

Caracterização Mineralógica e Microestrutural do Solo Mole Sensível do Porto de Santana, no Amapá.

Elaine Cristina Gomes Barreto

Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, Brasil, elainecgbarreto@gmail.com

Sandro Salvador Sandroni

SEA, Sandroni Engenheiros Associados, Rio de Janeiro, Brasil, ssandroni@yahoo.com.br

RESUMO: Em 28 de março de 2013, ocorreu um grande e abrupto movimento de massa envolvendo o solo marginal do Porto de Santana, no Amapá. Um grande volume de solo sedimentar silto-argiloso mole fluíu subaquaticamente por uma distância de cerca de 350 metros em direção ao fundo do rio, de maneira semelhante a que ocorre com os solos altamente sensíveis do leste do Canadá e da Escandinávia. Este comportamento na ruptura jamais havia sido registrado na costa brasileira em solos moles argilosos. Após o acidente, um amplo programa geotécnico experimental de campo e de laboratório foi montado e executado com o objetivo de caracterizar esse solo de comportamento anômalo na ruptura. O solo sedimentar mole do Porto de Santana foi coletado em amostras indeformadas tipo Shelby, em várias profundidades e em três diferentes verticais de amostragem localizadas próximas à área rompida, e algumas amostras foram selecionadas para receber caracterização especial de laboratório. O presente trabalho apresenta um estudo de laboratório nas amostras selecionadas contendo: ensaios de sensibilidade ao amolgamento por queda do cone sueco, ensaios mineralógicos de difração de raios X (DRX) e, finalmente, imagens obtidas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em corpos de prova tratados por liofilização para a visualização e caracterização da microestrutura do solo. Com os resultados mineralógicos obtidos foi possível identificar que o solo local teve condições para o desenvolvimento de altas sensibilidades, pois é flocculado e constituído por minerais de baixa atividade. Com os resultados microestruturais obtidos com a MEV foi possível entender os valores de sensibilidade obtidos com o cone sueco, relacionando-os ao tipo de flocculação observada.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios de Caracterização, Ensaios de Laboratório, Microestrutura de Solo, Mineralogia de Solo, Solo Sedimentar Mole, Solo Fino Sensível.

1 INTRODUÇÃO

Em 28 de março de 2013 ocorreu um grande e abrupto movimento de massa no Terminal de Embarque de Minérios de Santana, também conhecido como Porto de Santana, que está localizado à margem esquerda no Canal do Norte na foz do rio Amazonas, no estado do Amapá, conforme mostrado na Figura 1.

Na ruptura, o solo da margem do Porto de Santana se comportou semelhantemente às argilas de alta sensibilidade do leste do Canadá e da Escandinávia.



Figura 1 - Localização do Porto de Santana no estado do Amapá (Google Earth, adaptado).

Um grande volume de solo sedimentar silto-argiloso mole fluiu subaquaticamente por cerca de 350 metros em direção ao fundo do rio. O caso está descrito em Sandroni, Leroueil & Barreto (2015). Este comportamento na ruptura, jamais havia sido registrado em solos moles argilosos na costa brasileira, pelo menos que seja do conhecimento dos autores.

Após o acidente, um amplo programa geotécnico experimental de campo e de laboratório foi executado para caracterizar esse solo de comportamento anômalo na ruptura.

Este trabalho tem por objetivo apresentar e discutir os resultados das caracterizações mineralógica e microestrutural do solo do Porto de Santana, correlacionando as características de formação com o comportamento de resistência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O solo sedimentar mole do Porto de Santana foi coletado em amostras tipo Shelby em várias profundidades e em três diferentes verticais de amostragem localizadas nos pontos de estudo 1A, 2A, e 5A, que estão a montante da cicatriz do deslizamento, no lado oeste do porto, onde foram realizados os ensaios de campo e a coleta de amostras. Suas localizações estão indicadas na Figura 2.

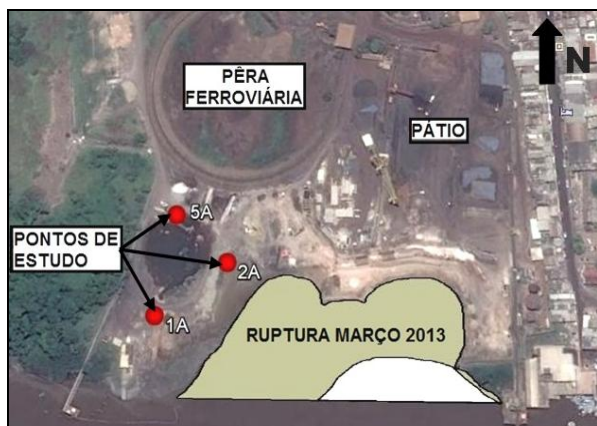


Figura 2 - Localização das verticais de amostragem com relação à área de ruptura.

As amostras Shelby possuem as seguintes características geométricas: comprimento de 60 cm, diâmetro externo do tubo de 8,0cm e diâmetro interno do tubo e da ponta biselada de 7,5cm, que resultam em uma razão de área de

13,8% e folga interna nula. As amostras, tal como foram coletadas pela empresa contratada pela administradora da obra, não ficaram em conformidade com as solicitações do consultor que foram: uso de material inoxidável e razão de área menor que 8%.

Algumas das amostras coletadas foram selecionadas (com base na classificação de “solo fino sensível” fornecida pelos ensaios de piezocone e nos altos valores de B_q apresentados) para receber caracterização especial de laboratório. Mais informações sobre esta escolha podem ser obtidas em Barreto (2015).

Tendo em vista que, de acordo com Torrance (1983), os fatores deposicionais que tornam um solo propício ao desenvolvimento de altas sensibilidades são: a predominância de minerais de baixa atividade e o arranjo microestrutural floculado, o presente trabalho apresenta um estudo de laboratório nas amostras selecionadas que contém:

- 1) Ensaios de queda de cone sueco para medição da sensibilidade ao amolgamento;
- 2) Ensaios de difração de raios X (DRX) e medição da atividade do solo para caracterização mineralógica;
- 3) Ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a visualização da microestrutura do solo.

2.1 Medição da Sensibilidade ao Amolgamento pela Queda do Cone Sueco

O cone sueco é um método rápido e simples para a determinação empírica da resistência não drenada do solo argiloso. A Figura 3 ilustra o equipamento.



Figura 3 - Equipamento cone sueco.

O cone sueco é utilizado para ensaios de sensibilidade, limite de liquidez, e tixotropia do solo (ganho de resistência do solo com o tempo após o mesmo ter experimentado sua resistência amolgada na condição amolgada). Nas áreas em que solos muito sensíveis são comumente encontrados, como a Escandinávia e o leste do Canadá, o valor de sensibilidade é obtido por meio do ensaio de queda do cone sueco (*fall cone test*) em amostras indeformadas e posteriormente amolgadas, na mesma umidade.

O equipamento possui base metálica onde é colocada a amostra que será ensaiada, uma haste metálica que permite a translação vertical do suporte do cone, quatro tipos de cone com pesos e angulações de ponta diferentes (que estão indicados na Tabela 1), um ímã que segura o cone escolhido e uma régua para leitura da penetração do cone no solo. Durante um ensaio para a determinação de S_u , a ponta do cone é colocada em contato com a superfície da amostra através da translação do suporte, e o cone é liberado ao pressionar-se um botão que interrompe o campo magnético que o segura. A penetração (h) é registrada.

Tabela 1 - Características dos cones utilizados.

C	Massa (g)	Ângulo	h (mm)	S_u (kPa)
1	400	30°	4 a 15	250 a 18
2	100	30°	5 a 15	40 a 4,5
3	60	60°	5 a 15	6 a 0,67
4	10	60°	5 a 20	1 a 0,063

No ensaio de cone sueco assume-se que a resistência ao cisalhamento não drenada (S_u cone) em uma penetração constante do cone (h) é diretamente proporcional ao peso do cone utilizado, e para cada cone “ C_i ” há uma constante de proporcionalidade, tal como indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Determinação de S_u como o cone sueco.

C_1	S_u (kPa) = 3973,2 x $[h$ (mm)] ^{-2,0}	(1)
C_2	S_u (kPa) = 982,9 x $[h$ (mm)] ^{-1,996}	(2)
C_3	S_u (kPa) = 144,5 x $[h$ (mm)] ^{-1,989}	(3)
C_4	S_u (kPa) = 22,07 x $[h$ (mm)] ^{-1,952}	(4)

Para determinar o valor da sensibilidade, o ensaio é feito com o material na condição indeformada, quando é obtida a resistência S_u cone, e logo depois é feito com o material na

condição totalmente amolgada (preservando o teor de umidade inicial), quando é obtida a resistência amolgada S_{ur} cone. A sensibilidade sendo obtida pela razão entre a primeira e a segunda, conforme mostrado na equação 5.

$$S_t = \frac{S_u}{S_{ur}} \quad (5)$$

2.2 Mineralogia

A mineralogia sozinha não é capaz de diferenciar se um solo argiloso é muito sensível ou não, pois dois solos com a mesma mineralogia básica podem ter diferentes valores de sensibilidade (Skempton & Northey, 1952). A maioria dos solos argilosos de alta sensibilidade relatadas na literatura possui mineralogia da fração de tamanho de argila dominada por minerais de baixa atividade. Os minerais tipicamente encontrados em argilas altamente sensíveis, potencialmente rápidas são: mica hidratada/ilita e clorita (argilominerais) e quartzo, feldspato e anfibólio (minerais não argílicos), e nunca mais do que traços de argilominerais expansivos (Torrance, 1983; Mitchell & Soga, 2005), com atividade frequentemente menor que 0,5.

Os argilominerais e outros minerais tanto primários quanto secundários podem ser identificados usando análises de Difração de Raios X (DRX). Esta identificação é feita com base nas características cristalográficas dos minerais.

A técnica de ensaio consiste na incidência de um feixe de raios X (de comprimento de onda conhecido) sobre a amostra posicionada no centro do equipamento. Como consequência o feixe se difrata e reflete com ângulos 2θ que são característicos do retículo cristalino do mineral, e desta forma obtém-se o correspondente difratograma, que é um gráfico intensidade do pico versus 2θ . Os difratogramas são analisados com ênfase na posição dos picos, intensidade, forma e amplitude. Quanto mais alto e agudo é o pico, mais bem cristalizado é o mineral. Com o difratograma e a Lei de Bragg é possível calcular as distâncias interplanares basais “ d ”. A Tabela 3 apresenta as distâncias interplanares

basais típicas, utilizadas para a identificação dos principais argilominerais no difratograma.

Tabela 3 - Distâncias interplanares basais típicas para argilominerais.

d (nm)	Possíveis argilominerais
0,36	Caulinita, refração secundária
0,71	Caulinita, refração primária, haloisita anidra
1,0	Esmectita anidra, vermiculita anidra, ilita, haloisita hidratada
1,4	Esmectita hidratada, vermiculita hidratada e clorita
1,7	Esmectita glicolada

Neste trabalho, foram utilizadas amostras de solo seco em estufa a 60°C, destorroado e passante na peneira #200 (abertura 0,075mm contendo fração argila, silte e areia fina) com o qual foi preparada uma suspensão em água para cada amostra. Este material foi gotejado em três lâminas de vidro, com auxílio de pipeta, e foi deixado secar naturalmente, para orientação das partículas. A primeira lâmina foi identificada como “natural”, a segunda foi colocada em dissecador para saturação com etilenoglicol por 24h e identificada como “glicolada” e a terceira foi levada à mufla a 550°C por 24h e identificada com “aquecida”. A existência das lâminas glicoladas e aquecidas ficou condicionada à suspeita da presença de argilominerais 2:1 (esmeticta e vermiculita) ou 2:1:1 (clorita).

As irradiações no difratômetro foram realizadas com 2 θ no intervalo de 3° a 30°, passo 0,02° e medidas a cada 1 segundo.

2.2.1 Atividade dos minerais

Para avaliar a atividade coloidal do solo argiloso, utiliza-se o Índice de Atividade de Skempton (1953), definido pela equação 6, e calculado após a execução do ensaio de limite de liquidez feita sem secagem prévia do solo.

$$IA = \frac{(LL - LP)}{\% < 2\mu m} \quad (6)$$

A classificação da atividade do solos distinguiu solos de baixa atividade para IA < 0,75, atividade normal para IA entre 0,75 e 1,25 e ativo para IA > 1,25.

Para avaliar a contribuição da parcela amorfa do solo na sua atividade, foi realizada a quantificação da matéria orgânica pelo método do carbono orgânico, cujo metodologia de ensaio está descrita em detalhes no Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 2011).

2.3 Microestrutura

A estrutura indeformada de argilas sensíveis é composta de partículas e agregados de partículas em arranjo floculado. As associações de partículas laminares e alongadas podem ser floculadas borda-a-borda ou borda-a-face, como mostra a Figura 4, formando um arranjo aberto do tipo “castelo de cartas” com conexões instáveis e grandes poros entre-agregados.

Após sua formação, a estrutura floculada pode sustentar tensão efetiva em índice de vazios mais alto do que seria possível se o arranjo fosse disperso. No entanto, quando estes solos saturados são amolgados, ocorre a quebra da estrutura e a perda de resistência, que é acompanhada pelo aumento da poropressão e diminuição drástica da tensão efetiva. Isto ilustra os efeitos da metaestabilidade estrutural (Mitchell & Soga, 2005).

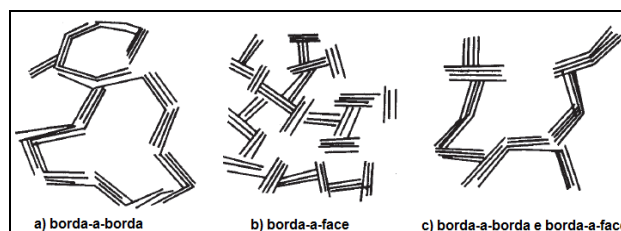


Figura 4 - Tipos de estruturas de agregados floculados (adaptado de Collins & Mc Gown, 1974).

O equipamento utilizado, o microscópio eletrônico de varredura de baixo vácuo, não analisa bem amostras úmidas. Portanto, para visualizar a estrutura do solo com o mínimo de perturbação possível, foi aplicada a técnica de liofilização para a preparação das amostras, que consiste em congelar instantaneamente o solo com uso de nitrogênio líquido (- 170°C) e secá-lo em seguida por meio de sublimação com uso de dissecador a vácuo (- 40 kPa), preservando assim a microestrutura do solo para caracterização. O procedimento de preparação foi baseado naquele aplicado por Locat (2007) e

mais detalhes podem ser obtidos em Barreto (2015).

A amostra foi colada sobre um pino cilíndrico e levada para a metalização da superfície com ouro, a fim de ter boa condutividade elétrica e permitir captura de imagens nítidas. A amostra foi então colocada dentro da câmara de vácuo do equipamento para iniciar a observação no microscópio eletrônico.

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISES

3.1 Sensibilidade ao Amolgamento

A primeira fase da caracterização foi a de identificar a magnitude da sensibilidade dos materiais estudados, e correlacionar S_{ur} com o índice de liquidez medido nas amostras. Os resultados, obtidos por Barreto (2015) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados de sensibilidade com cone sueco e valores de IL correspondentes. C = cone usado, h = penetração do cone (em mm), S_u , e S_{ur} em kPa.

Ponto Prof. (m)	Indeformada			Amolgada			S_t	IL
	C	h	S_u	C	h	S_{ur}		
5A 16,15	1	8,5	55	2	6,3	25	2,2	0,5
5A 20,15	1	10	40	2	13	6,4	6,3	0,8
2A 21,15	2	8	16	2	12	6,8	2,3	0,8
2A 29,45	1	7,2	77	2	8,8	13	6,1	0,5
1A 36,45	1	9	49	3	9,3	2,1	23	1,3
1A 38,40	1	12	28	3	10	1,7	16	2,1

Como se pode ver na Tabela 4, duas das amostras estudadas apresentaram sensibilidades muito elevadas e maiores que 16 (1A 36,45m e 1A 38,40m). Isto ocorreu devido às resistências amolgadas S_{ur} cone medidas terem sido baixas (2,1 kPa e 1,7 kPa, respectivamente). Nota-se também que os índices de liquidez das mesmas foram elevados ($IL > 1$), o que para um solo silto-argiloso é visto como indicativo forte de metaestabilidade estrutural.

Outras duas amostras apresentaram sensibilidade da ordem de 6 (2A 29,45m e 5A 20,15m), com resistências amolgadas S_{ur} cone de 12,7 kPa e 6,4 kPa, e índices de liquidez baixos 0,5 e 0,8, respectivamente. As demais (2A 21,15m e 16,15m) apresentaram sensibilidade

baixa da ordem de 2, e índices de liquidez também baixos 0,8 e 0,5, respectivamente.

3.2 Análises Mineralógicas

A Figura 5 apresenta um dos difratogramas obtidos após a realização da DRX nas amostras de solo estudadas. Os demais difratogramas podem ser encontrados em Barreto (2015).

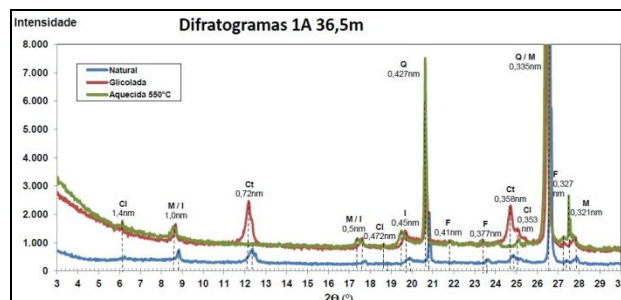


Figura 5 - Difratogramas natural, glicolada e aquecida a 550°C - amostra 1A 36,5m. Cl = clorita, M = mica, I = ilita, Ct = caulinita, Q = quartzo, F = feldspato.

Por meio dos difratogramas obtidos nas seis amostras de solo estudadas, observou-se que o solo local tem mineralogia dos 16m aos 38m de profundidade composta por argilominerais de baixa atividade e minerais primários: clorita, caulinita, ilita, mica, quartzo e feldspato.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos índices de atividade coloidal (IA) dos solos estudados correlacionados ao seu teor de matéria orgânica (MO%), realizados por Barreto (2015).

Tabela 5 - Índices de atividade e classificações dos solos.

Ponto Prof. (m)	MO %	IP %	% < 2μm	IA	Atividade coloidal
5A 16,1	6,03	41,3	53,1	0,78	Normal
5A 20,1	1,81	22,9	43,0	0,53	Baixa
2A 21,1	2,20	31,5	35,4	0,89	Normal
2A 29,5	2,53	24,4	37,3	0,65	Baixa
1A 36,5	1,69	17,1	39,2	0,44	Baixa
1A 38,5	1,97	18,8	33,4	0,56	Baixa

Como era de se esperar, tendo em vista os minerais encontrados no solo, a atividade coloidal se apresentou baixa a normal, estando os maiores valores medidos de IA relacionados ao aumento no teor de matéria orgânica no solo.

A Tabela 6 apresenta uma comparação entre as características de argilas sensíveis de

Quebec, no leste do Canadá, e do Porto de Santana. Nota-se que as amostras de alta sensibilidade do Porto de Santana têm características semelhantes às das argilas sensíveis canadenses apresentadas.

A mineralogia do solo silto-argiloso do Porto de Santana é propícia ao desenvolvimento de altas sensibilidades ao amolgamento, tendo em vista que é composta por minerais primários e argilominerais de baixa atividade.

Tabela 6 – Comparação entre as características de argilas sensíveis do leste do Canadá e do Porto de Santana.

Depósito Local	w _n %	IL	MO %	IA	Fonte
Olga					Locat
Quebec CA	85	1,5	< 1	0,48	<i>et. al.</i> (1984)
St. Marcel					Locat
Quebec CA	81	1,5	< 1	0,42	<i>et. al.</i> (1984)
St. Barnabé					Locat
Quebec CA	48	1,2	< 1	0,46	<i>et. al.</i> (1984)
Louiseville					Locat,
Quebec CA	72	1,0	1,0	0,56	Tanaka (2000)
P. Santana (36m)	55	1,3	1,7	0,44	Barreto (2015)
P. Santana (38m)	82	2,1	2,0	0,56	Barreto (2015)

3.3 Análises Microestruturais

A caracterização micromorfológica consistiu na descrição da estrutura do solo por meio do tipo e da forma das partículas elementares, dos tipos de associações de partículas (agregada ou não, floclada ou dispersa) e da descrição dos espaços dos poros, e foi feita com base em Collins & Mc Gown (1974) e em Locat (2013).

Quatro amostras foram selecionadas para visualização no microscópio eletrônico de varredura (MEV), realizada por Barreto (2015), nos planos horizontal e vertical, e são elas: 1A 36,40m; 1A 38,35m; 5A 20,15m; 2A 21,20m. Os critérios de seleção das amostras, foram: os altos valores de B_q e classificação do solo como “solo fino sensível” dados pelo piezocone, em toda profundidade do shelby; os maiores valores de índice de liquidez; e os mais baixos valores

de resistência ao cisalhamento no estado amolgado obtidos com o ensaio do cone sueco. Os resultados citados dos ensaios de piezocone podem ser encontrados em Barreto (2015) e em Sandroni, Leroueil & Barreto (2015).

A Figura 6 apresenta as imagens de MEV da amostra 1A 36,40m.

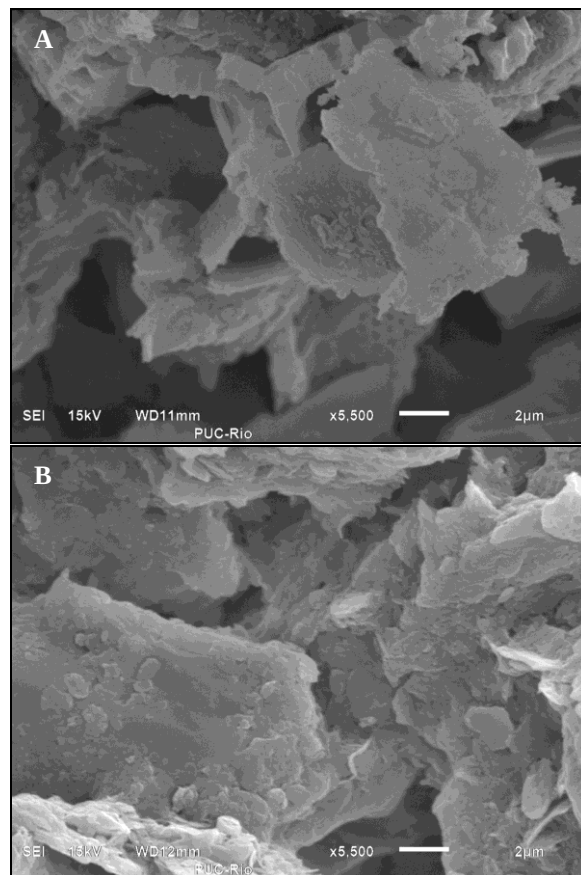


Figura 6 – Imagens de MEV de 1A 36,40m. A) Plano horizontal, B) Plano vertical.

A amostra 1A 36,40m é floclada (não possui orientação de partículas e agregados em nenhuma das direções) e apresenta grande quantidade de microfósseis, que são sílicas livres e agentes cimentantes, e que são capazes de acumular bastante água em seu interior. Estes microfósseis estão floclados juntamente com partículas e agregados de partículas grosseiros, em ambas as direções vertical e horizontal, formando uma estrutura aberta e ligada por contatos estreitos, conferindo ao material elevada porosidade e metaestabilidade. A estrutura metaestável associada à elevada quantidade de água nos interior dos poros, pode explicar sua elevada sensibilidade, sua resistência amolgada baixa S_{ur} de 2,3 kPa, seu

índice de liquidez de 1,3 e o valor de B_q elevado (valor médio de 1,4), mostrando o seu potencial para liquefazer sob amolgamento mecânico.

A Figura 7 apresenta as imagens de MEV da amostra 1A 38,35m.

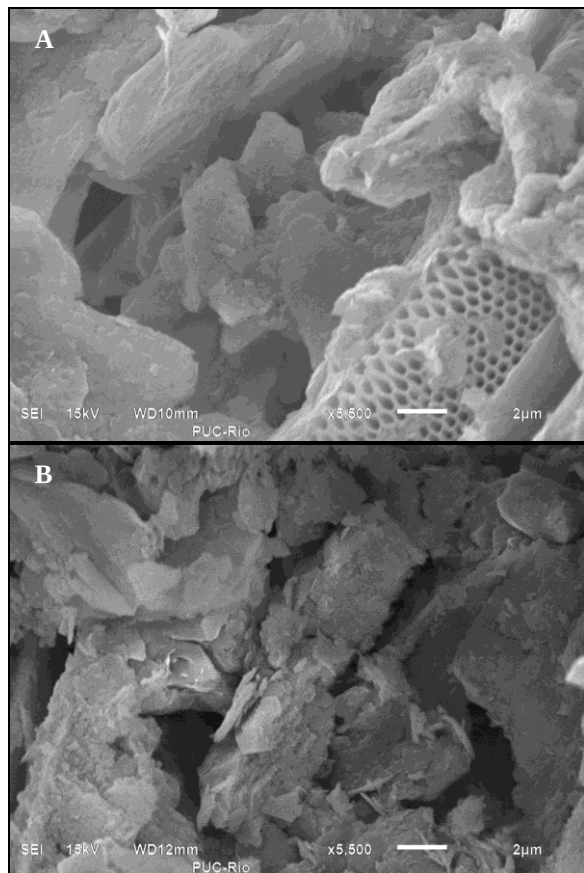


Figura 7 – Imagens de MEV de 1A 38,35m. A) Plano horizontal, B) Plano vertical.

A amostra 1A 38,35m também é floculada em ambas as direções vertical e horizontal, entretanto suas partículas estão associadas em flocos. Ela apresenta grande quantidade de microfósseis que estão floculados com as partículas e os flocos de partículas, em ambas as direções, formando também uma estrutura bem aberta e ligada por contatos estreitos, o que conferiu ao material elevada porosidade e metaestabilidade.

A estrutura metaestável e sua composição por flocos de partículas, associada ao elevado teor de umidade, pode explicar sua elevada sensibilidade, sua resistência amolgada baixa S_{ur} de 1,7 kPa, seu índice de liquidez de 2,1 e o valor de B_q elevado (valor médio de 1,36), mostrando também o potencial para liquefazer sob amolgamento mecânico.

A Figura 8 apresenta as imagens de MEV da amostra 5A 20,15m.

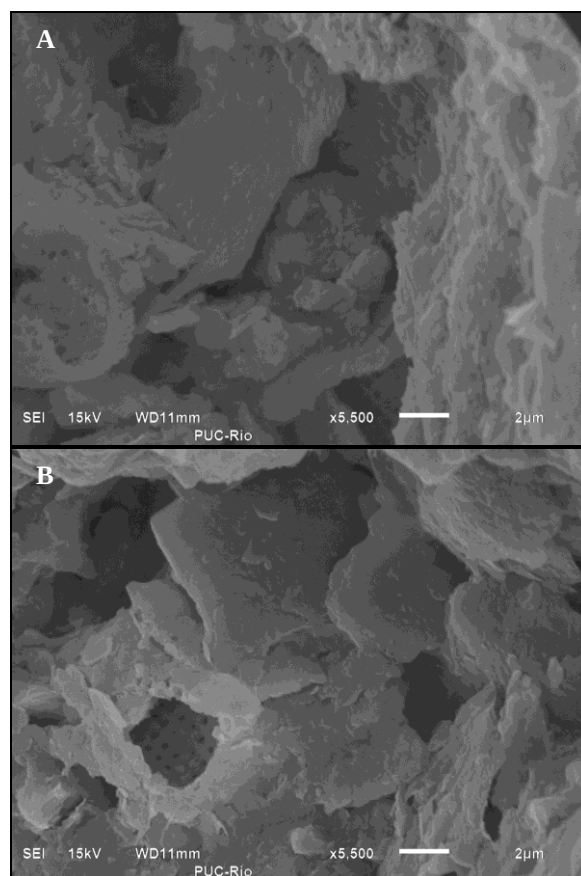


Figura 8 – Imagens de MEV de 5A 20,15m. A) Plano horizontal, B) Plano vertical.

A amostra 5A 20,15m tem estrutura composta por agregados de minerais argílicos muito unidos, orientados na direção horizontal e com baixa porosidade entre e intra-agregados. Na direção vertical, apresenta partículas e agregados de partículas dispostos aleatoriamente e floculados em partes da amostra, com estrutura aparentemente mais consolidada e menos aberta que as das amostras de alta sensibilidade (1A 36,40m e 1A 38,35m).

A sensibilidade do material medida com cone sueco ($S_t = 6,3$) poderia ser explicada por sua estrutura floculada na direção vertical, e sua resistência ao cisalhamento amolgada S_{ur} não muito baixa de 6,4 kPa poderia ser devido à consolidação sofrida em campo pelo material, que é indicada pelo menor tamanho dos poros intra-agregados em comparação aos existentes nas amostras de alta sensibilidade.

A Figura 9 apresenta as imagens de MEV da amostra 2A 21,20m.

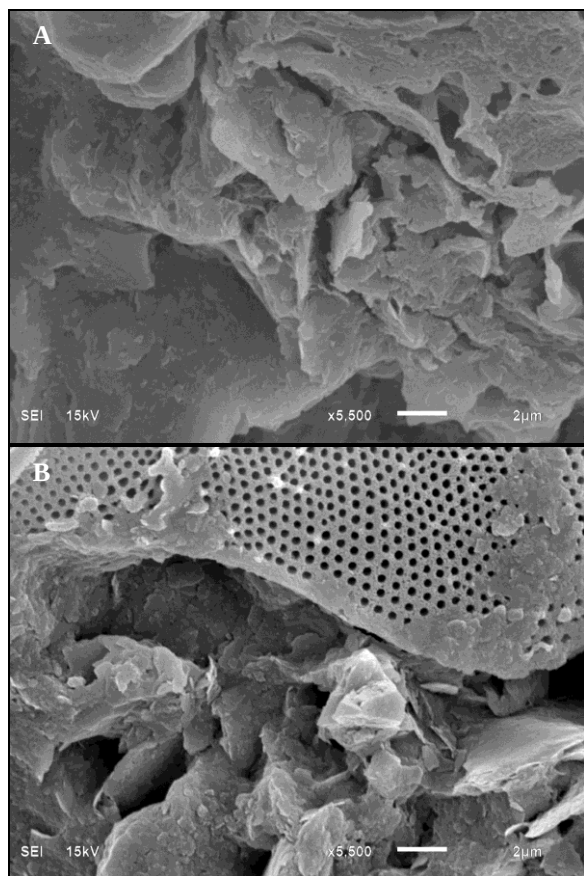


Figura 9 – Imagens de MEV de 2A 21,20m. A) Plano horizontal, B) Plano vertical.

A amostra 2A 21,20m apresentou orientação de partículas e agregados de partículas na direção horizontal. Na direção vertical apresentou intensa flocculação, porém com grande quantidade de matéria orgânica preenchendo poros. O solo aparenta estar mais consolidado que os das amostras de alta sensibilidade, e portanto possuindo estrutura menos aberta. A presença de matéria orgânica, de tal forma, pode agir como cimento e contribuir para a resistência ao cisalhamento amolgada S_{ur} não muito baixa de 6,8 kPa.

4 CONCLUSÕES

A mineralogia do solo do Porto de Santana é propícia ao desenvolvimento de altas sensibilidades ao amolgamento, tendo em vista que é composta por minerais primários e argilominerais de baixa atividade.

A microestrutura dos solos 5A 20,15m e 2A 21,20m é composta, em geral, na horizontal por agregados de partículas fortemente unidas, orientadas e de baixa porosidade, e na vertical por agregados e partículas elementares

floculadas, formando estrutura não muito aberta, e com matéria orgânica preenchendo alguns poros (no caso da amostra 2A 21,20m), o que confere a elas resistência amolgada da ordem de 6 kPa.

A microestrutura dos solos de sensibilidade alta, resistência amolgada baixa e índice de liquidez elevado (1A 36,40m e 38,35m) é flocculada em ambas as direções, tem abundância de microfósseis de elevada porosidade, além de poros grandes entre e intra-agregados e entre e intra-flocos, formando uma estrutura muito aberta e metaestável, com capacidade para armazenar elevada quantidade de água nos poros, e com potencial para liquefazer sob amolgamento.

REFERÊNCIAS

- Barreto, E.C.G. (2015). *Caracterização Física, Química, Mineralógica e Micromorfológica do Solo Mole do Porto de Santana, no Amapá*. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 207 p.
- Collins, K., Mc Gown, A. (1974) The form and function of microfabric features in a variety of natural soils. *Géotechnique*, Vol. 24, No. 2, p. 223–254, 1974.
- Embrapa (2011) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2. ed. Embrapa Solos, 230 p.
- Locat, A. (2007). *Etude D'un Etalement Lateral Dans Les Argiles De L'est Du Canada Et De La Rupture Progressive - Le cas du glissement de Saint-Barnabe-Nord*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Laval, Quebec.
- Locat, J., Tanaka, H. (2000) *Glacial and non-glacial clays: nature and microstructure of selected clays*. Proceedings IS - Yokoham of Soft Sediments.
- Locat, J., Lefebvre, G., Ballivy, G. (1984) Mineralogy, chemistry, and physical properties interrelationships of some sensitive clays from Eastern Canada. *Canadian Geotechnical Journal* 21, p. 530-540.
- Locat, J. (2013) *Morphologie et Microstructure, Porosimétrie et Surfaces*. Palestra do professor Jaques Locat, cedida pelo próprio autor ao professor Sandro Sandroni, 2013.
- Mitchell, J.K., Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior*. 3. ed., John Wiley & Sons, New Jersey.
- Sandroni, S., Leroueil, S., Barreto, E.C.G. (2015). *The Santana Port accident: Could it be a sensitive clay flowslide under the Equator?* GeoQuebec 2015, Quebec.
- Skempton, A.W., Northey, R.D. (1952). The sensitivity of clays. *Géotechnique*, 3, p. 30-53.
- Skempton, A.W (1953) The colloidal activity of clays. III *ICSMFE*. Vol 1, p. 143-147.
- Torrance, J.K. (1983). Towards a general model of quick clay development. *Sedimentology*, 30, p. 547-555.