

Caracterização Física e Microestrutural de Três Perfis de Solo Monitorados Pelo CEMADEN em Blumenau - SC

Amanda Scartezini da Silva

Graduanda em Engenharia Civil, UNESP, Guaratinguetá, Brasil, amanda.scartezini@unesp.br

Mariana Ferreira Benessiuti Motta

Professora Assistente Doutora, UNESP, Guaratinguetá, Brasil, mariana.motta@unesp.br

Pedro Ivo Mioni Camarinha

Pesquisador, CEMADEN, São José dos Campos, Brasil, pedro.camarinha@cemaden.gov.br

Márcio Roberto Magalhães de Andrade

Pesquisador, CEMADEN, São José dos Campos, Brasil, marcio.andrade@cemaden.gov.br

Daniel Metodiev

Bolsista, UNESP/CEMADEN, São José dos Campos, Brasil, daniel.metodiev@cemaden.gov.br

RESUMO: Santa Catarina se destaca pelo histórico de desastres decorrentes de deslizamentos de terra, tal como o grande desastre que atingiu o Vale do Itajaí, em novembro de 2008. Isso se deve às suas características geográficas e climáticas, com regiões montanhosas e alto índice pluviométrico. Logo, o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) promoveu a instalação de 13 Plataformas de Coleta de Dados – PCD's Geotécnicas (pluviômetros e sondas com 6 sensores de umidade do solo em cada) na cidade de Blumenau para monitoramento experimental de variáveis relacionadas a deflagração de deslizamentos. Este trabalho analisou ensaios de caracterização física e microestrutural de três horizontes de solo monitorados pelas PCD's, buscando entender seu comportamento frente às variações de umidade causadas por chuvas. A avaliação consistiu em correlacionar os ensaios de granulometria, limites de consistência e densidade dos grãos com os dados obtidos na porosimetria de mercúrio, incluindo a curva de retenção estimada, além das medições dos sensores de umidade instalados em campo. Neste estudo, os perfis de solo analisados nas PCD's apresentaram camadas superficiais com teores elevados de argila e microporos. A correlação com os dados de umidade do campo mostrou que essas camadas foram as mais responsivas às variações pluviométricas.

PALAVRAS-CHAVE: Blumenau, Encostas, Sensores de Umidade, Áreas de risco, Caracterização Microestrutural.

ABSTRACT: Santa Catarina stands out for its history of disasters caused by landslides, such as the major event that struck the Itajaí Valley in November 2008. This is due to its geographic and climatic characteristics, featuring mountainous regions and high rainfall levels. Therefore, CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) installed 13 Geotechnical Data Collection Platforms (PCDs)—equipped with rain gauges and probes containing six soil moisture sensors each—in the city of Blumenau for experimental monitoring of variables related to landslide triggers. This study analyzed physical and microstructural characterization tests on three soil horizons monitored by the PCDs, aiming to understand their behavior under moisture variations caused by rainfall. The evaluation involved correlating grain size distribution, consistency limits, and particle density tests with data from mercury porosimetry (including estimated retention curves) and field moisture sensor measurements. The results showed that the soil profiles had surface layers with high clay content and micropores. Field moisture data confirmed that these surface layers were the most responsive to rainfall variations.

PALAVRAS-CHAVE: Blumenau, Hillslopes, Moisture Sensors, Hazard-Prone Areas, Microstructural Characterization.

1 INTRODUÇÃO

Grandes e numerosos acidentes ocorridos com obras da engenharia no fim do século XIX e princípio do século atual, mostram a inadequada percepção dos princípios até então admitidos para a caracterização do solo e, por outro lado, a insuficiência de conhecimento na área (CAPUTO e CAPUTO, 2017).

No Brasil, os autores Castro et al. (2005) e Cerri e Amaral (1998) já destacavam a preocupação com a identificação e caracterização dos eventos que desencadeiam os acidentes, onde o potencializador desses eventos é a falta de conhecimento quanto às propriedades do solo.

O estado de Santa Catarina, localizado no sul do Brasil, se destaca por um histórico marcante de desastres decorrentes de deslizamentos de terra, tal como o grande desastre que atingiu o Vale do Itajaí, em novembro de 2008. Esse cenário está diretamente relacionado com suas características geográficas e climáticas, que somam regiões montanhosas a um significativo índice pluviométrico, promovido pela grande quantidade de tempestades severas que atravessam o estado anualmente, e solos susceptíveis a deslizamentos de terra.

Devido a esta importância, o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) promoveu a instalação de 13 Plataformas de Coleta de Dados – PCD's Geotécnicas (pluviômetros e sondas com 6 sensores de umidade do solo em cada) na cidade de Blumenau para monitoramento em caráter experimental de variáveis relacionadas a deflagração de deslizamentos. Dentro deste contexto, este estudo analisou os ensaios de caracterização física e microestrutural de três horizontes de solo monitorados pelas PCD's Geotécnicas, com o objetivo de compreender seu comportamento frente às variações de umidade causadas por eventos de chuva registrados desde 2019. A avaliação envolveu a correlação entre os ensaios de granulometria, limites de consistência e densidade dos grãos com os resultados da porosimetria de mercúrio (incluindo a curva de retenção estimada), associando-os ainda aos dados obtidos pelos sensores de umidade instalados em campo. A integração dessas análises busca elucidar como a microestrutura e as propriedades físicas dos solos influenciam sua dinâmica de retenção hídrica e resposta às condições climáticas.

Há um grande desafio de previsões de comportamento na geotecnia. A respeito disso, verifica-se na literatura diversos trabalhos relacionados ao desenvolvimento de sistemas de alerta baseados em modelos que levam em consideração vários fatores, tais como, condições geológicas-geotécnicas do local, propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas do solo, condições de infiltração, e a contribuição destes para a resistência do solo (e.g. CAPPARELLI e VERSACE, 2011; PARK et al., 2019; MARIN e VELÁSQUEZ, 2020).

Sendo assim, é importante entender as consequências do processo de infiltração no comportamento do solo não saturado. As variações do estado do solo mostram essa importância, pois elas fazem com que o solo nesta condição seja um sistema dinâmico, onde muitas variáveis alteram sua propriedade, tais como: as variações sazonais; a variação de intensidade de precipitação; as suas características naturais (Rocha mãe) que podem alterar desde suas granulometrias, até os resultados expressos pela curva de retenção. Portanto, observa-se a importância da caracterização dos perfis de solo para o entendimento do comportamento do mesmo, e vários autores na literatura tem seguido esse raciocínio (MENEZES, 2013; MOTTA, 2016; SHAO et al., 2018).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição das áreas de estudo

Blumenau está localizado no médio curso da bacia hidrográfica do Rio Itajaí-Açu, com 361.261 habitantes e apresenta uma área de 518,619km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022). O município está inserido na região do Litoral e Encostas do estado de Santa Catarina (PELUSO, 1986).

Em Blumenau predomina um relevo acidentado, caracterizando-se por declividades acentuadas, o relevo somado a ocupação do solo, resultam em áreas de alta e moderada suscetibilidade a deslizamentos, geralmente reincidentes (VIEIRA, 2004).

Geologicamente, o município apresenta quatro unidades estratigráficas principais: o Complexo Luiz Alves, o Complexo Metamórfico Brusque, o Grupo Itajaí e os Sedimentos Aluvionares. As coordenadas geográficas das PCDs analisadas neste estudo estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Localização das áreas de estudo.

Estação	Nome	Latitude	Longitude
PCD 4	Zendron	-26.953951	-49.087109
PCD 8	Pedro Krauss	-26.918433	-49.049418
PCD 13	Thabrulay	-26.846076	-49.045589

2.2 Comportamento microestrutural do solo

De acordo com Delage (1996), em solos não saturados, os fenômenos capilares ocorrem entre a água e as partículas do solo em um nível microscópico, dando aos efeitos microestruturais um papel predominante.

Esse papel foi confirmado por avanços em testes de solos não saturados e modelagem constitutiva, e surgiram questões sobre a distribuição e o movimento de água e ar dentro da microestrutura.

Com o objetivo de compreender então o comportamento hidromecânico, é necessário determinar características microestruturais do solo como a distribuição, conectividade, tamanho, arranjo dos poros, o contato entre partículas, bem como a forma e distribuição das partículas (Romero & Simms, 2009).

Para determinar algumas dessas características foi utilizada a Porosimetria por Injeção de Mercúrio, que se trata de uma técnica experimental para determinar a distribuição e estrutura de solos porosos.

Assim como Mascarenha (2008), a Porosimetria por Injeção de Mercúrio foi utilizada para o estudo do comportamento hidráulico do solo, uma vez é possível obter curvas características com essa técnica.

2.2.1 Porosimetria de mercúrio

A Porosimetria por Injeção de Mercúrio pressupõe que o mercúrio não penetra naturalmente nos poros. Portanto, é necessário aplicar uma pressão sobre ele. O ensaio consiste em depositar a amostra seca ao ar em um recipiente, o qual é preenchido com mercúrio. À medida que a pressão aplicada sobre o mercúrio aumenta, a altura da coluna de mercúrio diminui, pois o líquido começa a penetrar nos poros. Com os dados de pressões aplicadas e volume de poros do solo penetrado é possível traçar uma curva porosimétrica.

As faixas de microporos, mesoporos e macroporos teve como base a ABNT NBR 6502:22, que define os valores para o tamanho dos grãos, levando em conta que o diâmetro do poro é cerca de dez vezes menor do que o diâmetro dos grãos, conforme tabela 2.

Tabela 2. Faixas adotadas para microporos, mesoporos e macroporos.

Classe de poros	Fração	Tamanho do poro (Φ)
Microporos	Argilosa	$\Phi < 0.2 \mu\text{m}$
Mesoporos	Siltosa	$0.2 \mu\text{m} < \Phi < 6 \mu\text{m}$
Macroporos	Arenosa	$\Phi > 6 \mu\text{m}$

2.3 Curva de retenção do solo

Para compreender o comportamento do solo na condição não saturada é preciso entender como ocorre a distribuição, a retenção e a liberação da água nos distintos cenários que o solo pode experimentar. A água pode deslocar-se para dentro ou para fora do solo tanto por alterações mecânicas quanto ambientais. A curva de retenção de água representa a forma como a água está distribuída no solo, sendo caracterizada pela relação entre o conteúdo de água e o seu estado energético no interior do solo.

As curvas obtidas para as PCD's foram estimadas através da porosimetria de mercúrio. Segundo Motta (2016) apenas os poros que são interconectados são alcançados pelo mercúrio, resultando assim em uma diferença nos resultados da porosidade total do solo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização física do solo

Nas tabelas 3, 4 e 5 a seguir, são apresentados os resultados da caracterização física de cada PCD (Zendron, Pedro Krauss e Thabrulay, respectivamente), incluindo granulometria, limites de liquidez e plasticidade, índice de plasticidade e massa específica dos grãos. A caracterização física do solo seguiu as normas técnicas da ABNT: NBR 6457, NBR 6458, NBR 6459, NBR 7180 e NBR 7181.

Tabela 3. Resultados da caracterização física da PCD 4 – Zendron.

Intervalo (m)	Distribuição granulométrica (%)						Limites de consistência			Gs
	Argila	Silte	Areia			Pedregulho	LL(%)	LP(%)	IP(%)	
			Fina	Média	Grossa					
0,3 – 0,8	34	50	12	3	1	0	51	30	21	2,567
0,8 – 1,3	31	50	12	4	3	0	46	37	9	2,577
1,3 – 1,8	15	65	17	2	1	0	37	28	9	2,621
1,8 – 2,3	6	76	14	3	1	0	NL	NP	NP	2,633
2,3 – 2,8	6	69	15	5	5	0	NL	NP	NP	2,630
2,8 – 3,2	2	64	17	8	9	0	NL	NP	NP	2,596

Tabela 4. Resultados da caracterização física da PCD 8 – Pedro Krauss.

Intervalo (m)	Distribuição granulométrica (%)						Limites de consistência			Gs
	Argila	Silte	Areia			Pedregulho	LL(%)	LP(%)	IP(%)	
			Fina	Média	Grossa					
0,3 – 0,8	39	30	18	12	1	0	40	28	12	2,773
0,8 – 1,3	35	29	23	10	3	0	40	27	13	2,501
1,3 – 1,8	15	35	20	18	12	0	38	30	8	2,728
1,8 – 2,3	29	37	23	11	0	0	38	31	7	2,797
2,3 – 2,8	13	38	23	20	6	0	37	29	8	2,798
2,8 – 3,0	30	38	18	9	5	0	48	38	10	2,746

Tabela 5. Resultados da caracterização física da PCD 13 – Thabrulay.

Intervalo (m)	Distribuição granulométrica (%)						Limites de consistência			Gs
	Argila	Silte	Areia			Pedregulho	LL(%)	LP(%)	IP(%)	
			Fina	Média	Grossa					
0,3 – 0,7	25	23	24	17	11	0	37	25	12	2,678
0,7 – 1,3	29	26	14	18	13	0	34	20	14	2,713
1,3 – 1,8	28	22	15	20	15	0	33	20	13	2,714
1,8 – 2,3	32	27	11	16	14	0	34	21	13	2,721
2,3 – 2,8	10	27	26	24	13	0	55	45	10	2,463
2,8 – 3,3	10	35	19	32	4	0	41	32	9	2,660

A partir das caracterizações físicas ao longo da profundidade, o perfil PCD 4 (Tabela 3) apresenta camadas de silte argiloso até 1,3 m e silte arenoso até 3,2 m. O perfil PCD 8 (Tabela 4) é composto por argila arenosa até 1,3 m e areia siltosa até 3,0 m. O perfil PCD 13 (Tabela 5) apresenta areia argilosa até 2,3 m, seguida por areia siltosa até 3,3 m.

3.2 Porosimetria de mercúrio

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de porosimetria de mercúrio, realizados ao longo da profundidade, para cada ponto estudado.

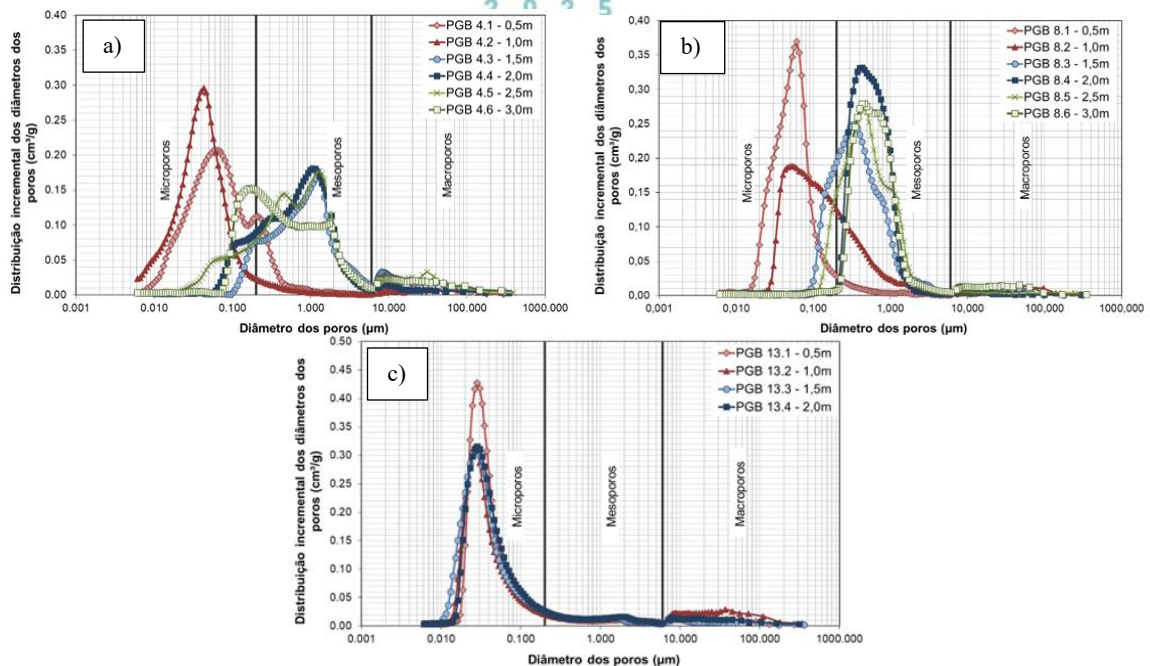


Figura 1. Resultados do ensaio de Porosimetria por Injeção de Mercúrio: a) PCD 4 – Zendron; b) PCD 8 – Pedro Krauss; c) PCD 13 – Thabrulay.

Os ensaios de porosimetria realizados no perfil Zendron (Figura 1a) revelaram uma distribuição de poros variável com a profundidade. Nas camadas mais superficiais (PGB 4.1 e PGB 4.2, entre 0,3 e 1,3 metros), observou-se predominância de microporos, com picos acentuados e uma transição gradual para mesoporos, indicando uma textura mais fina associada a solos argilosos. A partir de 1,5 metros de profundidade (PGB 4.3 a PGB 4.6), a distribuição tornou-se mais equilibrada entre microporos e mesoporos, porém com maior concentração na faixa dos mesoporos. Macroporos foram pouco expressivos em todas as amostras.

Ao comparar esses resultados com o perfil pedológico, verificou-se que a transição entre microporos (PGB 4.2) e mesoporos (PGB 4.3) coincide com a mudança do solo de silte argiloso para silte arenoso, conforme identificado na caracterização geotécnica. Essa correspondência reforça a relação entre a microestrutura do solo e sua classificação textural.

No perfil Pedro Krauss, a distribuição de poros também apresentou variação significativa com a profundidade. As amostras superficiais (PGB 8.1 e PGB 8.2) exibiram dominância de microporos, compatível com solos argilosos, enquanto as camadas mais profundas (PGB 8.3 a PGB 8.6) mostraram predomínio de mesoporos, indicando maior influência de silte. A presença de macroporos foi reduzida em todas as profundidades.

A comparação com o perfil de solo mostrou que a transição entre PGB 8.2 e PGB 8.3 (1,0 – 1,5 m) corresponde à mudança de argila arenosa para areia siltosa. No entanto, houve algumas divergências, uma vez que a porosimetria indicou maior presença de microporos em relação ao esperado para uma areia siltosa.

O perfil Thabrulay apresentou um comportamento distinto, com predominância quase absoluta de microporos nas amostras PGB 13.1, PGB 13.3 e PGB 13.4, sugerindo um solo altamente argiloso. Apenas PGB 13.2 mostrou um leve aumento em macroporos, indicando possível heterogeneidade local.

Entretanto, ao confrontar esses dados com a classificação pedológica, verificou-se uma grande discrepância: o perfil é caracterizado como areia argilosa (até 2,3 m) e areia siltosa (até 3,3 m), enquanto a porosimetria apontou características mais condizentes com um solo argiloso. Apenas PGB 13.2 apresentou alguma concordância, com uma pequena quantidade de macroporos correspondente à fração arenosa. Essa divergência sugere a necessidade de revisão na caracterização do solo ou possíveis variações amostrais.

3.3 Curva de retenção estimada

Na Figura 2 encontram-se os resultados das curvas de retenção, permitindo correlacionar o comportamento hidráulico com a composição e estrutura dos solos em diferentes profundidades.

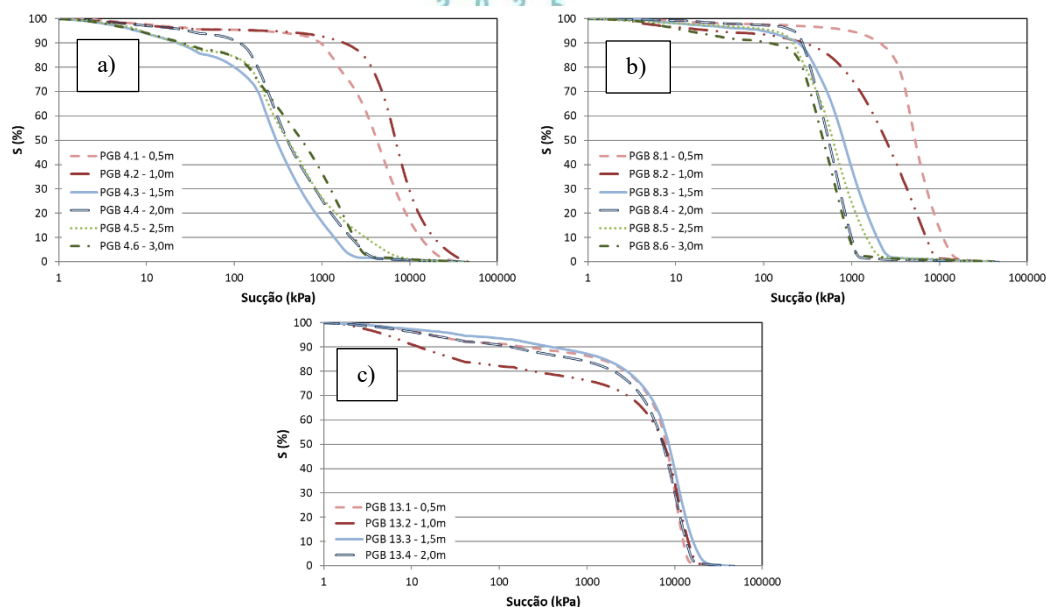


Figura 2. Curvas de retenção obtida: a) PCD 4 – Zendron; b) PCD 8 - Pedro Krauss; c) PCD 13 – Thabrulay.

No perfil Zendron (PCD 4), observou-se uma clara diferenciação em dois grupos de curvas. As amostras mais superficiais (PGB 4.1 e PGB 4.2) apresentaram comportamento unimodal típico de solos argilosos, com valores de entrada de ar entre 4.000 e 8.000 kPa, indicando alta capacidade de retenção hídrica mesmo sob elevadas tensões. Este padrão condiz com a classificação do solo como silte-argiloso nas camadas superficiais. Já nas amostras de maior profundidade (PGB 4.3 a PGB 4.6), as curvas assumiram um caráter bimodal, deslocando-se para menores tensões, o que sugere uma transição para um material mais siltoso, concordando com a mudança para silte-arenoso identificada no perfil pedológico a partir de 1,3 metros de profundidade.

O perfil Pedro Krauss (PCD 8) exibiu maior variabilidade, com quatro padrões distintos de retenção. As curvas PGB 8.1 e 8.2 mantiveram características argilosas, embora com diferenças significativas na inclinação das curvas de drenagem. Enquanto a PGB 8.1 apresentou drenagem mais abrupta, a PGB 8.2 mostrou liberação mais gradual de água, sugerindo diferenças na organização dos poros. As amostras mais profundas (PGB 8.3 a 8.6) indicaram transição para comportamento siltoso, compatível com a classificação de areia siltosa no perfil. A curva PGB 8.6 destacou-se por apresentar leve bimodalidade, possivelmente refletindo heterogeneidades locais na estrutura do solo.

Já no perfil Thabrulay (PCD 13), todas as curvas demonstraram predominância de características argilosas, com altos valores de entrada de ar (em torno de 8.000 kPa) e perda abrupta de água em determinados intervalos de sucção. Este comportamento contrastou significativamente com a classificação do perfil como areia argilosa e areia siltosa, levantando importantes questões sobre a representatividade das amostras ou possíveis inconsistências na caracterização inicial. A exceção foi a curva PGB 13.2, que apresentou leve bimodalidade, sugerindo a presença de alguma fração mais grossa localizada.

3.4 Correlação dos resultados e comparação com os sensores de umidade

As Figuras 3 a 5 apresentam os dados pluviométricos e de umidade volumétrica para as estações PCD 4, PCD 8 e PCD 13. Em todos os perfis, observou-se um padrão consistente: as camadas superficiais (0,5-1,0 m) apresentaram as variações mais acentuadas de umidade em resposta às chuvas, enquanto as camadas mais profundas mostraram flutuações mais suaves.

No perfil PCD 4 (silte argiloso), a fração argilosa promoveu maior retenção hídrica nas camadas superficiais. Já nas estações PCD 8 e PCD 13, a camada de 0,5 m (rica em microporos) respondeu mais rapidamente às precipitações, com as camadas intermediárias apresentando variações graduais. Em todos os casos, as camadas mais profundas registraram aumentos significativos de umidade apenas após períodos prolongados de chuva.

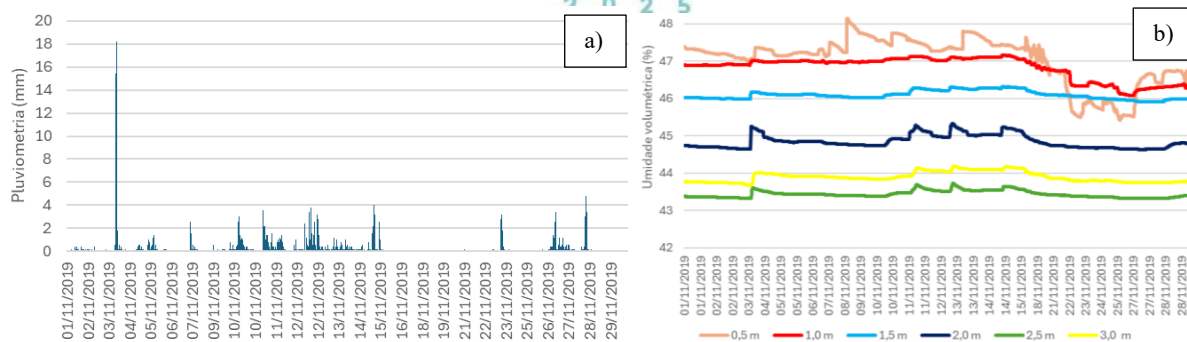


Figura 3. PCD 4 – Zendron: a) Pluviometria em nov/2019; b) Umidade volumétrica nov/2019.

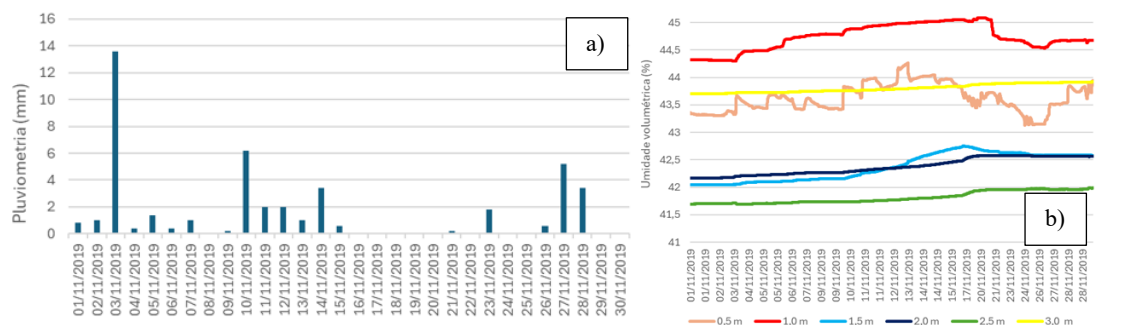


Figura 4. PCD 8 – Pedro Krauss: a) Pluviometria em nov/2019; b) Umidade volumétrica nov/2019.

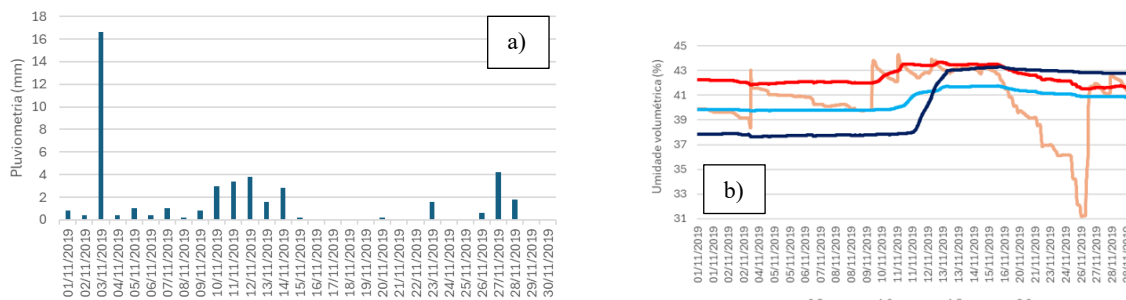


Figura 5. PCD 13 – Thabrulay: a) Pluviometria em nov/2019; b) Umidade volumétrica nov/2019.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou três perfis de solo monitorados pelas PCDs geotécnicas em Blumenau (PCDs 4, 8 e 13), caracterizando física e microestruturalmente cada um. Os dados de umidade revelaram maior retenção hídrica nas camadas superficiais, diretamente relacionada à microestrutura do solo. Solos argilosos, ricos em microporos, demonstraram capacidade elevada de retenção e drenagem mais lenta comparados aos arenosos.

O estudo representa uma primeira etapa na caracterização dos solos da região, sendo fundamental avançar na investigação de parâmetros como permeabilidade, curvas de retenção diretas e propriedades mecânicas para futuras análises de estabilidade e modelagens numéricas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Projeto do CNPq nº 446142/2023-9 e CEMADEN pelo apoio e colaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457. *Solo –Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6502. *Solos e rochas - terminologia*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Capparelli, G.; Versace, P. *FLaIR and SUSHI: two mathematical models for early warning of landslides induced by rainfall*. Landslides, 2011, 8, pp. 67-79.
- Caputo, H. P.; Caputo, A. N. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6. ed. Rio de Janeiro: Brasil, 2017, 231 p.
- Castro, C. M.; Peixoto, M. N. O.; Rio, G. A. P. *Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ - Vol. 28 - 2. Rio de Janeiro, 2005, p. 11-30.
- Delage, P., Audiguier M., Cui, Y.J., Howatt, M.D. (1996). *Microstructure of a compacted silt*. Canadian Geotechnique Journal, 33:150-158.
- IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. *Blumenau (SC)*.
- Marin, R. J.; Velásquez, M. F. *Influence of hydraulic properties on physically modelling slope stability and the definition of rainfall thresholds for shallow landslides*. Geomorphology, 351, 2020.
- Mascarenha, Márcia Maria dos Anjos. *Influência da microestrutura no comportamento hidro-mecânico de uma argila siltosa não saturada incluindo pequenas deformações*. 2008. 158 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) -Univesidade de Brasília, Brasília, 2008.
- Menezes, L. P. *Determinação da curva de retenção de água em solo utilizando bomba de fluxo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2013, 86p.
- Motta, M. F. B. *Caracterização físico-hídrico-estrutural e efeito do aumento da pressão do ar na resistência de solos tropicais não saturados*. 350 p. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2016.
- Park, J. Y. *A regional-scale landslide early warning methodology applying statistical and physically based approaches in sequence*. Engineering Geology, 260, 2019.
- Peluso JR, V. A. *O relevo do território catarinense*. Geosul. V.2, p.7-78,1986.
- Romero, E.; Simms, P. H. *Microstructure investigation in unsaturated soil: a review with special attention to contribution of mercury intrusion porosimetry and environmental scanning electron microscopy*. In: Laboratory and Field Testing of Unsaturated Soils. Tarantino et al. (eds), 2009, p. 93-115.
- Shao, W. *et al. Comparison of single- and dual-permeability models in simulating the unsaturated hydro-mechanical behavior in a rainfall-triggered landslide*. Landslides, vol. 15, 2018, pp. 2449-2464.
- Vieira, R. *Um olhar sobre a paisagem e o lugar como expressão do comportamento frente ao risco de deslizamento*. 2004. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.