

4 Conclusões

4.1. Casos Estudados

Foram analisados dados relativos a investigações geotécnicas com fins em obras lineares, em especial, um túnel e três perfurações direcionais horizontais para instalação de dutos. Em todos os casos, lançou-se mão dos chamados métodos indiretos de investigação, que, em conjunto com métodos diretos, permitem uma investigação contínua do subsolo, com custos mais baixos e de forma não destrutiva.

O túnel estudado foi projetado para que um duto pudesse ultrapassar a Serra do Mar, minimizando os impactos sobre o parque estadual de mesmo nome, no estado de São Paulo. Neste caso, o uso de métodos indiretos se mostrou necessário por conta das profundidades envolvidas, bem como aspectos de ordem legal e ambiental que impediam o acesso de máquinas de sondagem à área do parque. Embora, ao longo da diretriz do túnel, o método geofísico utilizado não tenha alcançado a profundidade de projeto, a boa correlação do mapeamento geológico com a investigação indireta faz inferir que há continuidade, em profundidade, das feições observadas em superfície. Estas informações direcionaram uma separação do maciço em trechos, de acordo com a classificação de Bieniawski, visando a quantificação do suporte necessário bem como o prazo para a escavação.

Os estudos geofísicos realizados no emboque inicialmente faziam supor que haveria cerca de 350 metros de escavação em solo. Esta informação foi inferida a partir da pouca inclinação do topo rochoso, identificado pela sísmica de refração, mas especialmente por conta de uma anomalia de alta condutividade apresentada pelo caminhamento elétrico realizado. Zonas de alta condutividade costumam estar associadas a material argiloso e saturado. No entanto, a existência desta anomalia instigou a realização de uma sondagem direta horizontalizada, aproximadamente na diretriz do túnel, cujo principal resultado foi reduzir a

estimativa de maciço tipo V para 210 metros. A anomalia, que se supunha indicar solo, na realidade correspondia a material rochoso intercalado a material terroso, na presença de água. A possibilidade de realização da investigação direta em fase posterior à interpretação da geofísica permitiu a correta interpretação do dado indireto.

Os casos de HDD estudados dividiam-se em dois grupos: um estudo detalhado, em que foi utilizada uma combinação de métodos indiretos, cuja perfuração ainda não foi realizada; e outras duas investigações, mais restritas em área de abrangência bem como disponibilidade de recursos, cujas perfurações foram realizadas com sucesso.

O estudo para travessia do Rio Paraíba do Sul por um duto de 18 polegadas utilizou uma combinação de três métodos indiretos, com aquisição em malha, bem como algumas sondagens diretas igualmente espaçadas ao longo da diretriz prevista para o duto, com o intuito de apoiar a interpretação. Os métodos indiretos obtiveram bons resultados em conjunto, permitindo o desenvolvimento de um bom modelo de subsuperfície. No entanto, individualmente os métodos utilizados em terra tiveram sucesso em mapear características diferentes daquelas imaginadas inicialmente e, caso se tivesse optado por apenas um dos métodos, abrindo mão de determinada informação por outra, o detalhamento obtido teria sido insuficiente. Este caso nos mostra como o uso de vários métodos geofísicos em conjunto pode resultar em benefício para a investigação.

Os rios Mossoró e Carmo são atravessados por diversos dutos, um dos quais precisava ter as travessias substituídas. Por diversos motivos, estes rios não puderam ser estudados de maneira tão detalhada quanto o caso anterior, tendo sido utilizado apenas um método geofísico em terra e outro em lâmina d'água. Também foram realizadas sondagens diretas, com espaçamento de cerca de 50 m, que encontraram rocha calcárea em ambas as travessias. Os modelos obtidos da combinação dos diferentes resultados, ainda que mais restritos, foram relevantes para a execução, cujo prazo (cerca de uma semana cada) foi considerado um sucesso. Infelizmente, a falta de dados detalhados da execução, como avanço da perfuração, pressão de fluido, dentre outros, impede uma análise mais minuciosa da qualidade dos perfis geológico-geotécnicos gerados.

4.2. Fluxograma de Investigação

Com respeito à bibliografia consultada e diante das lições aprendidas com os casos analisados, sugere-se um fluxograma para investigações que coordenem métodos diretos e indiretos de investigações, visando obter dados contínuos sobre o subsolo. Este fluxograma é apresentado na Figura 63.

Cada um dos diversos métodos de geofísica aplicáveis a geotecnia é mais indicado para determinada situação. Neste sentido, a obtenção de dados sobre a área a ser investigada, previamente a realização das aquisições, é imprescindível para a correta programação das investigações. Por isso, o levantamento de dados existentes deve ser a primeira fase de investigação.

Sempre que possível, uma vistoria de campo pelos técnicos responsáveis pela investigação é indicada, para a confirmação ou não dos dados previamente obtidos. Nesta visita, outros detalhes podem ser observados, como facilidade de acesso, possíveis afloramentos rochosos, granulometria predominante do solo, dentre outros.

De posse destes dados, deve ser feita a opção pelos métodos de investigação a serem utilizados, levando-se em conta também a obra de engenharia a ser realizada, a área e profundidade dos estudos e os custos envolvidos. A combinação de métodos deve ser tal que permita uma modelagem adequada do subsolo, através da complementaridade de resultados.

O passo seguinte é a programação propriamente dita, com locação das sondagens diretas e indiretas. Os métodos geofísicos são métodos indiretos e, portanto, sua correta interpretação depende da experiência do profissional, bem como da disponibilidade de dados diretos. A combinação com sondagens diretas é necessária não apenas para que os modelos de subsolo possam ser elaborados, mas para a análise da qualidade da aquisição, por isso é recomendável que algumas sondagens sejam executadas em paralelo à aquisição geofísica. Não se pode esquecer que estes estudos devem ser acompanhados de levantamentos topográficos, pois sem a correção topográfica das seções a interpretação do geofísico não será tão confiável.

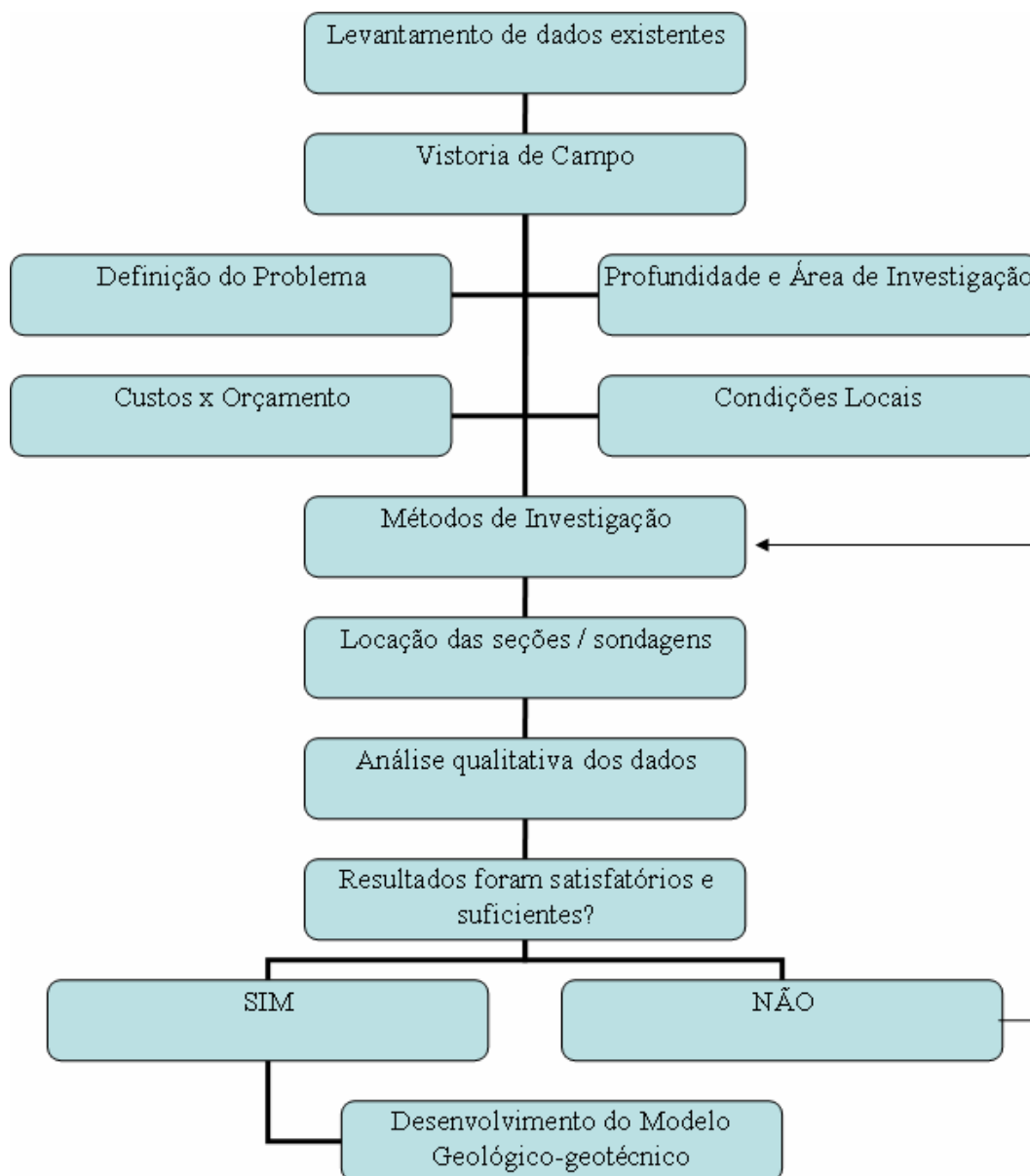


Figura 63: Fluxograma sugerido para investigações geotécnicas

Os dados devem então passar por uma análise, onde será avaliado se os levantamentos realizados foram suficientes. Dentre os parâmetros que devem ser analisados, incluem-se a qualidade das aquisições geofísicas (nível de ruído, etc.), a comparação entre os métodos utilizados, a coerência dos boletins de sondagem, e a existência de feições e anomalias identificadas nas seções, mas não mapeadas pelas sondagens. Se os dados não forem suficientes, deve-se retornar à fase de determinação dos métodos a serem (re)utilizados.

Caso os dados sejam considerados suficientes, passa-se ao desenvolvimento do modelo geológico-geotécnico, com a interpretação conjunta dos diversos métodos. A interpretação deve levar em conta a natureza do projeto, de modo que

sejam mapeadas as feições mais significativas para cada caso. A partir deste modelo, se dá prosseguimento ao desenvolvimento do projeto.

4.3. Classificação de maciço

Outra questão que merece ser comentada surgiu da comparação da metodologia de projetos de túneis e de perfuração direcional. Túneis estão entre as obras geotécnicas mais antigas, cujas técnicas vêm sendo desenvolvidas há vários séculos. Por este motivo, já foram objeto de estudo de muitos estudiosos, que desenvolveram diferentes metodologias para classificação dos maciços a serem escavados, tendo em vista a identificação de níveis de dificuldade a serem enfrentados na execução da obra.

Estas metodologias de classificação não são adequadas para uma análise de perfuração direcional, devido às especificidades da obra. Em um projeto de HDD, é relativamente comum modificar o caminhamento do projeto para evitar dificuldades pontuais identificadas no subsolo. No entanto, não existe uma metodologia que permita uma comparação quantitativa das dificuldades entre duas diretrizes propostas para um mesmo projeto. O desenvolvimento de um método de classificação do maciço, terroso e/ou rochoso, que seja específico para esta técnica seria um avanço e permitiria uma tomada de decisão menos qualitativa do que a que é feita no presente.