

XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água
XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

**AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIOS GEOTÉRMICOS
MELHORADOS NO BRASIL A PARTIR DE MODELO
APROXIMADO DE TRANSPORTE ADVECTIVO-DIFUSIVO**

Luiz H. Florêncio¹ ; José A. N. Batista¹; Sueli Yoshinaga Pereira²; Mario Nascimento Souza Filho²; Fábio Romano Lofrano Dotto³

¹Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp
13083-852, Campinas, SP

Email: nbatista@fec.unicamp.br

² Instituto de Geociências, Unicamp

³ FAROL Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria

Resumo – A modalidade hidroelétrica de geração de energia tem enfrentado dificuldades políticas crescentes, bem como riscos de vulnerabilidade a fatores naturais. A geração geotérmica, por sua vez, figura entre aquelas modalidades de fontes renováveis como a de maior custo específico, porém com menor vulnerabilidade a fatores naturais. As fontes geotérmicas com potencial suficiente para a geração de eletricidade são encontradas tipicamente a profundidades acima de 1.000m. Uma vez que a aplicação de métodos computacionais numéricos exige a representação do meio de forma discretizada e fechada, sua solução em reservatórios geotérmicos é fortemente ligada à concepção geométrica do modelo. Em casos de escassez de dados da distribuição geológica, modelos de funções analíticas aproximadas são constantemente utilizados como a melhor alternativa. Na fase atual desta pesquisa, foi elaborado um modelo de aproximação baseado apenas no raio de propagação das fraturas, considerando-se uma propagação radial para as fraturas. O modelo utiliza formulação aproximada de modo que a área de troca de calor é expressa apenas pela área envoltória cilíndrica do fraturamento, que é induzido ao longo da distância entre os poços de injeção e produção.

Abstract – The hydraulic energy generation modality has facing crescent politics difficulties, as well vulnerability risks trough natural factors. The geothermic generation, by your side, is between of the removable modalities with the higher specific cost, but with lesser vulnerability risks. The geothermic sources with potential enough to electric generation are found typically at depths above 1000 meters. Once that the application of computational methods needs the representation of the environment in a discrete and close approach, your solution in geothermic reservoir is strongly related to the geometric concept of the model. In the case of data scarcity about geologic distribution, close function analytical models are frequently used as the best alternative. In the actual step of this research, was elaborated a close model set only in the fault propagation radius, considering a radial propagation to the faults. The model uses close formulation by expressing the heat exchange area only by cylindrical envelope of the fault, that is induced at the distance of the wells of injection and production.

Palavras-Chave – *Energia Geotérmica, Transporte Advectivo-Difusivo.*

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia para a exploração da energia geotérmica é amplamente conhecida e dominada. O desafio para torná-la competitiva, em escala comercial, esbarra nos riscos relacionados a sua extração e acesso. Dado a oportunidade da exploração da energia geotérmica, o retorno esperado com o investimento em pesquisa e desenvolvimento nesta área é enorme. Até então, não foi dada a devida importância a energia geotérmica, pois limitou-se a considerar apenas aquelas fontes conhecidas e facilmente acessíveis, ignorando que a engenharia seria capaz de viabilizar o alcance de outras possibilidades amplamente disponíveis (Tester et al., 2006).

2. RECURSOS GEOTÉRMICOS

Os recursos geotérmicos podem ser classificados conforme o conteúdo de energia do fluido e seu potencial de utilização. Os sistemas geotérmicos podem ainda ser classificados quanto a proporção de água e vapor: *sistemas geotérmicos com fase líquida dominante*, e *sistemas geotérmicos com fase vapor dominante* (ou “*vapor seco*”). As características geológicas brasileiras impõem temperaturas de menos de 100°C para profundidades de até 3km, em geral. Os sistemas geotérmicos de média e alta entalpia são encontrados em profundidades da ordem de 5 a 10km. Segundo Hamza (et al, 2010) recentes estudos estimam para o Brasil, a utilização em forma direta na ordem de 360MWt, apresentando potencial para posicionar-se entre uma das fontes renováveis de energia mais relevantes. A maior parte dos sistemas aflorantes estão localizados na região Centro-Oeste e no Sul.

3. SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS GEOTÉRMICOS MELHORADOS

Um sistema geotérmico é formado por três elementos principais: uma fonte de calor, um reservatório e um fluido. De todos elementos do sistema geotérmico, a fonte de calor é a única que tem que ser natural. O fluido pode ser injetado através de poços. Segundo Tester (et. al. 2006), todo Sistema Geotérmico Melhorado (EGS, sigla do idioma original) é aplicado engenharia para torná-lo um recurso de alta capacidade. As formas de engenharia mais usuais neste caso são: o alcance de maiores profundidades com técnicas e equipamentos especiais; a injeção de água no reservatório subterrâneo; fraturamento artificial da rocha; e, o arranjo termomecânico da planta de geração de energia elétrica. A geração elétrica é realizada basicamente em turbinas convencionais a vapor, ou plantas binárias, conforme características do recurso geotérmico. As turbinas convencionais a vapor necessitam de água a pelo menos 150°C. As plantas binárias

permitem o aproveitamento de recursos de média a baixa entalpia, utilizando fluido secundário cujo ponto de ebulição é consideravelmente inferior ao da água.

4. AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE ENERGIA GEOTÉRMICA

O transporte difusivo de energia, ocorre da translação de átomos com maior vibração para aqueles com menor vibração. A advecção ocorre do desprendimento dos átomos da região da camada limite para o meio, onde trocam calor com os átomos desta região (BIRD, et al. 2004). O modelo tem por objetivo o equacionamento teórico com solução aproximada entre a temperatura da rocha seca encontrada no sítio e os parâmetros de operação do fluido geotérmico como forma de obter estimativas de temperaturas de produção da fonte geotérmica. A área de troca de calor é expressa apenas pela área envoltória cilíndrica do fraturamento, ao longo da distância entre os poços de injeção e produção.

Parte-se das definições de fluxo de calor, e quantidade de calor, e aplica-se a Lei de Fourier. Daí assumindo-se que a distribuição de calor ao longo do circuito advectivo-difusivo é decrescente, uma aproximação e que a distribuição do acréscimo de calor no percurso é aproximadamente linear (e.g. [1]), $q(x) = -ax + b$). A equação analítica final é a seguinte:

$$T_2 = \frac{T_1 + (2T_{amb} - T_1) \frac{\pi}{\ln \frac{r_{amb}}{R}} \frac{\lambda L}{cM}}{1 + \frac{\pi}{\ln \frac{r_{amb}}{R}} \frac{\lambda L}{cM}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Nesta metodologia são feitas as seguintes considerações: a água circula em uma região definida por fraturas controladas onde independentemente da geometria das fraturas considera-se uma envoltória aproximadamente cilíndrica; o regime de vazão e a fonte de calor permanecem em regime estacionário turbulento; o calor específico da água é desprezível perante a condutividade térmica da rocha, e a condutividade hidráulica do meio geológico não é relevante por considerar-se a vazão como parâmetro de entrada, e o fluxo de calor fornecido pelo meio é constante. Utilizando-se de dados empíricos de campos geotermiais instrumentados disponíveis na literatura, observou-se preliminarmente uma distribuição assintótica dos valores de T2 em função da vazão mássica (Eq. 1, Fig.1).

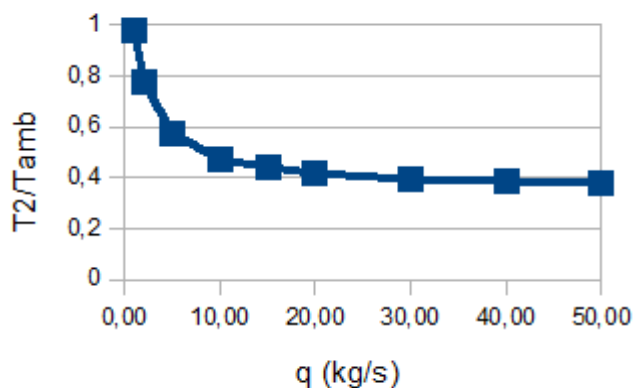


Figura 1 - Comportamento da temperatura de produção (T_2/T_{amb}) em função da injeção de água a temperatura $T_1/T_{amb}=40\%$ e vazão (q) em um granito típico.

Espera-se com este estudo abstrair o elenco mínimo de parâmetros e variáveis intervenientes na estimativa da troca de calor entre o fluido e o meio geológico. Também obter estimativas da capacidade de uma fonte geotérmica para geração de energia elétrica, aplicando-se o método baseado em transporte de calor advectivo-difusivo na avaliação da troca de calor entre o meio geológico e o fluido geotérmico.

5. AGRADECIMENTOS

À AES Tietê/ ANEEL pelo apoio ao estudo (PD-0064-1018/2010) na categoria de Pesquisa Básica Dirigida, com vigência entre outubro de 2010 e setembro de 2013.

À ANP (Agência Nacional de Petróleo) pela cessão dos relatórios de perfuração de poços sob licença acadêmica para a realização da dissertação de mestrado do geólogo Mário Nascimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRD, R. B.; et al. (2004). **Fenômenos de Transporte**. (pág. 257 a 280) LTC Editora. Rio de Janeiro, 2004.

HAMZA, V. M., et al. (2010) “**Brazil: Country Update**”. In: Roland N. Horne and Nenny Saptadji (Org.) Anais do III World Geothermal Congress. Bali, Indonésia, 25-29 Abril 2010.

TESTER, C. J. W.; et al (2006). **The Future of Geothermal Energy – Impacts of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century**. Massachusetts Institute of Technology, 2006. Disponível em geothermal.inel.gov