

7 Conclusões e Considerações Finais

Os estudos realizados permitiram simular, de maneira satisfatória, o escoamento de água subterrânea em uma pilha de estéril temporária constituída por rocha itabirítica, que apresentava elevadas pressões hidrostáticas em sua fundação.

Para tanto, realizou-se uma caracterização geológica-geotécnica e hidrogeotécnica da área contemplada, a partir de relatórios técnicos disponibilizados pela CVRD, visitas de campo, perfis de sondagens, ensaios de campo e laboratório. A confirmação das causas para esta pressurização da fundação da pilha se fez a partir dos resultados de dois modelos hidrogeológicos computacionais, a duas e três dimensões, utilizando-se os programas *Slide*® e *VisualModflow*®.

Em ambos os resultados dos modelos, observou-se que, basicamente, a associação de dois fatores são os responsáveis pela geração da sub-pressão na fundação da PDE-05: o condicionante geológico local e aumento dos índices pluviométricos totais no ano de 2005.

O condicionante geológico identificado a partir de perfis de sondagem refere-se à presença de uma barreira impermeável composta por itabirito compacto, sotoposta as camadas de solo residual, e à alteração de rocha existentes na fundação da pilha. Esta barreira impede que o fluxo nesta região mantenha sua direção predominante (SW-NE) e seu sentido paralelo à topografia do local. A inversão desta direção de fluxo, associado ao acúmulo de carga hidráulica nesta região, devido ao elevado gradiente hidráulico, permite que o escoamento adquira potencial hidráulico suficiente para atingir a superfície topográfica, o que pode ser confirmado por medições de um piezômetro instalado na fundação da pilha.

Entretanto, o fluxo proveniente desta região perde parte da carga hidráulica ao percolar, em sentido vertical, por camadas de materiais de permeabilidade mais baixa, formando uma condição de semi-confinamento do aquífero ao se deparar

com a camada de solo residual existente. Por fim, o fluxo subterrâneo aflora na superfície mais adiante, na base da PDE-05.

Outro aspecto importante identificado neste estudo foi a influência dos fatores climatológicos da região. Ao avaliar a série histórica de precipitação, nota-se que as chuvas referentes ao ano de 2006 não foram muito significativas, havendo uma redução de 13% do volume anual precipitado em relação à série do ano anterior.

Em razão disso, o volume de água infiltrada necessário para recarregar o lençol freático no decorrer deste período não foi suficiente. Esta conclusão pode ser verificada a partir da comparação dos níveis piezométricos observados ao longo dos anos de 2005 e 2006. Neste último ano, não foi observada a surgência da água subterrânea no instrumento PZ-ANPE5-01, mesmo após os eventos chuvosos mais expressivos.

As análises de sensibilidade do parâmetro recarga mostraram uma relação direta como os valores das cargas hidráulicas calculadas na fundação da PDE-05. Este fato demonstra um ponto importante em relação à estabilidade geotécnica da pilha, onde, dependendo dos parâmetros de resistência dos materiais existentes na fundação desta, instabilidades e possíveis rupturas poderão ocorrer durante períodos chuvosos intensos, seguidos de anos anteriores com valores pluviométricos elevados.

Cabe lembrar que pilhas de estéril de alta permeabilidade e densidade, formada por materiais compostos por solo ou rocha tais como os apresentados neste estudo, dificilmente terão sua estabilidade geotécnica comprometida devido à saturação de seu maciço. Situações indesejáveis, no que diz respeito à estabilidade, poderão ocorrer exclusivamente devido à falta de conhecimentos dos materiais e pressões hidráulicas na fundação e também à configurações geométricas inadequadas.

No que se referem aos modelos computacionais utilizados, ambos permitiram simular corretamente o problema posto, apesar das diferenças marcantes entre as ferramentas numéricas. Por um lado, as ferramentas numéricas bidimensionais fornecem bons resultados para as condições de fluxo, mas se limitam a problemas nos quais a terceira dimensão não se faz tão representativa.

Por outro lado, a implementação de modelos tridimensionais para as regiões em que a base de dados é insuficiente ou inexistente, pode fornecer resultados

equivocados. Da mesma forma, a implementação de condições de contorno inadequadas, associada à adoção de parâmetros hidráulicos e climatológicos incertos, pode comprometer as simulações propostas, trazendo dificuldades para que o modelo matemático computacional represente corretamente a realidade da área modelada.

O estudo de caso ora apresentado, embora a região modelada apresente uma geometria típica de um problema tridimensional, permite que o conceito de fluxo subterrâneo seja simplificado, possibilitando a abordagem do problema em duas dimensões. Tendo em vista as dificuldades encontradas para acomodação dos parâmetros e as condições de contorno em um modelo tridimensional, conclui-se que se trata de um típico caso em que a modelagem bidimensional pode ser considerada tão ou mais precisa que a modelagem tridimensional correspondente.

Como sugestão para trabalhos futuros, faz-se necessário uma caracterização mais completa das propriedades hidráulicas dos materiais encontrados na área, seja por ensaios de campo tais como *slug* teste, perda de água sob pressão *etc* ou outros métodos que permitam determinar a permeabilidade do meio poroso ou fraturado, principalmente nas regiões em que a influência dos materiais constituintes e das estruturas de deformação presentes são importantes condicionantes no problema tratado.

Outros métodos mais precisos para estimar os valores de recarga do aquífero também podem ser utilizados e que, dependendo do foco do trabalho, podem ser de fundamental importância. Neste sentido, a implementação de um sistema de monitoramento das variáveis climatológicas locais e de monitoramento de escoamento superficial são fundamentais para permitir estimativas mais acuradas de evapotranspiração e recarga, visto que na área estudada só há medição pluviométrica.