com injeção de nitrato buscando obter uma relação ótima de nitrato x crescimento da população microbiana para o volume de solo estudado. Assim como, recomenda-se o monitoramento em tempo real dos parâmetros: teor de

oxigênio dissolvido e pH, que são primordiais ao entendimento do comportamento dos microrganismos durante o ensaio. Outro aspecto importante seria também a automação das medições da intensidade de corrente e volume percolado, visto a extensa duração dos ensaios.