

## CAPÍTULO 5

### 5. Metodologia

Podemos selecionar um método geofísico particular, da mesma maneira que decidimos olhar apenas os atributos particulares de um artefato, ou seja, pensamos que tais atributos são importantes para responder nossas questões de pesquisa. No caso da geofísica, entretanto, não estamos apenas lidando com atributos dos artefatos ou sítios que foram feitos pelo homem ou selecionados pelo homem, mas com propriedades físicas ou físico-químicas, em subsuperfície, que achamos que foram influenciadas pelas atividades humanas.

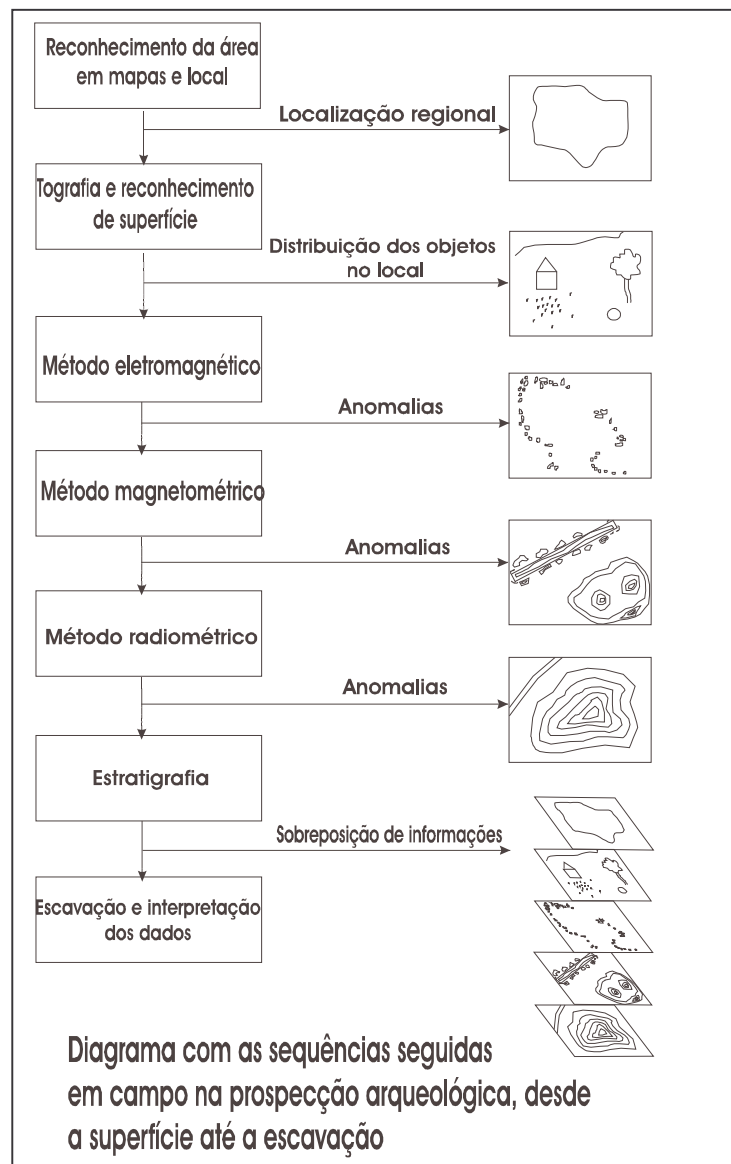
SMEKALOVA *et al.* (1993), sugerem a construção de um Modelo Físico-Arqueológico (MFA) da estrutura sob investigação. Este modelo envolve a distinção de um número de corpos de formato com geometria regular cujas dimensões, localização, forma, e características físicas poderiam simular objetos arqueológicos reais com algum grau de precisão e criação de campos físicos que são produzidos por um modelo físico arqueológico. Desse modo, pode-se avaliar a eficiência de um método geofísico particular para uma dada estrutura. Uma vez escolhidas as propriedades físicas, poderíamos selecionar o método. Isso inclui questões de custo, equipe, logística, condições de sítio, etc. Apesar destas outras considerações algumas vezes estarem em primeiro lugar na escolha de um método, teremos resultados confusos se não pudermos relacionar nossos alvos arqueológicos com as variações nas propriedades físicas medidas.

#### 5.1. Fases seguidas nas investigações Geofísica – Arqueológicas

- Estudo da região, permitindo identificar os sítios para melhor aplicação dos métodos e procurando criar um contexto comum de aplicação regional;
- Prospecção do sítio, que compreende a definição de áreas específicas de escavação através da aplicação dos métodos geofísicos e o planejamento de algumas hipóteses sobre seu funcionamento através de escavações;
- Confirmar as anomalias obtidas através do resultado da prospecção e estabelecer uma cronologia entre os diversos níveis de ocupação, se ocorrerem.



Para obter estas informações é necessário combinar técnicas em uma seqüência ordenada de levantamento (Figura 5.1). Esta seqüência objetiva obter o maior número de informação sobre um sítio arqueológico, evitando a destruição do contexto e economizando tempo e dinheiro.



**Figura 5.1.** Fluxograma mostrando a seqüência geofísica metodológica aplicada aos sítios arqueológicos estudados neste trabalho, evitando a destruição do contexto, ajudando o arqueólogo na otimização de seu trabalho.

Antes de dar início à aplicação de métodos geofísicos foi feito um trabalho regional de identificação e seleção de alguns sítios que apresentaram melhores características para a aplicação dos métodos, baseado nas espessuras dos estratos, nos tipos de ocorrência de materiais, na espessura das camadas conchíferas, na localização geográfica, na proximidade de drenagens, nas altitudes, nível freático, tipo de solo, percentagem de argilas entre outras características principais.

Os dados aqui tratados foram gerados através de levantamentos terrestres sobre os montes de conchas (sambaquis), onde se utilizou os métodos geofísicos eletromagnético (EM38) e gamaespectrométrico (GS 512).

A maior importância da fotografia aérea é sua capacidade de abranger grandes extensões em uma simples imagem. Com isso, podem-se estabelecer correlações entre lugares que são impossíveis de observar no nível do solo. Nas fotos aéreas também se podem observar padrões de distribuição que facilitam a detecção e delimitação de possíveis sítios de estudo.

## **5.2. Levantamentos geofísicos**

Atualmente a geofísica é uma ciência multidisciplinar que além de auxiliar em estudos geológicos (mineração, petróleo e hidrogeologia), possui também aplicabilidade em áreas como engenharia civil, meio ambiente e arqueologia. É grande a importância das novas técnicas geofísicas e dos novos equipamentos de prospecção na arqueologia moderna. A cada dia, as possibilidades de aplicá-los aumentam com o uso de novos equipamentos aperfeiçoados como, por exemplo, os equipamentos eletromagnéticos, que medem a susceptibilidade e a condutividade de materiais em intervalos pequenos.

Os métodos geofísicos podem ser divididos em duas áreas distintas:

- (1) métodos com fontes passivas (*campo natural*), que medem as variações das propriedades físicas naturais do meio. Como exemplo, têm-se o magnetismo, susceptibilidade, gravidade, radioatividade, etc.
- (2) métodos com fontes ativas (*campo induzido*), que produzem alterações no meio para medir o comportamento do terreno. Como exemplo, têm-se os métodos: elétricos, eletromagnéticos, sísmico, etc.



Os métodos geofísicos podem ser usados para busca de estruturas de diversos tipos e com diversas propriedades físicas, alguns também vêm sendo usados na pesquisa arqueológica, abaixo citados:

1 - **Método magnético:** É um método conhecido há muito tempo. O instrumento utilizado nas pesquisas geofísicas é o magnetômetro, com o qual se determina o campo magnético dos materiais. A fonte natural do campo magnético é a própria Terra. Mudanças locais no campo magnético terrestre resultam de variações no conteúdo mineral magnético de rochas próximas da superfície. No caso de estudos arqueológicos, o interesse não é por rochas, mas sim por restos de materiais ferrosos e materiais líticos magnetizáveis enterrados, que também causam anomalias magnéticas. Normalmente esses líticos ou fogueiras são originados de restos de materiais ferrosos, e uma vez que são soterrados a alguma profundidade (alguns poucos metros) agem como fonte de anomalia magnética.

2 - **Métodos eletromagnéticos de alta frequência (GPR):** A técnica de radar de penetração no solo (*Ground penetrating radar - GPR*) oferece uma nova forma de investigação de condições geológicas, arqueológicas e geotécnicas rasas. O radar produz uma onda eletromagnética de alta frequência (10-1000 MHz) que é transmitida ao solo, onde a propagação do sinal depende das propriedades elétricas dos materiais existentes. Mudanças das propriedades elétricas do meio geológico fazem com que parte do sinal transmitido e refletido. O sinal refletido é detectado por um receptor onde é amplificado, digitalizado e armazenado, para ser processado e transformado em registro (radargrama). O GPR oferece a possibilidade de mapeamento com alta resolução de feições e estruturas arqueológicas desde que estas não estejam associadas a altos teores de argila ou quantidades muito insignificantes de material para contrastar no meio. Em estudos arqueológicos o GPR tem sido aplicado no mapeamento detalhado de estruturas, topografia do topo rochoso e profundidade do nível d'água. Esta linha mostra grandes perspectivas de utilização para a arqueologia, muito embora não tenha sido ferramenta de estudo neste trabalho devido suas limitações quando na utilização em terrenos com altos teores de argilas que servem como isolantes de propagação de corrente eletromagnética.

3 - **Métodos eletromagnéticos de baixa frequência (EM38):** Os métodos eletromagnéticos envolvem a propagação de campos eletromagnéticos de baixa frequência (abaixo de 1 MHz) e baseiam-se nos fenômenos físicos de eletricidade e magnetismo.



Quando uma corrente elétrica passa por uma bobina, é gerado um campo magnético nas vizinhanças dessa bobina. A corrente fluindo na bobina cria um campo eletromagnético primário nas proximidades da bobina, que causa o fluxo de correntes secundárias em qualquer condutor presente. As correntes secundárias, ao fluírem pelo condutor criam um novo campo, o campo magnético secundário, que traz consigo informações sobre o condutor. Esse processo é conhecido como indução eletromagnética. Os equipamentos no método eletromagnético indutivo podem ser denominados genericamente de condutivímetros. O condutivímetro é composto de duas bobinas (emissão e recepção). A bobina transmissora emite um campo magnético primário, que induz, em subsuperfície, correntes elétricas, que geram um campo secundário, como visto anteriormente. A combinação destes dois campos é medida pela receptora, e o equipamento é construído de forma a fornecer a leitura direta da condutividade.

4 - **Método elétrico:** Criado entre 1910 a 1920, inicialmente com a modalidade de quatro eletrodos. A fonte artificial de energia é a eletricidade. O método determina a resistividade dos materiais em relação a corrente. Por exemplo, os metais são grandes condutores de eletricidade. Esse método geofísico emprega uma corrente elétrica artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos nas proximidades do fluxo de corrente. As relações entre corrente elétrica, potencial elétrico e disposição geométrica dos eletrodos no terreno permitem calcular a resistividade real ou aparente em subsuperfície. O parâmetro resistividade é o inverso da condutividade elétrica, e pode ser considerado como a resistência dos materiais em conduzir a corrente elétrica. A resistividade de solos e rochas é afetada principalmente por quatro fatores: a) composição mineralógica; b) porosidade; c) teor em água; d) quantidade e natureza dos sais dissolvidos.

5 - **Método gravimétrico:** Este método determina os contrastes de gravidade existente na zona de estudo. O instrumento de medida usado é o gravímetro. Os gravímetros são aparelhos muito sensíveis capazes de estimar variações de gravidade, densidade e compactação de meio. A fonte geradora do campo gravimétrico é a própria Terra variando a gravidade de acordo com as alterações de densidade de cada rocha. Não é recomendado para a arqueologia pois, sua sensibilidade detecta corpos métricos.



**6 - Método sísmico:** Baseado na propagação de ondas elásticas pelo interior da Terra é a ferramenta mais potente para o conhecimento da estrutura interna do planeta (Sismologia). Quando se aplica uma força (de compressão ou distensão) em um sólido, suas partículas se comprimem e distendem transmitindo o movimento para as partículas adjacentes, que deste modo oscilam e propagam a perturbação de modo contínuo, atenuando-se (perdendo amplitude de oscilação e velocidade de propagação) com a distância percorrida desde a origem. Utiliza-se dois principais modelos de propagação das ondas: método de refração (ondas refratadas), método de reflexão (ondas refletidas). Recentemente foram vistos alguns relatos de sua aplicação na delimitação de feições arqueológicas (Sísmica rasa).

Cada um dos métodos acima citados tem suas limitações, na hora de aplicá-lo para um caso determinado deve-se saber qual é o mais indicado em relação às características físicas do elemento a ser buscado e seu entorno (ruídos ambientais, profundidade do objeto, contraste dos materiais no entorno, tipo de solo).

Por exemplo, não se aplicará um mesmo método para buscar um muro de pedras enterrado em um solo arenoso e um sepultamento em solo areno-argiloso. Sendo recomendados os métodos magnético e eletromagnético para o localização do muro de pedras caso este tenha em sua composição minerais magnéticos e gamaespectrométrico (caso de altas concentrações de  $\text{CaCO}_3$ ) ou GPR para feições mais superficiais.

### **5.3. Aplicação dos métodos Gamaespectrométricos e Eletromagnéticos**

Foram selecionados dois métodos geofísicos com os quais trabalhamos a capacidade de emissão de radiação gama e eletromagnetização, existem outras propriedades físicas que podem ser exploradas através de diferentes métodos de investigação. Optamos por estes dois métodos em função da formação composicional dos sítios, acreditamos apresentarem melhores resultados de contraste quando na concentração de  $\text{CaCO}_3$  e magnetização de altas concentrações de líticos, cerâmicas ou materiais de combustão.

#### **5.3.1. Gamaespectrométricos**

O levantamento gamaespectrométrico foi realizado com um gamaespectrômetro de 512 canais (GS-512, fabricado pela Scintrex/Geofyzika), realizando leituras em 3 sítios,



espaçadas de 2 metros, ao longo das linhas de malha. As leituras foram tomadas em contagens por segundo e automaticamente transformadas em contagens de K(%), de eU e eTh em ppm, com base em procedimento de calibração realizado no Instituto de Radiometria e Dosimetria-IRD, da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, RJ. Os resultados finais são apresentados após a remoção do *background* atmosférico para cada canal, ou seja:  $K(\%)=0$ ;  $U=0,1$  ppm e  $Th=1,8$  ppm, realizada sobre lâmina d'água superior a um metro.

A interpretação do conjunto de dados observados foi realizada com requisitos computacionais simples, de forma rápida e eficaz, tratando-se de baixos radiométricos (concheiros). Os dados obtidos nos levantamentos são considerados poucos em relação ao método eletromagnético e, normalmente, não permitem um detalhamento na interpretação. Os dados de gamaespectrometria foram analisados e interpretados baseados em critérios de análise arqueológica e estrutural, utilizando imagens computacionais de mapas bidimensionais dos elementos potássio, urânio, tório, e contagem total sobrepostos ao modelo digital de terreno (topografia). O resultado desta interpretação foi um mapa de unidades gamaespectrométricas em planta.

### **5.3.2. Eletromagnéticos**

O levantamento eletromagnético foi realizado através de um resistivímetro, fabricado pela Geonics, realizando leituras nos 3 sítios, espaçadas de 0,5 ou 1 metro, ao longo das linhas de malha. O EM 38 mantém um espaçamento de 1 m entre a bobina transmissora e a bobina receptora localizada no final do instrumento, operando com uma frequência de 14,6 KHz. Com um estágio de leitura digital em miliSiemens por metro (mS/m). A utilização de um gravador de dados (*dataloger*) permite o armazenamento dos dados digitais em computador, utilizando para isso um programa de computador (Anexo 04, 05 e 06). O EM38 pode ser operado em dois modos de medidas: o modo dipolo vertical (Orientação das bobinas na vertical), promove medidas em profundidade de 1,5 metros, o modo dipolo horizontal (Orientação das bobinas na horizontal, equipamento deitado), permite leitura de 0,75 metros de profundidade (Figura 5.2). A média de sua leitura lateral é aproximadamente igual a da medida de profundidade. O instrumento responde a condutividade variada da terra através de uma função não linear. São gerados campos



elétricos circulares horizontais em direção ao solo. A corrente gerada é proporcional a condutividade de cada camada do solo. A soma das correntes individuais, em função da profundidade gera a resposta do instrumento. Se uma camada tiver maior condutividade, terá um resultado maior no instrumento.

Estas características permitem a produção de grande quantidade de dados que podem ser usados na interpretação de detalhes sutis existentes em subsuperfície. Diferentes configurações de fonte / receptor podem ser usadas permitindo seu uso em uma grande variedade de levantamentos arqueológicos. Permitindo grande flexibilidade em customizar problemas particulares nos sítios

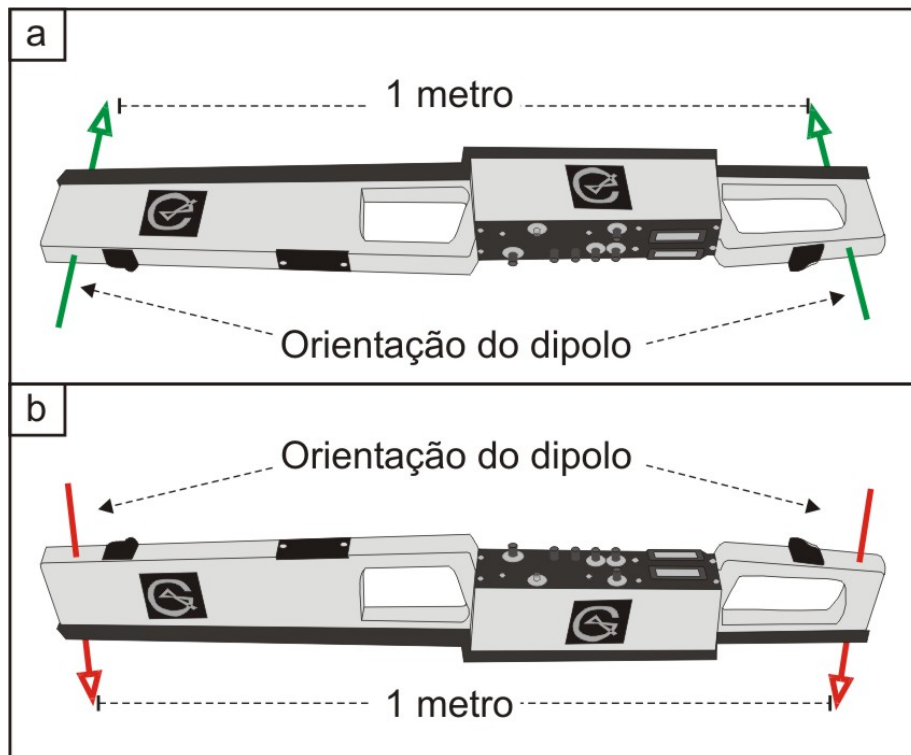


Figura 5.2. Orientação do equipamento EM38, nas posições Horizontal (a - seta verde) e Vertical (b - seta vermelha) (BORGES & PORSANI, 2003).