

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Diálogo entre Acadêmicos e Engenheiros: Importância dos Solos não Saturados no Contexto da Engenharia Geotécnica

Camapum de Carvalho, J.

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com

Mascarenha, M.M.A.

Professora da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, marciamascarenha@ufg.br

Rodrigues, R.A.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Bauru, SP, Brasil, roger.rodrigues@unesp.br

Luiz, G.C.

Professora da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, gislaine@ufg.br

RESUMO: Este artigo busca atuar no processo de conscientização da comunidade geotécnica quanto à necessidade de se considerar os conceitos de solos não saturados nas obras geotécnicas, lembrando que, para isso, faz-se necessária maior atuação da academia, proporcionando formação mais completa aos engenheiros no campo dos solos não saturados. O artigo é construído na forma de diálogo, o que permite um tratamento mais filosófico do tema. Mostra-se que o pensamento acadêmico vai ao encontro daquele do engenheiro atuando em área aplicada nos mais diversos seguimentos da Engenharia Geotécnica. Por fim, defende-se que é necessário desmistificar o tema e mostrar que a realidade climática brasileira requer ampliar os conhecimentos sobre solos saturados postos nos livros para os solos não saturados.

PALAVRAS-CHAVE: Meio Ambiente, Construção de Edifícios, Construção Viária, Escavações, Aterros.

ABSTRACT: This article aims to raise community awareness about the need to consider the concepts of unsaturated soils in geotechnical works. For this, it is necessary that the academy provides more complete training to engineers in the field of unsaturated soils. The article is constructed in the form of dialogue, which allows a more philosophical treatment of the theme. It is observed that the academic thought must meet the engineer in the various segments of geotechnical engineering practical. Finally, it is argued that it is necessary to demystify the theme and show that the Brazilian climate reality requires expanding the knowledge about saturated soils put in books to unsaturated soils.

KEYWORDS: Environment, Building Construction, Road Construction, Excavations, Landfills.

1 Introdução

O objetivo deste artigo é contribuir para a conscientização da comunidade atuando na prática e no ensino da Engenharia Geotécnica a fim de se dar maior ênfase aos solos não saturados. Para isso, ele busca mostrar, a partir de exemplos relativamente simples, que a aplicação dos conceitos de solos não saturados não é uma questão meramente física, passando pelo entendimento do ambiente e do nível de intemperização do maciço.



A metodologia utilizada no desenvolvimento do artigo está voltada para o desenvolvimento de diálogos em que se expõem pensamentos, situações e soluções, sempre buscando motivar a reflexão tão relevante para a prática de uma boa engenharia. O artigo busca mostrar que, para melhorar os projetos e as execuções das obras, não basta o simples uso dos conceitos físicos e mecânicos dos solos não saturados, fazendo-se necessário ir além, mesmo no caso de mantos saturados. Por exemplo, a análise bidimensional da estabilidade de um talude de corte ou aterro por equilíbrio limite só é apropriada no que tange à morfologia em situações de linearidade na geometria do maciço, perdendo sua validade em seguimentos curvos de corte e aterro. Outros aspectos são também considerados, como a incidência ou não em diferentes níveis do sol e dos ventos.

Para o desenvolvimento dos diálogos, foram dados nomes aos personagens, que lembram colegas que já partiram. Trata-se de simples homenagem, sem que se pretenda dar-lhes a autoria dos pensamentos expostos. Os diálogos são travados envolvendo profissionais dos seguimentos acadêmico e profissional os quais participam de uma Mesa Redonda intitulada *Os Solos não Saturados no Contexto da Engenharia Geotécnica*. A Mesa Redonda será coordenada pelo Engenheiro Milton, personagem que, além das diferentes formações, atuou nos campos acadêmico, profissional e empresarial, bem como foi muito ativo no campo da filosofia.

2 Diálogo

2.1 Preâmbulo

Dr. Milton: – Caros Colegas de Profissão atuantes na Engenharia Geotécnica, Empresários e Profissionais Liberais, Integrantes da Administração Pública e do Meio Acadêmico, nele se incluindo nossas e nossos Estudantes, inicialmente, gostaria de dizer-lhes que, para mim, é uma honra e imensa alegria participar desta mesa redonda. São momentos como esse que me dão esperança por dias melhores para a nossa sociedade e para o meio ambiente que exploramos, pois nele construímos, dele e nele vivemos. Espero que nossas discussões contribuam para a melhoria da prática da Engenharia Geotécnica não só em nosso país como em outros em que as pessoas a quem nos referimos venham a acessá-las. Como não poderia ser diferente, precisamos iniciar o nosso debate, e vou convidar o nosso valoroso Geógrafo Santos para nos falar um pouco sobre o Meio Ambiente e sua Relação com as Práticas da Engenharia Geotécnica, descortinando, assim, a nossa percepção para horizontes muito mais amplos que os simples Projetos e execuções de Obras de Engenharia.

Geog. Santos: – Inicio essa minha fala lembrando que todas as intervenções que fazemos no meio ambiente impactam a qualidade de vida, o que atribui à população citadina situação de extrema vulnerabilidade, seja mediante eventos considerados graves, seja perante eventos normais. Embora a pessoa mais adequada para falar dessas questões seja uma Engenheira Ambiental ou uma Psicóloga, eu gostaria apenas de destacar que, apesar de a busca ser geralmente pela melhoria na qualidade de vida, certas faltas de cuidado ou mesmo de percepções mais amplas atingindo o campo da multidisciplinaridade podem afetá-la de modo negativo.

Dr. Milton: – É verdade, e certamente sua fala nos será esclarecedora e enriquecedora.

Geog. Santos: – Vamos, então, iniciar nossa fala tratando de temas que certamente lhes são diretamente afetos. Por exemplo, ao se construir uma rodovia ou um reservatório, intervém-se direta e indiretamente no meio ambiente. Diretamente, porque são quase sempre eliminadas daquela área espécies vegetais e animais, e indiretamente, porque um corte, um aterro, a compactação e a impermeabilização de algumas áreas afetam elementos como a infiltração e a drenagem das águas pluviais. Ainda indiretamente porque tais obras vão geralmente alterar a ocupação e o uso dos solos e intervir diretamente em questões humanas. Sendo apenas um Geógrafo, em meio a todos estes participantes de algum modo diretamente envolvidos com a Engenharia, não sei se ainda disponho de tempo para estender um pouco a minha fala.

Dr. Milton: – É claro, e o senhor não é apenas um Geógrafo, o senhor é um grande Geógrafo e, por isso, nós o convidamos para o enriquecimento deste nosso evento.

Geog. Santos: – Vou, então, abordar um pouco a questão dos planos urbanísticos e das edificações, pois estas são, indiscutivelmente, de grande relevância tanto para a Geografia Física como Humana. Ao se planejar a ocupação urbana de uma determinada área, é indispensável contextualizá-la no meio ambiente. Por exemplo, a definição do traçado viário, assim como das taxas de ocupação das áreas que abrigarão as edificações, irão



intervir diretamente no escoamento superficial das águas pluviais e em sua própria infiltração e, com isso, intervém-se diretamente não só nos níveis freáticos como também na própria umidade do solo. Os cortes e aterros, por sua vez, devido à alteração na morfologia dos terrenos, alteram umidades e o fluxo de água. A infiltração de águas servidas, em situações em que o meio urbano não dispõe de redes de esgoto, vão intervir não apenas na vida presente no solo como também em sua química e, por consequência, em seu comportamento hidromecânico, embora esta não seja a minha especialidade. Mediante eventos pluviométricos intensos e até mesmo normais, a população está sujeita a alagamentos e inundações, pois o uso e a ocupação do solo sem considerar as leis da dinâmica do ambiente físico as deixam suscetíveis. Os problemas são atribuídos aos eventos naturais, e a população mais afetada é a de maior vulnerabilidade econômica. Finalizando, gostaria de agradecer esta oportunidade colocando-me à disposição para esclarecimentos complementares que estejam ao meu alcance, destacando a grande importância das questões relacionadas à umidade e saturação do solo.

Dr. Milton: – Agradecemos as enriquecedoras palavras do Geógrafo Santos, e vamos agora adentrar nos temas mais específicos dessa Mesa Redonda. Proponho que iniciemos discutindo a importância dos conceitos sobre Solos não Saturados para as obras viárias.

2.2 Obras Viárias

Dr. Milton: – Vamos iniciar nossas discussões ouvindo o que nos tem a dizer o nobre colega Job a respeito dessas obras no contexto dos solos não saturados.

Eng. Job: – É uma alegria estar aqui com vocês discutindo tema tão relevante para a boa prática da Engenharia Geotécnica no Brasil. O foco principal das pesquisas das quais tenho participado são os solos tropicais, mas não há como estudá-los ou discuti-los sem que se leve em consideração o estado não saturado que neles predomina, cabendo aqui citar e recomendar a leitura do capítulo *Estruturas de pavimento no contexto dos solos não saturados* (Gheling *et al.*, 2015), que integra o livro *Solos não saturados no contexto geotécnico*. Geralmente, sob argumentos de maior segurança e das grandes variações pelas quais passam os solos ao longo não só da construção, mas principalmente da vida útil de uma obra viária. O comum é que se utilizem nos projetos, salvo raras exceções, parâmetros dos solos saturados. Infelizmente, em algumas situações, essa escolha ocorre em detrimento de obras mais econômicas e seguras. Outros argumentos para tal prática existem, mas quase sempre se situam em falhas nas avaliações paramétricas.

Dr. Milton: – Poderia o colega citar algum exemplo?

Eng. Job: – É claro. Vejam, não raro se abandonam as análises de estabilidade dos taludes rodoviários sob o argumento de que elas conduzem a taludes muito mais suaves e antieconômicos. Este, certamente, é um dos motivos pelos quais um corte rodoviário apresenta quase sempre a mesma inclinação de taludes para ambos os lados, desprezando fatores como estrutura dos solos, insolação e aeração, todos fatores importantes para sua estabilidade, mas talvez um dos aspectos mais relevantes é o fato de que as análises se valem de parâmetros mecânicos obtidos para o solo em condição saturada, e aí torna-se inevitável a obtenção de inclinações de taludes mais suaves, realçando, assim, a importância de se considerarem os parâmetros dos solos não saturados, mas não apenas isso, pois outros fatores como já pontuados vão intervir nessa estabilidade de taludes ao longo do tempo.

Dr. Milton: – Obrigado, colega Job, por seus ensinamentos, e vamos ouvir um pouco o colega Jacques.

Eng. Jacques: – Obrigado. Minha fala será breve. Apenas gostaria de destacar a importância e a influência da não saturação nos parâmetros de projeto e na vida de fadiga de uma estrutura de pavimento, embora, muitas vezes, os ensaios para obtenção de parâmetros de projeto sejam obtidos para o solo em condição saturada ou por meio de correlações obtidas de ensaios realizados em condições saturadas. A minha sugestão é que intensifiquemos os estudos e usos dos conceitos de solos não saturados nos projetos viários como um todo, não apenas nos rodoviários, e vou aqui apenas exemplificar o caso extremo das hidrovias, cujos solos de margem estão na condição saturada. Mas vejam, com as alterações do nível d'água ao longo do ano, pode ocorrer que as sucções atuantes acima no nível freático e que, de repente e rapidamente, tendem a ser eliminadas pela subida do nível d'água durante uma cheia, podem submeter a fase ar a uma pressão neutra positiva, acentuando as erosões de margem. É certo que outros fatores, como mostraram Monoli *et al.* (2018) e Mascarenha *et al.* (2015), vão afetar essa erosão de margem das hidrovias, no entanto, vou ficando por aqui, agradecendo e colocando-me à disposição de todos para as discussões.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Dr. Milton: – Obrigado, colega Jacques, pelas enriquecedoras palavras, e vamos agora ouvir um pouco o Professor João Batista sobre a estabilização química dos solos, uma vez que elas são muito utilizadas na melhoria de solos destinados ao uso nas construções viárias.

Prof. João Batista: – Obrigado, Dr. Milton e a todos, pela oportunidade de estar aqui participando desta enriquecedora discussão. Como o foco dos debates está centrado, principalmente, nos solos não saturados, vou falar-lhes de aspectos ligados à estabilização química, mas que são, geralmente, pouco considerados por fugirem às percepções mais imediatas da engenharia. Aliás, por se vincular ao que vou abordar, destaco a importância de colocarmos de lado o aqui e o agora, tão comum na engenharia, e começarmos a atentar para o ontem, o hoje e o amanhã, para o aqui, o entorno do aqui e, em certos casos, o distante do aqui, principalmente nos casos que envolvem fluxo hidrogeológicos e atmosferas contaminadas por eventos distantes, como recentemente observamos nos ares oriundos das queimadas em regiões longínquas, as quais afetam o ciclo das chuvas e potencializam as elevadas temperaturas em escala regional.

Dr. Milton: – Interessante, mas estou curioso para saber a importância da não saturação para a estabilização química dos solos.

Prof. João Batista: – Vejam, então, quando estudamos a melhoria do comportamento mecânico de um solo por meio da mistura com aditivos como a cal e o cimento. Preparamos a mistura, compactamos os corpos de prova e os mantemos em processo de cura, geralmente em condições não saturadas, e depois de um determinado tempo, geralmente 28 dias, realizamos os ensaios em condições não saturadas para verificarmos os ganhos oriundos da estabilização. A diferença de resistência e de módulo entre o solo natural e o solo estabilizado é considerada como melhoria do solo fruto da estabilização, mas não se analisa, por exemplo, qual foi o aumento da sucção mátrica em consequência de eventuais diminuições de umidade dos corpos de prova por meio das reações químicas que ocorreram durante o período de cura. É preciso que isso seja verificado. Também tem a situação contrária: por exemplo, Vilhena (2019) verificou, ao submeter um solo estabilizado com cal à cura ao ar, que o ganho de resistência devido à cura era diminuído pela influência negativa que a sucção, ao reduzir a infiltração da água devido à presença de ar nos poros do solo, e a contração, por fragilizar o solo, provocam na perda de massa do solo.

Dr. Milton: – Interessante...

Prof. João Batista: – É, realmente, mas outra questão de grande relevância diz respeito à própria diferença na condição de cura entre o laboratório e o campo. No campo, diferenças de sucção entre o solo compactado e os solos do entorno são suscetíveis de induzirem fluxos de elementos e compostos químicos passíveis de afetarem não apenas o comportamento da camada de solo estabilizado como a do solo do entorno, pois é sabido que a estrutura agregada dos solos tropicais pode ser sensível a determinadas ações químicas. Observem que, tanto nesse caso como no anterior, entender as propriedades e os comportamentos dos solos não saturados é fundamental para a prática de uma boa engenharia no campo geotécnico.

Dr. Milton: – Obrigado, Prof. João Batista. Quanto mais eu me dedico à engenharia, mais eu sinto a importância da Filosofia, mas vamos agora discutir um pouco os Solos não Saturados no contexto da construção de edifícios, já lembrando aos presentes o capítulo *Fundações em solos não saturados* (Sales et al., 2015), que integra o livro *Solos não saturados no contexto geotécnico*. Vamos, então, ouvir o que tem a nos dizer o Professor Velloso.

2.3 Construção de Edifícios

Eng. Velloso: – Obrigado pela oportunidade e a todos pela presença. É verdade que, não raro, as fundações de edifícios, em especial as profundas, têm, pelo menos, suas extremidades assentes em solos saturados, no entanto, grande parte das escavações, das contenções e das próprias fundações dos edifícios se encontram em condições não saturadas. Os projetos se fundamentam quase sempre em ensaios de campo, sondagens e provas de carga. Mas tais ensaios de campo, no caso, de presença de mantos não saturados, não seriam afetados pela sucção? E essa sucção não está a variar ao longo dos anos e durante as fases de projeto, execução e vida útil da obra? Estou certo de que muitos nesse público tão seletivo responderão de pronto que sim. Mas se isso é verdade, por que, geralmente, não se quantificam e consideram tais efeitos?

Dr. Milton: – Estou apreciando muito a sua fala, Professor, pois a colocação de perguntas nos remete à reflexão, um dos pilares do tratamento filosófico dos problemas.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Eng. Velloso: – Obrigado, Dr. Milton, e vou continuar com minhas indagações, até porque sou alguém extremamente necessitado de respostas. Quando fazemos uma escavação ou um aterro no local de construção de um edifício, as umidades de equilíbrio do maciço e, portanto, a sucção mátrica, não irão se modificar de ponto para ponto e mesmo ao longo de um determinado período de tempo?

Eng. Jaime: – Desculpe-me a intromissão, mas podemos ir além nessa linha de reflexão. Nessas escavações, as sucções nos cantos ou na sua parte central é semelhante? E, se nos afastamos do corte, ela se mantém? Vejam que todas essas indagações mostram a necessidade de análises mais amplas no tempo e no espaço, considerando-se os conceitos de solos não saturados, e a incorporação às análises de ferramentas estatísticas e ambientais é relevante. Por exemplo, para destacar a importância das condições ambientais, cito Mascarenha *et al.* (2004), que mostram a relação entre o índice de umidade e a capacidade de carga de estacas escavadas em um manto de intemperismo não saturado. Mas, com pedido de desculpa, volto aqui a palavra ao colega Velloso.

Eng. Velloso: – Obrigado, colega Jaime, pela enriquecedora contribuição e, para finalizar, vou fazer uma última pergunta. Quando da implantação de um fundação moldada *in locu* em solo não saturado, duas consequências, provavelmente, terão lugar: a primeira diz respeito à mudança da sucção do solo por força da migração de água presente no concreto até que sua sucção se amplie e equilibre com a do solo que passa inicialmente por um processo de redução; a outra diz respeito a possíveis alterações na química do solo e, portanto, em sua sucção osmótica e equilíbrio eletroquímico, podendo afetar o seu comportamento de médio e longo prazo. Tais aspectos diretamente relacionados com a sucção no solo têm sido analisados?

Dr. Milton: – Nosso agradecimento aos Engenheiros Velloso e Jaime. Continuando as discussões, vamos ouvir o que tem a nos dizer o Urbanista Lúcio sobre os alagamentos e as inundações de áreas urbanas no Brasil.

2.4 Alagamento e Inundações

Arq. Lúcio: – Antes de tudo, o meu muito obrigado pelo honroso convite. É interessante destacar, neste momento, que mesmo cidades planejadas como Brasília passam hoje por alagamentos de algumas áreas. Eu cito esse caso para ilustrar a necessidade de uma educação mais ampla da sociedade, pois, vejam, Brasília é uma cidade planejada, com muita área verde, no entanto, a população seria, pelo menos aparentemente, carecedora de uma educação mais ampla. Por exemplo, os administradores e técnicos que atuam no setor de infraestrutura continuam sem a percepção de que, apesar de todo o espaço verde existente, deve-se evitar a implantação de pavimentos impermeáveis nos locais onde o tráfego não o exige. Calçadas, ciclovias, estacionamentos e vias em áreas residenciais por onde trafegam quase que tão somente veículos leves permitem, sem problemas, a implantação de pavimentos permeáveis, aliviando o fluxo superficial. Além disso, a obstrução dos sistemas de drenagem por lixo urbano revela deficiência na educação formadora dos cidadãos. A favor da educação, é necessário integrar o conhecimento para conscientizar acerca dos impactos sobre o meio físico e sobre a sociedade. Parabênizo a iniciativa deste diálogo, pois é exercício de extrema relevância.

Dr. Milton: – É, esse caso de Brasília ilustra bem o problema da questão da educação, mas, em cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, onde tais áreas verdes inexistem, o problema parece deixar de ser tão ligado à educação. Qual sua opinião sobre o assunto, arquiteto Lúcio?

Arq. Lúcio: – Particularmente, eu continuo pensando que o problema continua guardando relação com a educação, embora seja necessário lembrar que ocorreram falhas no planejamento, na ocupação e no uso do solo, impedindo uma impermeabilização excessiva. Uma alternativa é a implantação dos sistemas de infiltração, cujas capacidades de percolação são calculadas a partir de condições saturadas. No entanto, sabemos que a infiltração no meio não saturado é mais lenta, o que resultaria em um escoamento superficial maior que o previsto no projeto original, podendo resultar em inundações. Um estudo sobre poços de infiltração e a relação com solos não saturados pode ser visto em Carvalho (2013).

Dr. Milton: – Não tinha pensado nisso... mas cabe a pergunta: à luz dos solos não saturados, a implantação dos sistemas de infiltração seria a solução ideal?

Arq. Lúcio: – Reflitam, mas eu, um simples urbanista, ousar dizer que nem sempre, pois dela podem advir outros problemas ambientais e mesmo de risco para as edificações e obras de infraestrutura. A infiltração concentrada irá afetar a umidade do solo em áreas vizinhas, além do que, dependendo da qualidade da água a ser infiltrada, ela poderá gerar a contaminação do lençol freático. Algo também importante a ser observado é



se nesses locais de infiltração não estão presentes camadas de cascalho nas quais a matriz grossa não é filtro da matriz fina, o que pode dar origem à formação de cavidades e subsidências a médio e longo prazo. Mas fica aqui ainda uma pergunta: a origem desses alagamentos e dessas inundações têm suas origens apenas no meio urbano?

Dr. Milton: – Obrigado, Arquiteto Lúcio, e, apesar do curto tempo que temos, vamos ouvir a opinião de alguém que atua na área rural. A Engenheira Florestal Jeanine poderia nos falar um pouco sobre o assunto?

Eng. Flor. Jeanine: – Por certo que sim. Será um prazer falar para tão seletto público. A área rural e parte dela podem ser áreas de contribuição para os cursos d'água que permeiam os centros urbanos. O uso do solo pode não só acelerar a chegada da água aos cursos d'água como ampliá-la. Como é do conhecimento de muitos dos profissionais aqui presentes, os ciclos de molhagem e secagem de áreas submetidas ao plantio agrícola e mesmo em áreas de pastagem geralmente conduzem o solo à contração e redução da porosidade por meio da atuação da sucção mátrica, o que gera certa impermeabilização e ampliação do fluxo superficial. É evidente que se pode levantar a questão se os solos menos porosos, ao apresentarem maior sucção, não facilitariam a infiltração. Mas, como já pontuado antes, a formação de uma lâmina de água sobre a superfície do terreno torna a fase ar presente no solo oclusa, dificultando a infiltração das águas pluviais, conduzindo-as aos cursos d'água que drenam para os meios urbanos e agravando os problemas das inundações. Por outro lado, as características das chuvas nas regiões tropicais, rápidas e intensas, tendem a favorecer maior fluxo superficial, que, associado à impermeabilização do solo, agrava os problemas de alagamento e de inundações.

Dr. Milton: – Obrigado, Engenheira Jeanine. Vamos agora tratar do nosso último tema previsto para esta Mesa Redonda, que tratará da estabilidade de taludes e encostas. Vamos iniciar ouvindo o Geólogo Othon, pois estamos certos de que o estado de saturação dos solos e as próprias rupturas de taludes guardam relação com aspectos morfológicos e geomorfológicos locais.

2.5 Rupturas de Taludes e Encostas

Geol. Othon: – Início minha fala agradecendo o prazeroso convite para estarmos aqui juntos nesta Mesa Redonda, discutindo temas tão relevantes. Vou iniciar minhas colocações fazendo um elo com o tema anterior, pois a introdução dos insumos agrícolas dependem, a médio e longo prazo, do tipo de solo, por afetar a sucção osmótica nele atuante, e, em alguns casos, afetar a sua estabilidade estrutural, promovendo o desencadeamento da ruptura de maciços. Mas um outro elemento de grande relevância diz respeito à interferência da geomorfologia e das condições de insolação do maciço, pois estas interferem diretamente na umidade ao longo do maciço e, por consequência, em sua estabilidade. Observem que, em momentos de grande incidência de rupturas de encostas, geralmente elas se concentram em maior número nas superfícies côncavas. É evidente que a qualidade da água infiltrada, assim como a geologia estrutural e a sensibilidade do solo a alterações de sucção são fatores determinantes nessas rupturas. Mas vou ficando por aqui, pois estou ansioso por ouvir o Professor José Henrique, um grande especialista na área de solos não saturados.

Eng. José Henrique: – Obrigado, Geólogo Othon. Minha fala guardará um elo com muito do que foi dito até aqui nesta Mesa Redonda. Estou certo de que muitos esperam me ouvir falar sobre a influência da sucção na estabilidade de taludes, no entanto, embora essa questão tenha grande relevância, ela guarda relação com certa estaticidade do maciço ao longo do tempo e nela, geralmente, analisa-se apenas sua estabilidade em função de alterações da sucção. No entanto, quando se faz um corte gerando um talude, seja em meio rural ou urbano, de imediato altera-se a condição de fluxo e a faixa da umidade de equilíbrio com a atmosfera. Geralmente se ampliam as sucções na zona que passa à superfície do maciço. A atuação dessas sucções são passíveis de alterarem o solo, como mostrou Lima (2003) ao estudar ravinas e voçorocas do Distrito Federal. As alterações geradas por ação da sucção, muitas vezes, conduzem a um processo de esqueletização do maciço, alterando não só fisicamente o solo, como afetando a sua própria curva característica, o que confere à análise da estabilidade de taludes a necessidade de um olhar diferenciado do normalmente adotado, pois o fator tempo assume outras particularidades que as simples variações sazonais de sucção. Penso que não só essa como várias outras questões atinentes à relevância de se considerar os conceitos de solos não saturados nas análises de estabilidade de taludes devam ser mais valorizadas de modo a se aperfeiçoarem as análises, minimizando os riscos de ruptura. Vou ficando por aqui. Obrigado pela atenção de todos.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Dr. Milton: – Obrigado, Geólogo Othon. Obrigado, engenheiro José Henrique. Veio-me à mente, neste momento, que seria oportuno conversarmos um pouco sobre os solos não saturados no contexto da educação, pois esse talvez seja um aspecto dos mais relevantes, o que acham? Vejo que uma mão se levantou ali no centro do auditório. Por favor, não me lembro de conhecê-lo. Por favor, identifique-se em sua fala.

2.5 Os Solos não Saturados no Contexto da Educação

Eng. Jean Jaques: – Obrigado pela oportunidade. O meu nome é Jean Jacques. Sou francês, mas mantenho sempre o Brasil vivo em meu coração. A minha experiência neste país foi intensa, interagindo com professores na Universidade Federal da Paraíba – Campina Grande, que, nos idos dos anos 70-80, tinha os seus pesquisadores envolvidos em um importante Projeto de Pesquisa voltado para o estudo dos solos lateríticos, que era financiado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias. O exemplo que vou citar mostra a importância das relações institucionais, da relação entre o meio acadêmico e aplicado e sobretudo a necessidade de abrirmos a nossa mente, libertando-nos dos dogmas, dos conhecimentos postos e das normas técnicas existentes. Vejam, libertar não significa abandonar, mas usar os seus fundamentos para a reflexão e os avanços no conhecimento e desenvolvimento tecnológico.

Dr. Milton: – Ótimo, engenheiro Jean Jacques, mas estamos curiosos por ouvir o seu exemplo e a sua contextualização em relação à educação.

Eng. Jean Jaques: – É claro, mas já situe essa minha fala inicial como de grande relevância para a educação e que deve, a meu ver, integrar o nosso ensinar. No início de 1981, estive dando um curso na Pós-Graduação em Engenharia Civil da referida Universidade, e lá conheci um jovem estudante. Pelo seu pensamento aberto, eu lhe convidei para integrar uma equipe de estudo na França, de cunho aplicado e fruto da interação entre o nosso Instituto Universitário e o Laboratório de *Ponts et Chaussées* Regional. A ideia era que ele estudasse o comportamento de um solo calcário agregado, que compunha um aterro rodoviário instrumentado devido ao caráter evolutivo da textura desse material. Mas esses solos calcários e os solos lateríticos são materiais diferentes, e qual seria, então, a contribuição para o entendimento destes últimos? Vejam, aqui entra algo que, para aqueles que têm a capacidade de percepção aguçada, tão frequente nos engenheiros, já puderam perceber: a agregação é a similaridade; o que mudam são os agentes agregadores e cimentantes. Mas, vejam, mesmo nos solos lateríticos, o nível de estabilidade dos agregados é extremamente variável e, em termos de solos não saturados, temos, nesses dois materiais, a relevância da distribuição de poros, mais ou menos intensa quando se trata de solos compactados, pois a compactação fecha os macroporos. Observem, já naquela época, vislumbramos a importância de situar a prática da engenharia no contexto dos solos não saturados e o estudo se fundamentou nessas análises. Mas vou um pouco além para realçar a importância na nossa abertura mental, pois a estabilidade daqueles agregados calcários pode perfeitamente servir de base para reflexão quando do uso dos solos saprolíticos na construção de aterros rodoviários e mesmo de barragens de terra, uma vez que, nesses solos tropicais menos intemperizados, geralmente são mantidas, na construção, fragmentos de maior tamanho como os agregados. Desculpem-me, mas talvez o colega José German, que está aqui presente e foi meu contemporâneo naquela ocasião na UFPB – Campina Grande, na qualidade de professor visitante, tenha, por sua interação interinstitucional, algo a acrescentar.

Eng. José German: – Obrigado. Se me permitem... Vejam, aquele projeto da UFPB era algo muito importante, pois estudava solos tropicais das Regiões Norte e Nordeste por meio da interação entre a Universidade, o IPR, empresas e DERs, levando as inquietações e necessidades do mundo prático para dentro da universidade e os conhecimentos nela gerados para dentro das empresas. Para isso, precisávamos inserir em nossas aulas aspectos relevantes, como o nível de intemperização dos solos e o estado ou estados de saturação em que se encontrariam nas obras, desde uma rodovia pavimentada, passando por uma não pavimentada, até chegar às barragens de terra. Como conclusão, eu finalizo dizendo que, no meu entendimento, é fundamental levarmos a engenharia aplicada para dentro das universidades e os resultados das pesquisas para dentro das empresas de modo a melhorar as práticas da engenharia. Vejam, sem a demanda, não há necessidade de pesquisa, e sem divulgar os seus resultados em meios plenamente acessíveis em países como o Brasil, como é o caso dos eventos científicos, elas perdem a razão de serem feitas.

Dr. Milton: – O nosso muito obrigado aos Engenheiros Jean Jacques e José German por suas enriquecedoras e oportunas colocações.



3 Considerações Finais

Dr. Milton: – Embora o formato de diálogo deste artigo já tenha tido uma grande relevância na história da humanidade, ele perdeu sua importância nos tempos atuais. O artigo, no entanto, sem demérito para os modelos usuais, mostrou que o formato de diálogo pode levar à reflexão sobre diferentes temas da engenharia geotécnica. Várias questões sobre solos não saturados estão apresentadas no livro *Solos não saturados no contexto geotécnico* (Camapum de Carvalho *et al.*, 2015). É importante desmistificar a visão de grande complexidade dos conceitos dos solos não saturados que parece mantermos viva em nossas mentes. Vejam, por exemplo, que Lelis e Camapum de Carvalho (2011), na cartilha *Meio Ambiente: Infiltração*, já introduziram alguns conceitos de solos não saturados para crianças da primeira à quinta/sexta séries do ensino fundamental, de modo a mostrar a importância dos solos não saturados não só para a engenharia como para a sociedade em geral, pois considerá-los é importante para a segurança e para o desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio ao desenvolvimento de pesquisas voltadas para o entendimento de propriedades e comportamento de solos não saturados. À Rogéria Lourenço dos Santos, pela revisão textual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camapum de Carvalho, J., Gitirana Jr. G. F.N.; Machado, S.L.; Mascarenha, M.M.A.; Silva Filho, F.G (Organizadores) (2015). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 1 ed., ABMS, São Paulo, 759p.
- Carvalho, E.T,L (2013). *Avaliação geotécnica de poços de infiltração*. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília 284p.
- Gheling , W.Y.Y.; Rezende, L.R. de; Lucena, L.C.F.L; Bernucci, L. L. B.; Nunez, J.A.P.; Ceratti, J. A. P.; Camapum de Carvalho, J. (2015). *Estruturas de pavimento no contexto dos solos não saturados. Erosão*. In: José Camapum de Carvalho, Gilson de Farias Neves Gitirana Junior, Sandro Lemos Machado, Márcia Maria dos Anjos Mascarenha, Francisco Chagas da Silva Filho. (Org.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 1ed.São Paulo: ABMS, 2015, v. 1, p. 687-731.
- Lelis, A.C.; Camapum de Carvalho, J. (2011). *Cartilha Meio Ambiente: Infiltração*. 1ª ed. Brasília: Faculdade de Tecnologia, v. 1, 47p.
- Lima, M.C. (2003). *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 336 p.
- Monoli, R.S.; Camapum de Carvalho, J.; Cooper, M. (2018). *Erosão hídrica em solos cultivados*. In: Sales, M.M.; Camapum de Carvalho, J.; Mascarenha, M.M.A.; Luz, M.P.; Souza, N.M.; Angelim, R.R. (Org.). *Erosão em Borda de Reservatório*. 1ª ed. UFG, 2018, vol. 3, p. 369-397.
- Sales, M.M; Vilar, O.M.; Mascarenha, M.M.A; Pereira, J.H.F.; Silva, C. M.; Camapum de Carvalho, J. (2015). *Fundações em solos não saturados*. in *Erosão*. In: José Camapum de Carvalho, Gilson de Farias Neves Gitirana Junior, Sandro Lemos Machado, Márcia Maria dos Anjos Mascarenha, Francisco Chagas da Silva Filho. (Org.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 1ed. São Paulo: ABMS, 2015, v. 1, p. 652-685.
- Mascarenha, M. M. A.; Camapum de Carvalho, J.; Guimarães, R. C. (2004). *Uso de dados pluviométricos na avaliação de capacidade de carga de estacas escavadas*. In: 5 Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 2004, São Carlos, SP. *Solos Não Saturados*, ABMS. v. 1. p. 363-367.
- Mascarenha, M. M. A.; Mahler, C. F. ; Lafayette, K. P. V. ; Almeida, J.G,R ; Nacinovic, M. G. G. ; Bandeira, A. P. N. . *Erosão*. In: José Camapum de Carvalho, Gilson de Farias Neves Gitirana Junior, Sandro Lemos Machado, Márcia Maria dos Anjos Mascarenha, Francisco Chagas da Silva Filho. (Org.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 1ed.São Paulo: ABMS, 2015, v. 1, p. 581-612.
- Vilhena, R.M (2019). *Soil stabilization with lime for reservoir shoreline erosion control*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, 134p.