

Fundações Profundas: Questões para Reflexão

José Camapum de Carvalho

Professor Titular, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com

Carlos Medeiros Silva

Diretor Técnico, Embre Engenharia e Fundações Ltda., Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br

Maurício Martines Sales

Professor Titular, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, sales.mauricio@gmail.com

RESUMO: O artigo apresenta um diálogo entre engenheiros, no qual se busca abordar questões para reflexão ligadas a estudos, projetos e execução de fundações profundas. As questões levantadas, em parte, podem ser aplicadas a fundações superficiais, tirantes e grampos. Apesar do seu cunho ser de ordem filosófica, as questões examinadas voltam-se para a engenharia aplicada. A título de exemplo, eis algumas questões a serem apresentadas e discutidas: As sondagens executadas oferecem uma imagem adequada das propriedades e do comportamento do solo? As provas de carga traduzem de modo satisfatório a interação solo-estrutura? A morfologia de superfície e subsuperfície da área objeto do projeto tem alguma relevância prática? Qual a natureza da interação solo-estrutura e que fatores seriam relevantes nessa interação? É evidente que este artigo não terá o condão de exaurir as discussões sobre as questões levantadas, tampouco as abordagens apresentadas representarão defesas de verdades absolutas. O objetivo do artigo é colocar em discussão questões, muitas vezes, relegadas a um segundo plano ou nem mesmo ventiladas nas fases de estudo, projeto e execução das fundações de uma obra.

PALAVRAS-CHAVE: Geologia, Geomorfologia, Solos tropicais, Solos não saturados, Propriedades.

ABSTRACT: This paper presents a dialogue among engineers in which questions are brought for reflections related to studies, projects and execution of deep foundations. The raised questions, in part can be applied to superficial foundations, tied-back walls and soil nailing. Although the philosophical nature of the questions, they are applied to practical engineering. As an example, here are some presented and discussed issues: Do the performed penetration tests give an adequate description of properties and behavior of soils? Do load tests satisfactorily reflect soil-structure interaction? Does the surface and subsurface morphology of the project area have any practical relevance? What are the nature of the soil-structure interaction and which factors that would be relevant in this process? It is clear that this article will not aim to exhaust the discussions on the raised issues nor will the presented approaches reflect the absolute truth. The purpose of the article is to discuss issues often relegated to the background or not even ventilated in the study, design, and execution phases of building foundations.

KEYWORDS: Geology, Geomorphology, Tropical Soils, Unsaturated Soils, Properties.

1 Introdução

Este artigo busca, por meio de diálogo, a compreensão de questões complexas existentes na engenharia geotécnica. Ele traz ao leitor um ambiente amigável e participativo, permitindo que se identifique com um dos personagens presentes na discussão ou mesmo que, em foro íntimo, questione ou aprofunde as reflexões apresentadas. Esse modelo de abordagem não é recente, ele surgiu na Grécia com os diálogos de Platão, que buscava, desse modo, falar a verdade sobre um tema primordialmente filosófico. Na Idade Média, o diálogo foi perdendo seu conteúdo filosófico e aprofundando-se em uma característica mais didática, sendo fundamentado, principalmente, em perguntas e respostas. No Renascimento, o diálogo assumiu características mais abertas, com maior liberdade intelectual. Segundo Vargas (2015), em 1632, Galileu publicou o *Dialogo Dei Massimi Sistemi*, ao qual ele buscou dar um tom platônico, “não só recorrendo e valorizando os argumentos geométricos, como também nitidamente pretendendo demonstrar matematicamente, que Simplicio ‘recordava-se’, pelo diálogo de ideias esquecidas”¹. Em 1681, foi publicada, postumamente, a obra de Thomas Hobbes intitulada *Diálogo entre um filósofo e um jurista* (HOBBS, 2011). Após esse período, embora ainda existente, houve uma redução na publicação de textos na forma de diálogo; apesar disso, essa continua a ser uma forma, muitas vezes, interessante de abordar temas, em especial aqueles de cunho mais filosófico e voltados para a reflexão.

Neste artigo, busca-se, por meio do debate travado entre um Incorporador Imobiliário, Dr. Pedro, e uma equipe de profissionais e também entre estes, desenvolver temas voltados para a geotecnia, relevantes para o projeto e a construção de fundações de edifícios do tipo profunda. O cenário foi concebido de modo a viabilizar as discussões pretendidas. Tudo se passa no hipotético Bairro Águas Lindas, no qual será implantado o grande condomínio Harmonia Plena, composto por prédios comerciais e prédios residenciais de pequeno e grande porte. Ao longo do diálogo, subtítulos chamarão a atenção para os aspectos neles discutidos.

2 Diálogo

2.1 Preâmbulo

Dr. Pedro: – Senhores e Senhoras convidados a participarem desta primeira reunião, vocês devem estar se perguntando por que convidamos um Urbanista, Urb. Lúcio, um Arquiteto, Arq. Oscar, um Geólogo, Geol. Othon, um Geógrafo, Geog. Santos, uma Engenheira Agrônoma, Eng. Agr. Ana, quatro Engenheiros Cívicos, Eng. Cív. Alexandre, Eng. Cív. Milton, Eng. Cív. Velloso e Eng. Cív. Jaime para participarem dessas discussões iniciais sobre o empreendimento Condomínio Harmonia Plena. Aliás, esse nome deve contemplar inclusive as nossas atividades profissionais durante sua execução e são elas motivadoras desta reunião.

Eng. Cív. Milton: – Dr. Pedro (Incorporador), diante de tantos convidados, não estaria faltando nessa reunião uma Psicóloga?

Dr. Pedro: – Desculpem-me, é que a nossa convidada Psi. Marília, ainda não chegou e acabei esquecendo... será que ela estaria a testar o nosso psicológico quanto aos frequentes atrasos que temos na entrega de nossos serviços? Se for, observem a importância do respeito aos prazos e à pontualidade.

Eng. Cív. Alexandre: – Dr. Pedro, embora já colocada a importância da harmonia entre nós, seria possível nos aclarar sobre a importância de tantos profissionais de tão diferentes áreas nesta nossa primeira reunião?

Dr. Pedro: – Claro. Ao longo dos anos, fomos construindo a experiência de nosso grupo empresarial e percebemos que vários detalhes que integravam a vida do engenheiro e a própria engenharia foram sendo perdidos com a excessiva disciplinarização. Somam-se a isso as informações ambientais e comportamentais que têm se mostrado de grande importância para que os projetos atendam demandas e públicos determinados. Feitos os esclarecimentos, e lembrando que a segunda etapa dessa nossa reunião ficará restrita aos engenheiros que atuarão na elaboração dos projetos e execução das fundações das edificações, vamos convidar a Psi. Marília, que chegou logo no início desta nossa fala, para que faça as colocações que ela julgue relevantes para assegurar a qualidade de vida daqueles que aqui residirem, trabalharem ou apenas passarem pelo condomínio.

¹ VARGAS, M. (2015). A história da matematização da natureza. São Paulo: ABGE e ABMS, 444 p., p. 165.

2.2 Diálogo Multidisciplinar

Psi. Marília: – Obrigada pela oportunidade! Eu não pedirei desculpas pelo atraso, pois, por mais justificáveis que sejam, os atrasos são sempre ou quase sempre evitáveis quando se planeja e se cumpre o planejado. Começo destacando que não só a vida como a sua qualidade são aspectos dos mais relevantes para os seres animados e inanimados, e a realização de um empreendimento da envergadura do proposto guarda relação direta com ambos. Por vezes, não percebemos, mas quase sempre ao intervir no estado dos seres inanimados, como o ar, a água, o solo e as rochas, terminamos por impactar diretamente na fauna, na flora, e, ao afetar esse conjunto de seres, impacta-se na vida do próprio homem e em seu estado psicológico, seja em nível pessoal, seja no âmbito social. A título de exemplo, Sonoda *et al.* (2017), ao tratarem do tema erosões em borda de reservatórios, apontam aspectos de ordem psicossociais referentes à participação da população em projetos de engenharia e na manutenção e conservação do tipo de obra analisado. Portanto, considero da maior importância uma excelente conjugação, dentre outros, entre os aspectos ambientais, paisagísticos, urbanísticos, arquitetônicos e de engenharia. Nesse sentido, coloco-me à disposição para buscar dirimir eventuais questões em minha área de atuação que julguem relevantes para o sucesso do empreendimento.

Dr. Pedro: – Obrigado, Marília! Suas palavras vêm ao encontro do que estamos buscando para o Condomínio Harmonia Plena. Vamos agora ouvir o que nos tem a dizer o Geólogo Othon, afinal, do ponto de vista físico, a Geologia situa-se na base de nosso empreendimento.

Geol. Othon: – Agradeço o convite para estar aqui participando desta enriquecedora e gratificante reunião. Embora possa parecer que não existe um elo entre a Geologia e a Psicologia, vou partir das palavras da Marília, buscando consolidar a ideia de que uma reunião multidisciplinar como esta tem grande relevância quando se vai implementar um empreendimento do porte do Condomínio Harmonia Plena. Vejam: embora a geologia exerça grande influência nas obras de engenharia, em especial na definição e elaboração dos projetos de fundações, não há como negar a sua relação com os aspectos ambientais, paisagísticos, urbanísticos e mesmo arquitetônicos. Mas, dando ênfase à questão das fundações, sugiro que os estudos geotécnicos preliminares, em especial os de campo, sejam realizados sob acompanhamento de um Geólogo de Engenharia. Com a significativa dimensão da área do empreendimento, torna-se indispensável considerar aspectos como a variabilidade geológica, estratigráfica, do manto de intemperismo, da hidrogeologia. Em se tratando de uma geologia na qual aparecem em alguns pontos afloramentos de rochas calcárias, faz-se importante a preocupação com a existência de cavidades. Também destaco que, como está em voga a implantação de sistemas de infiltração, de modo a compensar as áreas impermeabilizadas, será recomendável avaliar se o solo é colapsível ou expansivo e se a fração grossa do solo é filtro da fina, pois, em algumas situações em que isso não ocorra, poderão ser desencadeados processos de erosão interna, muitas vezes, afetando a própria capacidade de suporte das fundações. Outra questão que me parece relevante, como o empreendimento se encontra cercado de edificações mais antigas, diz respeito à interferência de rebaixamentos temporários do lençol freático no desempenho das fundações existentes em áreas vizinhas. Ainda no que tange a questões relacionadas às variações do nível freático, é recomendável que se avalie o impacto da implantação das fundações do conjunto de edificações do empreendimento na ascensão do lençol freático nas áreas periféricas. O interessante dessas ponderações é que, embora em ambos os casos se esteja a afetar o desempenho das fundações existentes, as variações do nível freático estão se dando em sentidos contrários e com impactos de duração geralmente distintas, pois o primeiro se refere ao rebaixamento e é quase sempre temporário, enquanto o segundo está ligado à ascensão e tende a ser permanente, apenas com variações sazonais. Creio que outras questões poderão ser discutidas ao longo desta reunião ou em outras oportunidades para as quais desde já me coloco à disposição.

Dr. Pedro: – Obrigado, Othon! Vamos agora ouvir o que tem a nos dizer o Urbanista Lúcio.

Urb. Lúcio: – Desde já agradeço o convite. Tentarei ser breve e iniciarei minha fala realçando as sábias palavras da Marília, que coloca questões como a ambiental, a paisagística e a urbanística como importantes para a qualidade de vida. Ouso afirmar que o urbanismo efetivamente tem grande relevância não só para a vida como para a qualidade de vida e para a preservação do equilíbrio ambiental, que, como dita a Constituição Federal em seu artigo 225, é uma responsabilidade do Poder Público e da coletividade. Tendo em vista a amplitude do Condomínio Harmonia Plena e as características geomorfológicas locais com áreas planas em platôs e em planícies de fundo de vale, presença de áreas onduladas e de encostas de declividade acentuada, destaco que o plano urbanístico sobre o qual estamos trabalhando prevê a ocupação progressiva da área, mas

fugindo ao traçado convencional fundamentado na linearidade e ortogonalidade das vias. O traçado das ruas e avenidas busca minimizar o fluxo superficial da água da chuva, recomendando-se, na medida do possível, a implantação de pavimentos permeáveis. Pretende-se, assim, evitar problemas como erosões, alagamentos e inundações. Do ponto de vista da engenharia de fundação, não se pode esquecer que esse favorecimento à infiltração da água da chuva terminará com a quebra da uniformidade natural da infiltração por gerar, de modo localizado, maiores umedecimentos do solo e, eventualmente, ascensões do lençol freático, questões certamente relevantes para o projeto de fundações. Sendo assim, é indispensável que se atente para o projeto urbanístico. Por enquanto, limito-me a esta fala, colocando-me desde já à disposição.

Dr. Pedro: – Obrigado, Lúcio! Vamos agora ouvir o que tem a nos dizer o Geógrafo Santos, uma vez que o Lúcio realçou a importância da questão geomorfológica.

Geog. Santos: – Agradeço a oportunidade e, à medida em que ouço os colegas, percebo a grande importância desta reunião enriquecedora para todos nós. Volto essa minha fala inicial para situar a importância da geomorfologia para o projeto urbanístico, para os projetos de arquitetura e para os projetos de fundação, sem esquecer que, do ponto de vista ambiental, a geomorfologia assume grande importância. Antes, no entanto, de prosseguir com minha fala, gostaria de lembrar as sábias palavras de Gusmão Filho (1998): “Como o meio físico é o cenário onde se inserem as obras de engenharia, é importante estudá-lo afim de se conhecer as potencialidades e as limitações para a implantação de uma obra”². Pensando agora nos projetos de fundação e nos cortes e aterros a serem executados ao longo de ruas, avenidas e nos locais de implantação das edificações, talvez o aspecto principal a ser realçado é que a distribuição da umidade no solo e o próprio nível freático quando presente, além de depender, como é do conhecimento de todos, de aspectos como propriedades e características estruturais do solo, condições de insolação e submissão a efeitos de vento, será fortemente condicionado pela morfologia do terreno, que é, no presente caso, bastante variada (JESUS, 2013). A interação solo-atmosfera é fator importante na definição da umidade de equilíbrio do solo e sofre forte influência da morfologia do terreno e orientação dessa morfologia em relação às condições de insolação e de vento (LUIZ 2012). Agradeço a oportunidade e coloco-me à disposição.

Dr. Pedro: – Obrigado, Santos! Vamos agora ouvir o que tem a nos dizer o Arquiteto Oscar.

Arq. Oscar: – Diante de todas as falas, percebo a importância desta reunião para uma melhor elaboração dos projetos arquitetônicos, pois a definição dos tipos de pisos externos às edificações e do uso ou não de subsolos, cortes e aterros em cada edificação, entrando inclusive na questão do paisagismo, deverá, para uma melhor harmonia do Condomínio como um todo e menor custo das obras, valorizar fatores de ordem geológica, hidrogeológica, geomorfológica. Nesse sentido, será relevante um estudo prévio, indicando as características geológicas e geomorfológicas locais, se possível, apontando para a conveniência ou não de subsolos, pois sabemos ser hoje indispensável a existência de garagens nas edificações e estas podem ser implantadas em áreas externas, em subsolo ou compondo a estrutura elevada do edifício, condições que interferem diretamente, mas de modo distinto, no projeto arquitetônico. Também, sabendo do impacto do sol e do vento nas estruturas e, conseqüentemente, nos projetos de fundação, assim como na própria paisagem, buscarei valorizá-los em meus projetos, interagindo dentre outros com o Geólogo, o Geógrafo, o Eng. Geotécnico e o Eng. Agrônomo.

Dr. Pedro: – Obrigado, Oscar! Percebo que essa nossa reunião inicial está cumprindo o seu objetivo, o de intercâmbio entre profissionais, respeitadas as especificidades de cada profissão, tudo na mais completa harmonia. Vamos agora ouvir a Engenheira Agrônoma Ana, pois o senhor acaba de chamar a atenção para a questão do paisagismo e o suporte do Eng. Agrônomo será fundamental nesse campo.

Eng. Agr. Ana: – Bom dia a todos! Diante das falas que ouvi até o momento, percebo que tenho muito a aprender com o nosso convívio na construção desse empreendimento. Geralmente, nós, agrônomos, preocupamo-nos de modo preponderante com a relação solo-planta, mas percebo como de grande relevância aspectos como o geológico e o geomorfológico, aspectos que, muitas vezes, relegamos a um segundo plano. Contudo, levando em consideração exatamente aquele aspecto com o qual mais nos preocupamos, a qualidade do solo, na maioria das vezes, precisamos corrigi-lo por meio de intervenções químicas ou de umedecimentos continuados. Estes últimos, pelo que pude depreender da fala do Santos, guarda grande relação com a geomorfologia, aí se incluindo questões como declividade do terreno e sua orientação em relação ao sol e aos ventos predominantes, pois estes, certamente, interferem de modo direto na interação solo-atmosfera e,

² GUSMÃO FILHO (1998). Fundações do conhecimento geológico à prática da engenharia. Recife: Ed. Universitária UFPE, 345 p., p. 81.

portanto, na umidade do solo. Apesar de minha grande gratidão por tudo que tenho aprendido nesta nossa reunião, percebo que devo, eu também, deixar minhas contribuições para a reflexão dos colegas. Começo, então, por destacar que, embora o exótico, muitas vezes, nos atraia, é recomendável a escolha de espécies de vegetação adaptadas ao clima local, por demandarem menor manutenção e contribuírem para a preservação da flora regional. Mas mesmo fazendo-se tal opção, é quase sempre indispensável a correção do solo para que a vegetação se torne mais adaptada, exuberante e tenha mais vida. Outro aspecto relevante é que, mesmo usando-se as vegetações regionais, algumas necessitam de maior volume de água, enquanto outras apresentam um maior potencial de retê-la. Destaco, porém, que os ajustes necessários ao solo por meio da incorporação de insumos e correções do pH, assim como a maior retenção de água ou maior necessidade dela, terminam por contribuir para o aumento ou para a redução da estabilidade estrutural do solo, a depender do que é o solo e do que a ele se incorpora (PÉREZ, 2018). Gostaria ainda de lembrar que, embora a ideia da correção do solo seja tão somente a de ajustá-lo na zona de plantio e vida das vegetações, parte dessa química quase sempre migra através do perfil, intervindo na estabilidade do solo e podendo gerar problemas não só em aterros, cortes e encostas como também nas fundações e contenções das obras de engenharia. Esse impacto, geralmente, só ocorre de médio a longo prazo, mas deve, ao nosso ver, ser considerado. Por enquanto, muitíssimo grata por tudo que ouvi e aprendi nesta nossa reunião. Isso é o que tenho no momento a dizer, desde já colocando-me à disposição dos colegas.

Dr. Pedro: – Nosso muito obrigado à Ana e a todos que participaram da reunião até o presente momento. Agora que os Engenheiros Civis já ouviram as opiniões dos demais colegas, penso que poderemos continuar a reunião apenas com a presença deles, pois o foco principal desta reunião é ouvi-los após a manifestação dos colegas de outras áreas sobre o que deve balizar suas ações daqui por diante.

Psi. Marília: – Desculpa-me, Dr. Pedro, mas, pensando no empreendimento como um todo no qual atuaremos, em grande parte, paralelamente, penso que nossa presença nesta reunião, ainda que agora na qualidade de ouvintes, será muito importante, pois nossas ações devem vir, na medida do possível, ao encontro dos anseios desses profissionais. Além disso, acredito que o agir da engenharia impactará não só em várias das questões levantadas, atinentes à técnica, como também terá seus efeitos sobre o psicológico daqueles que aqui viverão ou trabalharão, por exemplo: os movimentos nos últimos andares dos imóveis mais altos, oriundos do efeito do vento, pode ser perfeitamente tolerável do ponto de vista da engenharia, no entanto, poderão impactar diretamente no psicológico das pessoas que os ocupam, gerando uma sensação evitável de insegurança, pois como ouvi certa feita, quando a Engenharia não encontrar a solução para os problemas que a cercam, ela está abrindo mão de ser Engenharia. Diante do exposto, se não for incômodo, acredito que a maioria dos presentes apreciariam continuar na reunião, mesmo que na qualidade de ouvintes.

Dr. Pedro: – É claro, Marília, as suas ponderações são extremamente valiosas. Será um prazer tê-los conosco, e por favor, sintam-se à vontade para intervirem quando necessário. Bem, sabemos que os projetos arquitetônicos se constituem em ponto de partida para o cálculo estrutural e demais projetos de engenharia e que o cálculo estrutural estabelece o que se necessita como projeto de fundação, então, parece-me oportuno darmos continuidade à reunião, ouvindo o Engenheiro Civil Alexandre, nosso calculista.

Eng. Civ. Alexandre: – Obrigado pela oportunidade! Diante de tantas sábias ponderações, penso que o melhor é ouvirmos os nossos colegas geotécnicos, pois questões por eles levantadas certamente impactarão nos projetos estruturais.

Dr. Pedro: – Certamente! Vamos, então, ouvir o Eng. Milton, que se ocupará dos estudos preliminares e parte dos projetos de fundação. Proponho que ao longo de sua fala, assim como daquela dos demais colegas, que as discussões sejam, pelo menos em grande parte, realizadas sem a necessidade de minhas intervenções, afinal o diálogo deve, preferencialmente, dar-se entre aqueles mais diretamente envolvidos nos estudos, nos projetos e nas execuções das obras.

2.3 Diálogo Geotécnico

Eng. Civ. Milton: – Obrigado. Sobre os estudos preliminares, nossa ideia é, uma vez localizadas as obras e definidos os projetos estruturais e arquitetônicos, darmos início às sondagens, conduzindo-as segundo as normas, inclusive no que tange aos quantitativos por obra.

Eng. Civ. Velloso: – Já tenho aqui algumas dúvidas que penso ser relevante, se possível, aclará-las: Que tipos de sondagem serão efetuadas? Como se pretende considerar as variabilidades do subsolo quanto aos

quantitativos e locação desses ensaios? Em que momentos se pretende realizá-las: antes, durante ou após a execução das fundações? De tudo que ouvimos dos colegas até o momento, as sondagens executadas conforme previsão de norma responderão às necessidades de projeto quanto às propriedades e aos comportamentos dos maciços?

Eng. Civ. Milton: – Bem colocadas as suas questões. Quanto ao tipo de ensaio de campo, nós realizaremos ensaios do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) para caracterizar o maciço. Apesar de sua variabilidade, é o único ensaio direto disponível na região. Eles serão distribuídos em cada edificação, atendendo os critérios normativos. Entretanto, as sondagens SPT avaliam o ponto e não o todo e devem ser executadas dentro da boa técnica. Para contornar as incertezas entre os furos de sondagens que amostram o ponto e não o todo, eu sugiro que seja feito um modelo espacial do maciço, como mostrado em Silva (2011). A técnica consiste em caracterizar o maciço por meio de ensaios indiretos, ensaios geofísicos. Os dados obtidos são tratados por meio da geoestatística, gerando um modelo 3D, que é validado pelos dados obtidos nas sondagens SPT. Como exemplo, eu apresento a vocês um modelo, Figura 1, no qual se utilizou a técnica em conjunto com a metodologia SCCAP (SILVA & CAMAPUM DE CARVALHO, 2014), para controlar a cota de assentamento de um estaqueamento tipo hélice contínua. A metodologia SCCAP é baseada no controle da energia necessária para instalar cada estaca do projeto de fundação. Nesta obra, Figura 1, a capacidade de carga da estaca, 1000 kN, estava relacionada com uma energia de instalação de 18 MJ, o que permitiu, com segurança, variar as cotas de assentamento das estacas durante a execução da obra.

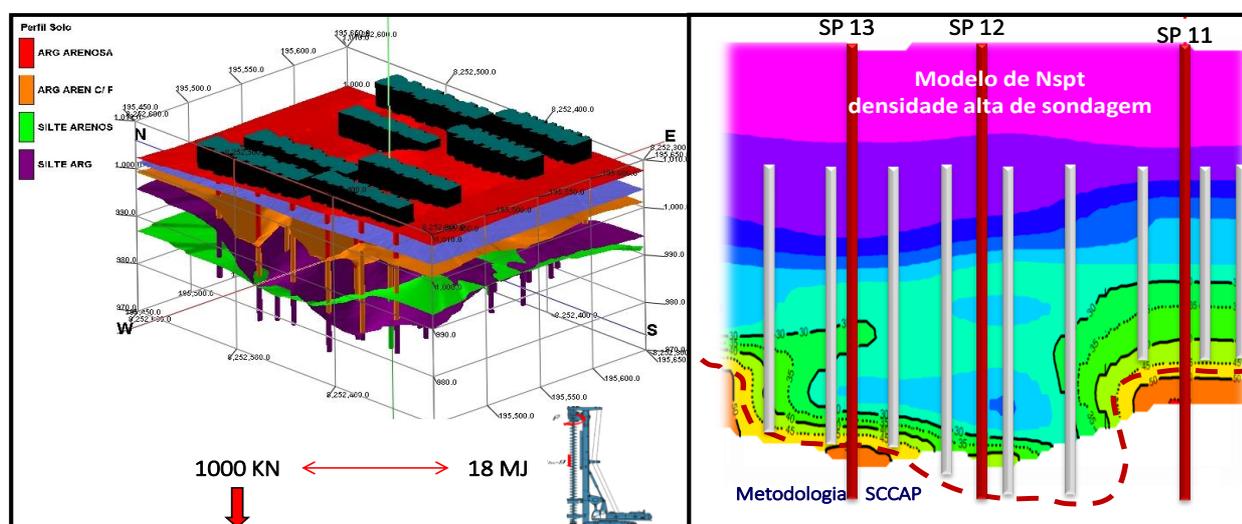


Figura 1 – Modelo geoestatístico 3D e o fatiamento vertical do estaqueamento (SILVA & CAMAPUM DE CARVALHO, 2014).

Eng. Civ. Jaime: – Gostaria de apresentar algumas complementações quanto às questões levantadas pelo colega Velloso. Como o comportamento dos solos depende do seu estado e nível de saturação, a otimização do projeto de fundação deve passar pela análise do período em que foram realizadas as sondagens, pois a umidade do solo e o nível freático geralmente variam ao longo do ano, condicionados pela interação solo-atmosfera. Seguindo a mesma linha de raciocínio, é igualmente relevante contextualizar as sondagens realizadas em relação ao estágio da obra, em especial se esta contém cortes e/ou aterros, pois, como bem frisou o Geógrafo Santos, a distribuição da umidade no solo e o próprio nível freático, quando presente, serão fortemente condicionados pela morfologia do terreno, interferindo, assim, na capacidade de carga das fundações. Também a distribuição de tensões no maciço é influenciada por essa morfologia. Cabe lembrar que os aterros e os cortes podem ou não ser efetuados mediante a construção de cortinas, e estas também terminam interferindo na distribuição de tensões, afetando os resultados desses ensaios e mesmo a capacidade de carga das fundações. Logo, o antes, o durante e o após a execução das fundações como momento apropriado de execução dos ensaios SPT estarão muito ligados à configuração da própria obra, mas, ao refletir sobre as questões ligadas à morfologia da obra, surgem outras indagações que vão além do antes, do durante e do depois da execução das fundações e que guardam relação com a questão morfológica, sobre as quais eu muito apreciaria ouvir o entendimento dos colegas. Considerando-se a influência da morfologia nos resultados das

sondagens, é possível pensar que a espacialização indicada na Figura 1, se adaptada ao estágio da obra, já teria o problema como resolvido, mas ficam as dúvidas e, por consequência, as seguintes questões a serem respondidas: as próprias fundações, quando executadas, não interfeririam umas sobre as outras em consequência da nova morfologia que elas próprias geram? E no caso de um radier estaqueado, como ficaria a capacidade de carga das fundações em função de sua localização espacial? Ademais, para adequar e otimizar os projetos das fundações, temos que realizar provas de carga, e, não raro, as respostas que elas dão não correspondem às previsões de projeto, seja superando-as ou situando-as como insatisfatórias. Certamente, será a Empresa do Engenheiro Milton que se encarregará de executá-las e aí coloco, então, mais uma pergunta: se foi realizada uma boa e completa prospecção do subsolo por meio de sondagens, por que não se chega, muitas vezes, quando das provas de carga, a resultados próximos dos projetados? Com base nas falas anteriores, teria alguma relação com a geomorfologia inicial ou antropizada do local ou mesmo com a geologia estrutural?

Eng. Civ. Milton: – Respondendo a essas perguntas, sem a pretensão de ser completo, os resultados das provas de carga e a representatividade destes em relação à obra, mesmo diante de uma campanha exaustiva de estudos realizados sobre o maciço local, podem não corresponder ao esperado. Interferem nos resultados: a similaridade da morfologia da superfície no local da obra entre o momento em que foram realizadas as sondagens e o momento da prova de carga – lembrando que, se estas são iguais, mas se as fundações da obra forem implantadas em condições morfológicas distintas das da prova de carga, certamente ocorrerão diferenças entre os resultados do ensaio e o comportamento das estacas na obra; diferenças na umidade do solo e/ou nível freático, se presente, entre o momento das prospecções e o momento da prova de carga; visto que as provas de carga são realizadas sobre estacas individuais, pode ocorrer que, quando tratado em grupo ou compondo um radier (COLLANTES, 2017), o comportamento mude; também vai interferir, no comportamento das estacas, a uniformidade estratigráfica no local da obra, pois ele dependerá da estrutura das partículas no maciço que as recebe. Não sei se respondi, mas isso foi o que me veio à mente no momento.

Eng. Civ. Velloso: – Ainda sobre a questão das provas de carga, tenho ainda as seguintes dúvidas a serem, se possível, esclarecidas: poderíamos tirar parâmetros de deformabilidade dos resultados de uma prova de carga? Somente o trecho linear da prova de carga é relevante? Como a não linearidade do comportamento de uma estaca é relevante para um projeto?

Eng. Civ. Milton: – O comportamento de uma estaca depende de vários fatores, inclusive do modo como foi executada, do tipo de solicitação a que se submete e do próprio perfil geológico-geotécnico no qual se encontra implantada. Quanto à execução, segundo Silva *et al.* (2015), são vários os fatores que podem influenciar o comportamento e o desempenho da estaca, entre eles, o tipo e a capacidade de escavação do equipamento, as ferramentas de perfurações utilizadas e os procedimentos usados nas operações de escavação e concretagem. Tais fatores, isoladamente ou combinados, somam-se ao estado de limpeza da ponta das estacas, o qual pode apresentar solo desagregado, condição que pode influenciar decisivamente o comportamento da estaca em termos de capacidade de carga e deformabilidade. Nesse sentido, a opção por um determinado tipo de fundação profunda requer uma série de análises prévias, inclusive sobre as características das fundações das obras vizinhas, de modo a resguardar os seus desempenhos. Mas respondendo às questões postas, já que mesmo as provas de carga estáticas enquadradas como do tipo lento são realizadas em intervalos de tempo muito curtos por estágio de carga, a precisão dos parâmetros de deformabilidade estimados a partir da prova de carga só terá certa representatividade se o solo circundante se encontrar em grau de saturação inferior à linha ótima, pois, nesse caso, a fase ar é contínua e significativa, não dando, provavelmente, margem à geração de pressão neutra positiva e permitindo se considerar a atuação de tensões efetivas. Essa consideração de tensões efetivas nas provas de carga do tipo lenta pode também ser válida para o caso de perfis de solos granulares com elevada permeabilidade, mesmo que saturados. Nesses casos, a previsão dos parâmetros de deformabilidade a partir dos resultados de provas de carga me parecem bastante razoáveis; nos demais casos, é importante que se recorra a ensaios complementares de laboratório. Apresentando agora o meu pensar sobre a segunda questão, parece-me razoável admitir que a não linearidade dos resultados da prova de carga guarda relação com o modo de mobilização do atrito lateral e da capacidade de carga da ponta, pois a perda de linearidade sinaliza com estágios de plastificação do solo, seja na interface lateral, seja na ponta da estaca. Camapum de Carvalho *et al.* (2012) apresentam formas de se explorar os resultados de provas de carga, separando recalques imediatos dos recalques que consideram como secundários, e essa forma de análise pode contribuir para avanços no uso dos resultados de provas de carga em projetos. Vale destacar que, em grandes grupos de estacas, enquanto algumas estarão com um comportamento similar ao trecho inicial da prova de

carga, outras já podem estar em níveis acentuados de deformação plástica do solo ao seu redor. Daí a importância de explorar o comportamento global de uma prova de carga e não somente o valor de sua carga última. Ainda no que diz respeito às provas de carga, coloco a questão: elas traduzem de modo satisfatório a interação solo-estrutura?

Eng. Civ. Velloso: – Vejam, essa questão vem ao encontro daquela anteriormente colocada pelo Eng. Jaime, “se foi realizada uma boa e completa prospecção do subsolo por meio de sondagens, por que não se chega, muitas vezes, quando das provas de carga, a resultados próximos dos projetados?”. No meu entendimento, vários são os fatores que podem levar a resultados de provas de cargas que destoam do projetado, e um deles é a própria pergunta do colega Milton sobre se elas traduzem de modo satisfatório a interação solo-estrutura. Em primeiro lugar, faz-se necessário, por tudo que ouvimos até o momento, contextualizar a fundação ensaiada em relação à morfologia da obra e da distribuição das fundações, contemplando aqui sua distribuição tridimensional incluindo, se existentes, as integrantes das cortinas. Por exemplo, uma estaca ensaiada junto ao pé de uma cortina não terá, certamente, o mesmo desempenho de outra localizada afastada desta, e mesmo aquela localizada junto à cortina em sua parte central não terá, provavelmente, o mesmo comportamento de outra próxima ao encontro das duas faces ortogonais da cortina, apesar de mantido o afastamento. Essas distinções podem ocorrer pela intervenção de vários fatores, como diferenças nas distribuições de tensões e de umidade, assim como no próprio nível freático se presente. De modo semelhante, as tensões atuantes em uma estaca do centro de um radier estaqueado não serão, provavelmente, iguais àquelas atuantes nas estacas mais externas. Mas existem outras simplificações que adotamos e nem sempre traduzem a realidade das estacas. Ainda exemplificando, considerar que as tensões atuantes lateralmente em uma estaca ensaiada com um determinado diâmetro se repetirão em outra com diâmetro distinto é uma simplificação nem sempre aceitável. Adotar tal simplificação é desconsiderar o efeito de arco de tensões. É evidente que, em alguns materiais, em especial os muito rígidos e os muito moles, tal aproximação não é de todo absurda. Temos ainda outros fatores relevantes que fazem parte do cotidiano das provas de carga e da própria vida da obra, os quais precisam ser considerados. Por exemplo, as variações da rigidez do concreto e da sucção nele presente com o tempo de cura são fatores geralmente desprezados. Também, em perfis de solo não saturados, são relegadas a um segundo plano as variações de sucção ao longo do ano e em função da implantação da própria obra. Lima (2018) mostra variações significativas nas sucções atuantes no concreto e em um perfil de solo ao longo do tempo e, por consequência, tais variações interferirão nos resultados das provas de carga e nas diferenças destes em relação ao das estacas da obra após certo tempo de execução. Cabe lembrar, para realçar a importância desse aspecto, que provas de carga são realizadas após 10 dias, 15 dias, 1 mês e mesmo 1 ou mais anos de execução da estaca nos casos em que as obras são, por determinado motivo, paralisadas. Exceto neste último caso, as interações de sucção concreto-solo não estarão certamente em equilíbrio – não que essas sucções em equilíbrio no último caso não variem com o tempo, pois, certamente, variarão em função do clima e do uso e ocupação do solo. No momento, veio-me à mente uma outra dúvida: quando se falou, neste diálogo, a respeito da geomorfologia, geralmente, eu percebi um elo com a morfologia de superfície, mas a morfologia de subsuperfície seria relevante para o comportamento de uma estaca ou mesmo de um conjunto de estacas?

Eng. Civ. Jaime: – Caro colega Velloso, muito pertinente sua pergunta, até mesmo porque, em uma mesma obra, essa morfologia de subsuperfície pode passar por grandes mudanças, daí, dentre outros, a grande importância da espacialização indicada na Figura 1. Em casos nos quais seja possível, como no das estacas hélice contínuas e das estacas pré-moldadas, deve-se fazer, na obra, um controle da energia necessária à execução das fundações, pois tal controle, mesmo que indiretamente, termina retratando a morfologia de subsuperfície. Cabe aqui um parêntese, o de que a geomorfologia de superfície não retrata necessariamente a de subsuperfície, pois, enquanto aquela absorve, ao longo do tempo, transformações naturais por um contato direto com a atmosfera e artificiais pelas intervenções, em especial as antrópicas, estas retratam mecanismos de ordem geológica. Mas vejam, nobres colegas, é preciso, no caso das fundações, ir além da simples avaliação das morfologias de superfície e subsuperfície e adentrar na avaliação da forma como se constrói o arranjo estrutural das partículas que integram o maciço, ou seja, faz-se necessário valorizar a morfologia nessa terceira percepção, a interpartículas. Por exemplo, em um perfil dobrado, composto por partículas laminares orientadas, uma estaca que atravessa esse manto em local onde as partículas estejam dispostas na posição horizontal, terá certamente comportamento distinto daquele em que a estaca o atravessa onde as partículas estão dispostas em direção mais verticalizada. Mesmo considerando a deformabilidade e a capacidade de carga

na ponta da estaca, o comportamento, nessas duas disposições de partículas, tenderá a ser distinto, podendo mesmo ser muito distinto. Embora várias outras questões para reflexão existam e outras ainda surgirão ao longo da implantação do condomínio, caberia aqui uma última pergunta aos colegas: qual a natureza da interação solo-estrutura e que fatores seriam relevantes nessa interação?

Eng. Civ. Milton: – Se me permitem, considerando tudo que foi dito até o momento, assim como o meu apego à filosofia, sou levado a responder que a natureza das interações solo-estrutura assim como os fatores relevantes nessa interação devem ser vistos com certo olhar votado para as dinâmicas temporal e espacial, ou seja, ela não só vai ser distinta ou mesmo passar por mudanças em função de sua localização espacial e temporal, como dependerá das próprias intervenções que surgirão no local, sejam elas de ordem natural ou artificial. Nas de ordem natural, podemos citar os tremores de terra, que, por meio das vibrações, poderão interferir no comportamento das fundações. Mas vejam, as vibrações podem ainda ter origem antrópica, por exemplo, devido à passagem de veículos e trens, uso de bate-estacas, uso de explosivos, em todos os casos podendo intervir na interação solo-estrutura. Mas não temos só esse exemplo, temos outros: as fundações executadas em mantos não saturados podem, em certo momento da vida útil da obra, ser submetidas a processos de alagamentos e inundações mesmo que temporários. Esses exemplos mostram que, em um empreendimento do porte do Condomínio Harmonia Plena, os diferentes segmentos responsáveis pela sua implantação devem ter uma atuação harmônica e interativa, e nós, engenheiros, devemos ter o nosso olhar voltado para o aqui e o entorno do aqui e mesmo para o distante do aqui, para o ontem, para o hoje e para o amanhã, sempre lembrando que um dos principais pilares da engenharia é de ordem filosófica, pois se constitui na reflexão.

Eng. Civ. Velloso: – Gostaria de fazer apenas um breve complemento à brilhante fala de nosso colega Milton: dentro de todas as questões levantadas, é indispensável não colocarmos de lado as variabilidades das informações obtidas, pois elas podem não só retratar uma variabilidade natural em termos de composição do maciço, estratigrafia geológica, hidrogeologia, geomorfologia, etc. como ser oriunda de diferenças na realização dos estudos, aí compreendendo o uso de diferente equipes e equipamentos ou mesmo distinções entre os momentos e locais em que eles foram realizados, ou seja, não nos esqueçamos, em nossos estudos e projetos, de apreciar e considerar as questões atinentes à variabilidade.

Eng. Civ. Alexandre: – Como inicialmente me propus a aguardar a fala dos engenheiros geotécnicos para, ao final, me pronunciar, eu o faço agora, concluindo que passaremos pela necessidade de uma grande interação ao longo da execução do empreendimento, pois as condicionantes geotécnicas serão de grande relevância para a execução e ajustes nos projetos estruturais, que deverão incorporar a previsão de recalques da fundação, deixando de lado o formato ultrapassado do cálculo de cargas, imaginando apoios rígidos. Agradeço a oportunidade, dizendo que ouvir-lhes foi, para mim, profundamente enriquecedor.

Psi. Marília: – Muito importantes as palavras finais do Milton! Sem nem de longe questionar a grande relevância das demais, considero o seu pensar muito abrangente, pois envolve a todos nós, desde o paisagista, urbanista, agrônomo, arquiteto e todas as outras formações, mesmo aquelas de profissionais não presentes, mas que terão relação com a edificação ou simples existência do Condomínio, até a nós psicólogos, pois o estado mental guarda relação com o ambiente em todos os seus momentos, com o solo que pisamos e com aquela paisagem distante que nos alegra ou entristece em nosso dia a dia. A minha conclusão, como fui eu que solicitei para que todos nós permanecêssemos nesta reunião até o seu final, é que ela foi para todos profundamente enriquecedora e certamente contribuirá para uma maior harmonia e interatividade entre nós, sempre com o olhar voltado para a vida, ou seja, para a segurança e para a qualidade de vida, para o belo, para o agradável e para o que representa, em sua essência, o empreendimento, o Condomínio Harmonia Plena.

3 Considerações Finais

Dr. Pedro: – Penso que as colocações finais do Milton e da Marília dispensam novas intervenções. Eu gostaria de agradecer a presença de todos e pedir-lhes encarecidamente que busquem ter uma atuação harmônica, lembrando que o mais importante não sou eu, é o outro, é aquele que aqui vai viver, não é apenas o aqui, mas o todo, pois o Condomínio Harmonia Plena nele se insere. Vamos ter uma interação salutar com o meio ambiente em seu todo, mais que preservando-o, ampliando a sua beleza e sem oferecer riscos não apenas para aqueles que aqui viverão, mas também para aqueles que estão à sua volta. Não basta que nossas fundações

sejam estáveis, é preciso que elas não afetem a estabilidade das fundações das edificações que se encontram implantadas na vizinhança do Condomínio. Para que não pensem que nossa preocupação está apenas voltada para a estabilidade das obras de engenharia, precisamos ter em mente que episódios como alagamentos e inundações deverão não apenas ser evitados no Condomínio, como não poderão ser causadores desses eventos a jusante. Meu muito obrigado a todos, lembrando que estamos apenas começando e, certamente, teremos ainda várias reuniões, da amplitude desta ou mais restrita, ao longo da implantação do Condomínio Harmonia Plena.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camapum de Carvalho, J.; Aquino, F.R.; Silva, C.M.; Paolucci, H.V.N. (2012). Análise de provas de carga estáticas no contexto do projeto e da obra. 7º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE 7. São Paulo: ABEF, 10 p.
- Collantes, C.A.P. (2017). Avaliação da influência da posição da estaca integrando um radier estaqueado em sua capacidade de carga lateral. Dissertação de Mestrado Publicação G.DM - 286/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98 p.
- Hobbes, T. (2011). Diálogo entre um filósofo e um jurista. Tradução de Maria Cristina Guimarães Cupertino. São Paulo: Martin Claret. 157 p.
- Jesus, A.S. (2013). Investigação multidisciplinar de processos erosivos lineares: estudo de caso da cidade de Anápolis (GO). Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 087/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 340 p.
- Lima, M.R.C. (2018). Estudo de técnicas alternativas para monitoramento ótico de tensões, deformações e temperatura em obras de engenharia. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 145/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 169 p.
- Luiz, G.C. (2012). Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso - município de Goiânia/GO. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 075/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 246 p.
- Pérez, A.C. (2018). Influência de insumos agrícolas em propriedades físicas de solos tropicais. Dissertação de Mestrado Publicação G.DM - 298/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 103 p.
- Silva, C.M. (2011). Energia e confiabilidade aplicadas aos estaqueamentos tipo hélice contínua. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 070/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 303 p.
- Silva, C.M.; Camapum de Carvalho, J. (2014). Metodologia SCCAP aplicada aos estaqueamentos tipo hélice contínua. *Concreto & Construção*, v. 74, p. 75-82
- Silva, C.M.; Camapum de Carvalho, J.; Alledi, C.T.D.B.; Albuquerque, P.J.R. (2015). Estacas tipo hélice contínua e sua capacidade de ponta. 8º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE 8. São Paulo: ABEF, 8 p.
- Sonoda, K. C. L.; Viana, T. C.; Camapum de Carvalho, J. (2017) Erosão em borda de reservatório: alguns aspectos psicossociais. In: M.M. Sales; J. Camapum de Carvalho; M.M.A. Mascarenha; M.P. da Luz; N.M. de Souza; R.R. Angelim. (Org.). *Erosão em Borda de Reservatório*. 1ed. Goiânia: Gráfica UFG, v. 3, p. 53-64.
- Vargas, M. (2015) *A história da matematização da natureza*. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental; ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 444 p.