

SENSORES REMOTOS APLICADOS À PROSPECÇÃO DE ÁGUAS
TERMOMINERAIS NO MUNICÍPIO DE CALDAS NOVAS - GOIÁS

Paulo Veneziani e Célso Eustáqui dos Anjos
Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

A utilização de sensoriamento remoto para a prospecção de recursos naturais, integrada a métodos convencionais ou não, tem se mostrado de grande importância, principalmente quando se considera a redução dos fatores tempo e custo. A região de Caldas Novas, desde há muito conhecida por suas águas termominerais, foi objeto de estudo pelos autores, que tiveram por finalidade, em trabalho anterior, a prospecção destas águas e, atualmente, pretendem mostrar dados que comprovam a validade da pesquisa. Será exposta uma síntese da mesma e ênfase maior será dada aos resultados. Após a interpretação de imagens LANDSAT na escala 1:1.000.000 com a intuito de situar a região no contexto geológico regional, seguiu-se o desenvolvimento de uma metodologia, a qual se intitulou termometria e que, aliada à verdade terrestre, na escala 1:60.000, possibilitou a delimitação de áreas termalmente anômalas. Em maio de 1978, foi feita uma visita à área, para comprovação da eficácia dos métodos utilizados.

ABSTRACT

The utilization of remote sensing for natural resources prospecting integrated or not with conventional methods have been shown to be much value, especially when time and cost are considered. The Caldas Novas thermomineral water region has been known for a long time. The authors have studied this region with the purpose of locating additional thermomineral water sources. On objective of this work is to show the effectiveness of the method employed. LANDSAT imagery of the region were studied allowing the placement of the area of study in the regional geological context. A geological mapping in the 1:60.000 scale was done. A methodology was developed which consisted in a regional temperature mapping using methodology was developed which consisted in a regional temperature mapping using trend surface analysis. Through the correlation of all these data, four different areas were localized with a high potential as thermomineral sources.

1. INTRODUÇÃO

Em meados do ano de 1975 foi firmado um contrato entre o INPE e a GOIASTUR, visando a execução, pelo INPE, de um projeto cujo objetivo principal era a prospecção de águas termominerais no município de Caldas Novas, Goiás.

A área de estudos, compreendida entre os paralelos $17^{\circ} 58' 08''$ e $17^{\circ} 41' 40''$ de latitude sul e limitada a We E pelos rios Piracajuba e Corumbã, respectivamente, abrange cerca de 1000 km^2 . Apesar de conhecida desde o final do século XVI, por suas águas termais, esta área permanece até os dias atuais, carente de estudos mais detalhados.

Os autores ao proporem o presente trabalho, visaram aplicar técnicas de sensoriamento remoto, aliados a métodos convencionais, numa tentativa de agregar dados já disponíveis e abrir perspectivas novas, em termos de prospecção de águas termominerais, sem contudo, se preocuparam em elaborar um trabalho que pudesse ser considerado definitivo, para a região.

Deste modo, baseando-se em trabalho de Hase (1971), desenvolveram uma metodologia, a qual intitularam termometria e que, aliada a métodos convencionais, forneceu resultados amplamente satisfatórios, pois de 14 novos poços, perfurados até maio de 1978, dez forneceram águas quentes, dois, lamas quentes e os restantes resultaram estéreis.

2. METODOLOGIA

O trabalho, durando cerca de 12 meses, teve duas etapas de campo (Setembro de 75 a Maio de 76), sendo a primeira, de levantamento regional e a segunda de detalhe.

2.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO

Inicialmente, fizemos uma pesquisa bibliográfica e a interpretação de imagens LANDSAT, na escala 1:1.000.000 com o intuito de situar a área de pesquisas no contexto geológico regional. A seguir, com a utilização de fotografias aéreas convencionais, na escala 1:60.000, elaboramos um mapa geológico da área de interesse.

2.2 - TERMOMETRIA

Hase (1971), ao estudar duas áreas dos Estados Unidos, nos estados da Califórnia e Wyoming, tendo em vista o comportamento do fluxo de calor geotermal na superfície, pretendeu verificar a viabilidade de utilização de um Scanner termal aeroportado para detectar as anomalias térmicas. Com base neste autor, tentamos estabelecer uma metodologia semelhante para a região de Caldas Novas.

A temperatura da superfície é basicamente dependente da energia solar. Praticamente 99,97% da energia calorífica requerida nos processos que se desenvolvem na interface solo-atmosfera, é fornecida pela radiação solar.

A energia calorífica geotermal é chamada de fluxo de calor e é proveniente das zonas sub-superficiais em direção à superfície.

Existem três tipos de flutuações da temperatura na superfície: as variações diurnas, as anuais e as não periódicas. Neste trabalho, houve preocupação apenas com as primeiras, já que as medidas seriam realizadas em um período determinado, de cerca de um mês.

O fluxo de calor geotermal na superfície, como já foi visto, é influenciado pelo forte aquecimento por insolação. Portanto, às vezes, pode ser completamente mascarado. Mas nesta pesquisa, não pretendemos medir o fluxo propriamente dito e sim diferenças de temperatura, supondo que estas estariam diretamente ligadas à existência de lençóis termominerais. Consideramos então, os seguintes fatores:

- Adequação dos instrumentos de medidas de temperatura e homogeneidade dos materiais que iriam ser medidos;
- Estabelecimento de uma profundidade em que a influência do aquecimento por insolação fosse minimizado, e de um horário para efetuar as medidas;
- Estabelecimento de uma distribuição regular de estações de medidas.

Observando a Figura 1 podemos notar que no horário das 6:00 horas e à profundidade de cerca de 40 cm, a influência da energia solar é minimizada. Estas medidas foram efetuadas com thermistors, que

forneem temperaturas em graus Celsius, adaptados a tubos de PVC (Hase, 1971). Como, para o trabalho em Caldas Novas, interessavam medidas a uma profundidade determinada e não a variação da temperatura com a profundidade, utilizamos termômetros de solo R - FUESS, de 50 cm, que fornecem medidas em Graus Célsius, num intervalo de -15° a $+50^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$.

Inicialmente realizamos um teste que consistiu no registro das temperaturas, de um local em que era conhecida a ocorrência de água quente e de outro, sabidamente estéril. Constatamos que seria possível observar, de modo satisfatório, diferenças nas temperaturas.

Consideramos então o solo, originado da alteração dos xistos que predominam na região, como homogêneo do ponto de vista da condutividade térmica e passamos ao levantamento de dados para análise do comportamento regional das temperaturas (Setembro de 1975).

A distribuição dos pontos, nesta primeira etapa foi estabelecida em função do tempo disponível e das vias de acesso, sendo procurado na medida do possível, realizar perfis radiais à Serra de Caldas, guardando uma distância de 3 km entre as estações. Ao mesmo tempo, nos mesmos pontos, realizamos medidas superficiais, com um termômetro radiométrico PRT - 5, que fornece leituras em graus Celsius, num intervalo de -20°C a $+75^{\circ}\text{C}$ e com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$.

Todas estas medidas foram realizadas no intervalo de tempo entre 5:00 e 6:30 hs, previamente estabelecido.

De posse destes dados, optamos por um tratamento estatístico matemático, para a obtenção de mapas de comportamento da temperatura. Quatro áreas termalmente anômalas foram delimitadas e denominadas Caldas Novas, Córrego Tucum, Pousada do Rio Quente, e Lagoa Pirapetinga.

Iniciamos a segunda etapa de trabalhos de campo em Maio de 1976, obedecendo praticamente à mesma metodologia, com o intuito de detalhar estas quatro áreas. Englobamos as mesmas, dentro de quadriláteros onde estabelecemos uma distribuição regular de pontos, com as distâncias entre estes, variando entre 300 m, para a menor e 600 m, para a maior.

Novamente aplicamos o tratamento estatístico matemático e obtivemos mapas de comportamento de temperatura.

2.3 - ANÁLISE DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA

O programa de Análise de Superfícies de Tendência é um método de análise regressiva múltipla, tridimensional, que permite construir, analiticamente, uma série de superfícies teóricas, ajustadas através do método dos mínimos quadrados, e que tem por objetivo caracterizar a tendência regional dos valores observados. Foi utilizado para a interpretação dos dados termométricos, tanto de superfície como sub-superfície. É aberto aqui um parêntesis, para citar que, devido a problemas técnicos, na segunda etapa não foram realizadas medidas de superfície.

A interpretação dos dados tratados por um programa de Análise de Superfícies de Tendência, de um modo geral, obedece aos seguintes passos:

- a) Verificar o grau máximo a ser utilizado, isto é, o número de pontos amostrados deve ser maior ou igual a três vezes o número de termos do polinômio;
- b) Fazer a distribuição de pontos na área de estudos de maneira mais regular possível;
- c) Analisar parâmetros estatísticos tais como, variância, coeficientes de determinação e correlação, percento da soma total dos quadrados e verificação interna dos parâmetros "S" e "F". Todos estes parâmetros saíram impressos, juntamente com os mapas das superfícies de graus 1 a 8, sendo este fato um dos recursos do programa utilizado;
- d) Calcular os valores residuais. Entende-se por resíduos a diferença entre os valores computados e os valores reais. É evidente que quando o resultado desta diferença for positivo, significará um valor anômalo, em relação ao comportamento regional. Desta forma, foi possível delinear os mapas de anomalias, que indicariam as áreas mais promissoras.

Esta técnica foi aplicada aos dados termométricos, obtidos na primeira etapa de trabalhos (regional). A partir dos resultados iniciais e em função destes, realizamos a segunda etapa, procurando-se assim, um refinamento, uma otimização, para cada área anômala.

2.4 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE CAMPO

Ao mesmo tempo em que foram feitos os levantamentos termométricos, dados geológicos foram obtidos, com ênfase na parte estrutural, pois, sendo a região constituída por rochas cristalinas, os aquíferos normalmente estariam controlados por estruturas. Este levantamento seguiu as linhas convencionais empregadas no campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros geológicos, obtidos através de produtos de sensores remotos e trabalhos de campo, posteriormente integrados aos dados termométricos, forneceram o embasamento para que o objetivo proposto fosse alcançado.

As imagens LANDSAT, na escala 1:1.000.000, forneceram, após interpretados através de métodos convencionais, uma visão global da geologia de partes do Triângulo Mineiro e Sudeste de Goiás, onde está situada a região do município de Caldas Novas. Foi observada uma continuidade nos lineamentos NW - SE que se estendem em longa faixa, nas bordas nordeste da Bacia do Paranã onde se localizam importantes intrusões com Araxã, Catalão I e II, Patrocínio e outras, bem conhecidas na literatura.

Com a interpretação de fotografias aéreas convencionais, na escala 1:60.000, trabalhos de campo e apoio bibliográfico, foi possível confeccionar um mapa geológico, na escala acima referida, da área

de interesse. Basicamente adotamos a mesma coluna estratigráfica do Projeto Goiânia (DNPM, 1968), colocando, na base, duas unidades do Grupo Araxã, seguidas por rochas do Grupo Canastra, todas do Pré Cambriano superior, e finalmente as coberturas Terciário - Quaternários.

A primeira unidade majormente quartzítica, está sotoposta a muscovita-quartzo-xistos que constituem a litologia predominante da segunda unidade do Grupo Araxã. Lentes anfibolíticas e calcárias, pouco expressivas, intercalam-se nesta.

As rochas do Grupo Canastra, são predominantemente biotita - muscovita - quartzo-xistos e sobrepõem-se às seqüências anteriores. Encontram-se pacotes quartzíticos de pequena espessura, constituindo intercalações.

As coberturas Terciário-Quaternários são principalmente detrito-lateríticas e aluvionares.

Duas fases de dobramentos são bem distintas. A primeira, mais antiga envolve a unidade superior de Grupo Araxã e os micaxistos do Grupo Canastra. A segunda, envolvendo todas as rochas pré-cambrianas, mostra grandes anticlinais e sinclinais, cuja feição de maior destaque é a Serra de Caldas, com a forma de um braquianticlinal. A direção preferencial de eixos é NNW - SSE, com os planos axiais mergulhando para ENE.

Destacam-se dois sistemas de falhamento na área, com direções para NE-SW e NW-SE, em torno de 60° . São, principalmente, transcorrências dextrais e falhas verticais. O fraturamento é bem desenvolvido e, ao lado dos falhamentos, constitui-se no principal sistema de controle dos aquíferos estudados.

Como já foi dito, integramos estes dados, com os resultados da Análise de Superfícies de Tendência. Estes, por sua vez, consistiam em mapas onde era mostrado o comportamento regional das temperaturas. A partir destes, eram construídas as curvas residuais, que mostravam as áreas termalmente anômalas. Assim, para a primeira etapa, envolvendo toda a região do município estudada, obtivemos resultados relevantes, como:

- Destaque para quatro áreas termalmente anômalas, já citadas anteriormente, sendo que somente na área do Córrego Tucum não se conhecia ocorrência de águas termominerais;
- Uma concordância entre os mapas de anomalias regionais residuais, tanto para as medidas de subsuperfície como para as de superfícies, mostrando assim, uma viabilidade de aplicação de um imageador termal aeroportado, já que a diferença entre as temperaturas máximas (25°C) e mínima (17°C), é suficiente para ser detectada;
- Um relativo aumento de temperaturas em relação a Serra de Caldas.

Aplicando os mesmos procedimentos, para os dados termo
métricos da segunda etapa de trabalhos, isto é, no detalhamento das
quatro áreas anômalas detectadas, foram obtidos os resultados mais sig-
nificantes. Estes são apresentados em escala ampliada de 1:15.000. As
curvas residuais foram traçadas com um intervalo de $0,5^{\circ}$ Celsius, e fo-
ram consideradas anomalias positivas as zonas a partir de $+0,5^{\circ}$
Celsius.

Em maio de 1978, os autores visitaram a área de Caldas
Novas, quando tiveram a notícia da perfuração de 14 novos poços
(mapa 1).

Observações in loco e informações obtidas de proprietá
rios mostram as seguintes características gerais, sobre estas perfura
ções, realizadas nas áreas indicadas:

- Nove poços com vazões entre 10.000 e/h e 80.000 e/h, apresen-
tando antesianismo, com profundidade variando entre 80 m e 250 m
e temperaturas variando entre 33°C e 41°C ;
- Dois poços perfurados até uma profundidade de cerca de 400 m,
fornecendo lama quente;
- Um poço com vazão aproximada de 40.000 l/h, fornecendo água
sulfurosa, com profundidade de 280 m e temperatura de 29°C ;
- Dois poços, sendo que um em perfuração, até a data da visita e
o outro estéril.

Como toda a água termomineral da região é explorada apenas com fins turísticos, não há dados hidrogeológicos, que seriam necessários para um melhor controle e racionalização da exploração, bem como para uma melhor compreensão de comportamento quantitativo e qualitativo das redes aquíferas. Entretanto, não se pode negar os aspectos positivos da pesquisa, em vista dos resultados alcançados apesar de apenas uma, das 4 áreas sugeridas, ter sido explorada (até Maio de 78).

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, E.; MATTOS, J.T.; FILHO, R.A.; CUNHA, R.P. da; PARADELLA, W.R.
Carta Geológica ao Milionésimo da Folha de Belo Horizonte com Base na Interpretação de Imagens LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1976. No prelo.
- ANJOS, C.E. dos; VENEZIANI, P. *Aplicação de Sensoriamento Remoto no Estudo de Anomalia Geotermal no Município de Caldas Novas - Goiás.* Tese de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1977.
- ANJOS, C.E. dos; VENEZIANI, P. Sensores Remotos Aplicados à Prospecção de Águas Termominerais no Município de Caldas Novas - Goiás. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, XXX, Recife, 1978. Anais. Recife, Soc. Bras. Geol., 1978. V. 2, p. 271 - 275.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) *Goiânia: Geologia da Região Sul de Goiás - Folha SE 22 h - escala 1:250.000.* Goiânia, DNPM/PROSPEC, 1968.
- HASE, H. Surface Hot Flow of Geothermal Resources. In: *Seventh International Symposium on Remote Sensing of Environment, Proceedings*, Kawesak, 1971. Geological Survey of Japan, 1971. V. 1, p. 237-245.
- MERRIAN, D.F.; HARBAUGH, V.W. *Computer Applications in Stratigraphic Analysis.* New York, John Wiley, 1968.

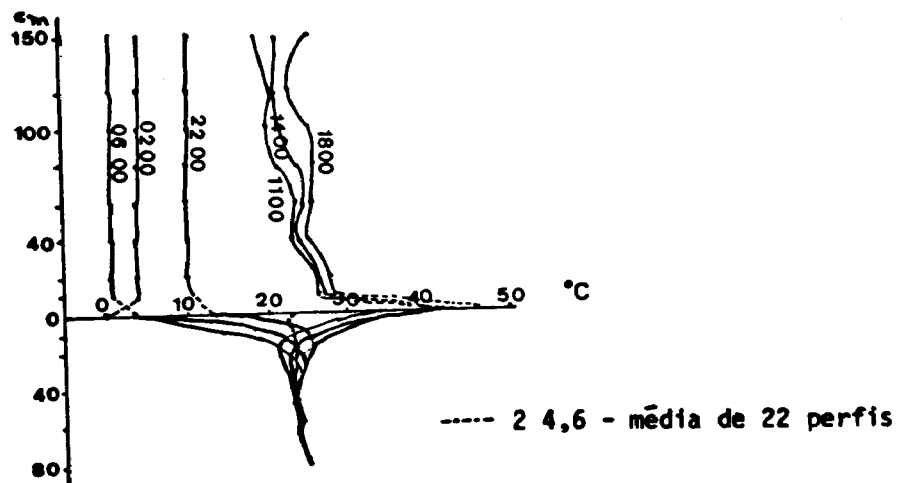


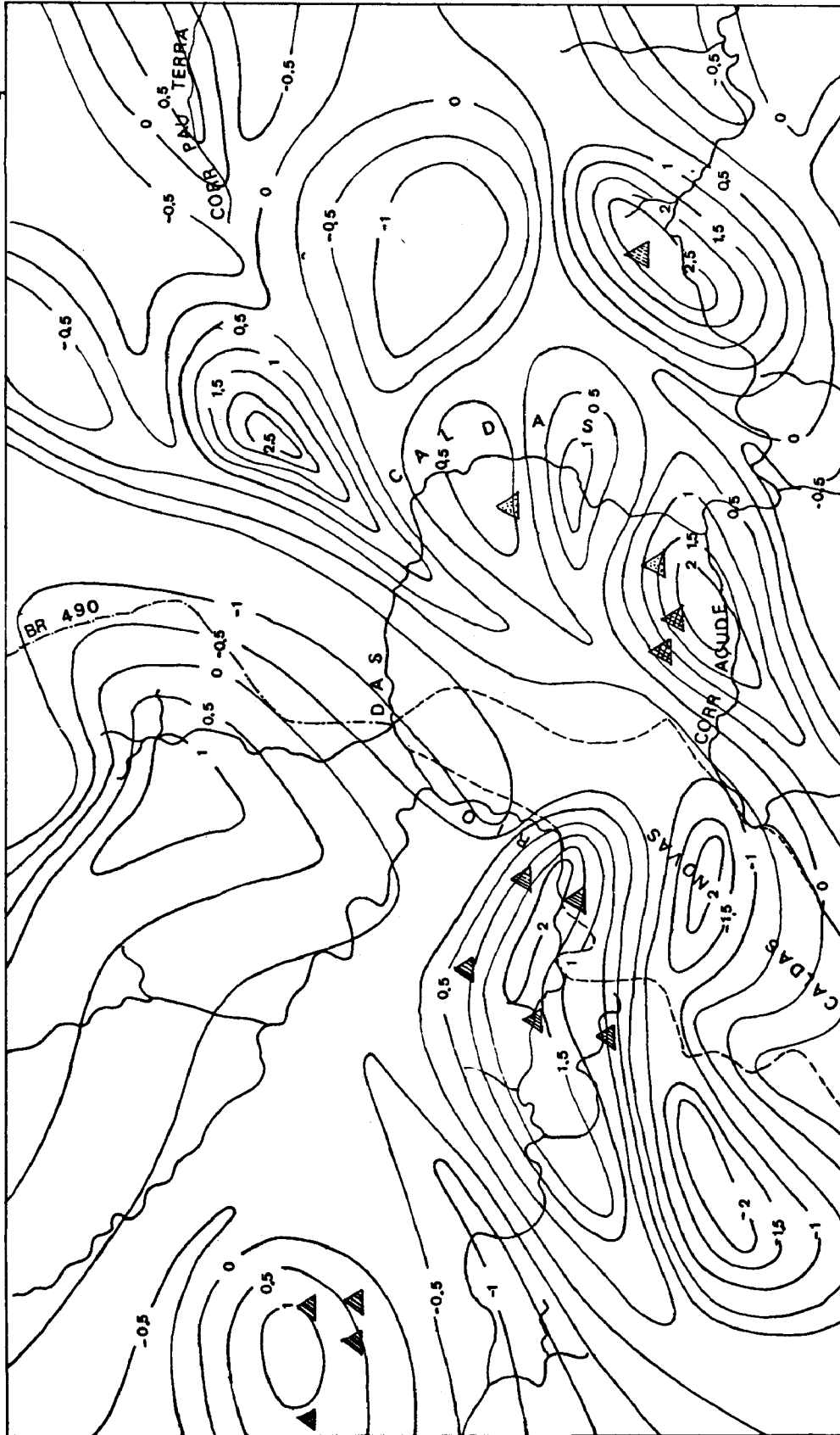
Fig. 1 - Gráfico de medidas de temperatura em solo constituído de areia de granulação média a fina. Essas medidas foram tomadas durante os dias 27 e 28 de maio, sob condições de tempo claro, no horário entre 2:00 hs e 22:00 hs na região de Mono Lake, California por Hase, H. (1971).

Como se pode observar no gráfico, a variação de temperatura abaixo de 30cm de profundidade não sofre influências consideráveis, do aquecimento por insolação.

MAPA DE ANOMALIAS TERMAIS

AREA DA CIDADE DE CALDAS NOVAS

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE-CNPq



ESCALA 1 15 000



- Anomalia positiva 0,5°C
- Poços de Água Termomineral Temp. - 330 - 41°C
- Lama Quente
- Poços Estêreis
- Poço de Água Sulfurosa Temp. - 29°C
- Cidade
- Drenagem
- Rodovia

