

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/291

Caracterização Geotécnica e Estudo de alternativas de Fundações do campo experimental UFSC/ Perini Business Park Joinville-SC

Barbara Jade Alves

Bolsista de iniciação científica no curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, barbarajadealves@gmail.com

Lucas Ferreira Figueiredo

Graduando no curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, lucas0610ferreira@gmail.com

Larissa Daiana Stang

Engenheira Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, larissadstang@gmail.com

Helena Paula Nierwinski

Professor adjunto, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, helena.paula@ufsc.br

Marcelo Heidemann

Professor adjunto, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, marcelo.heidemann@ufsc.br

RESUMO: A análise prévia de solos é indispensável para a realização segura de obras de engenharia. Neste sentido, a investigação geotécnica visa contribuir com um melhor entendimento de interações fundação-solo, dando suporte à definição de parâmetros geotécnicos e escolha da melhor alternativa de fundações para cada local. Na região de Joinville existe uma variabilidade geológica considerável, sendo que boa parte dos terrenos se encontra em áreas baixas, compostas por solos sedimentares. Diante desse fato, a UFSC em parceria com o Parque industrial Perini Business Park criou o campo experimental da UFSC/ Perini Business Park, que está localizado em terreno composto por solos sedimentares aluvionares, típicos da região. Na presente pesquisa foram realizados ensaios para caracterização do perfil geotécnico da área por meio de ensaios de laboratório (granulometria, densidade real dos grãos, limites de Atterberg e ensaios de cisalhamento direto) e de sondagens SPT (Standart Penetration Test) feitas em campo. Os resultados dos ensaios demonstraram um perfil geotécnico composto por camadas intercaladas de areia e argila, típico de solos sedimentares. Por se tratar de um terreno localizado em bacia aluvionar são verificadas ocorrências de camadas de pedregulhos e matacões resistentes em algumas profundidades, seguidas de material de menor resistência argiloso ou arenoso. O impenetrável à percussão foi obtido em torno dos 16 a 17 m. De forma complementar à caracterização geotécnica do campo experimental, realizou-se um estudo de alternativas de estacas e comprimentos de acordo com a investigação efetuada.

PALAVRAS-CHAVE: Campo Experimental, Caracterização Geotécnica, Fundações

ABSTRACT: Previous soil analysis is essential for the safe execution of engineering works. In this sense, geotechnical investigation aims to contribute to a better understanding of foundation-soil interactions, supporting the definition of geotechnical parameters and the choice of the best foundation alternative for each site. In the Joinville region, a city located in the state of Santa Catarina - Brazil, there is considerable geological variability, with much of the land being in low-lying areas constituted by sedimentary soils. In view of this, UFSC, in partnership with the Perini Business Park industrial park, created the UFSC/Perini Business Park experimental site, which is located on land constituted by alluvial sedimentary soils typical of the region. In this research, tests were carried out to characterize the geotechnical profile of the area by means of laboratory tests (granulometry, grain density, Atterberg limits and direct shear tests) and SPT (Standard Penetration Test) borings carried out in the field. The test results showed a geotechnical profile composed of interspersed layers of sand and clay, typical of sedimentary soils. As the land is in an alluvial

basin, there are resistant layers at some depths, followed by less resistant clay or sandy material. The impenetrable to percussion is obtained at around 16 to 17 m. As a complement to the geotechnical characterization of the experimental field, a study of alternative pile types and lengths was carried out in accordance with the investigation campaign carried out.

KEYWORDS: Experimental Site, Geotechnical Characterization, Foundations.

1 INTRODUÇÃO

A geologia, nos dicionários, é definida como a ciência que estuda a origem, história, vida e estrutura da Terra. É um campo extremamente amplo e os profissionais da área contam com uma gama de conhecimentos e áreas de aplicação. A Geologia, alinhada à Mecânica dos Solos, constitui uma ferramenta valiosa para a garantia de que o projeto de uma obra seja desenvolvido de forma segura e eficaz. Segundo Schnaid (2000) o reconhecimento das condições do subsolo constitui pré-requisito para projetos de fundações seguros e econômicos. Pensando nisso e com o atual aumento da demanda por projetos de construção, tanto em zonas urbanas quanto industriais, tornou-se imperativo garantir a segurança desde o início do processo. Neste contexto, as investigações geotécnicas desempenham um papel fundamental, especialmente durante a etapa de fundações, assegurando uma construção segura e eficiente. A região de Joinville, em Santa Catarina, tem experimentado um significativo crescimento nos últimos anos. Através deste crescimento encontra-se o desafio da Engenharia em lidar com obras que precisam ser executadas em terrenos compostos por solos sedimentares, com elevada variabilidade de espessura e tipologia de camadas. Em resposta a essa demanda, o Campo Experimental da UFSC/Perini Business Park foi estabelecido com o objetivo de aprimorar o conhecimento sobre o comportamento de depósitos de solos sedimentares aluvionares, típicos da região e auxiliar na previsão de desempenho e seleção de fundações adequadas para as estruturas, dentro das condições específicas do solo local (Schnaid; Odebrecht, 2012).

Segundo Cavalcante (2007), a criação de campos experimentais como este, ocorreu em resposta a dois fatores principais: a necessidade de abordar desafios práticos enfrentados pela engenharia geotécnica e a promoção do desenvolvimento de pesquisas para fortalecer programas de pós-graduação em universidades. Nesta perspectiva, criou-se o Campo Experimental da UFSC/Perini, local propício para o desenvolvimento de pesquisas e para a ampliação do conhecimento do solo sedimentar aluvionar da região de Joinville-SC. O objetivo da presente pesquisa consiste em apresentar características geotécnicas do solo deste campo experimental, baseando-se em campanha de sondagem SPT e ensaios de laboratório envolvendo caracterização básica e ensaios de cisalhamento direto conduzidos em amostras de solos arenosos presentes no local. Os resultados desta análise demonstram a variabilidade do perfil estratigráfico da área, fornecendo insights sobre as características deste tipo de depósito da região de Joinville-SC. Além disso, serão apresentadas possíveis alternativas de fundação, considerando as características geotécnicas estudadas.

2 CAMPANHA EXPERIMENTAL E METODOLOGIA DE PESQUISA

O terreno correspondente ao Campo Experimental está localizado dentro do parque multissetorial Perini Business Park, localizado no distrito industrial de Joinville, região nordeste de Santa Catarina. As coordenadas da área são Latitude de 26°14'10.39"S e Longitude de 48°52'45.88"O. Com base em dados do Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas – Simgeo (2022), o terreno encontra-se na cota 10m. A Figura 1 demonstra a localização do Campo Experimental em relação ao campus da UFSC Joinville e uma foto do local.

A campanha experimental de campo, avaliada neste artigo, contemplou dois ensaios SPT, realizados por equipamento mecanizado, em concordância com a norma NBR 6484/2020. Os furos atingiram profundidades de 16 e 14 m, respectivamente, e o nível freático foi determinado na profundidade de 1,60 m (Bauer, 2022).

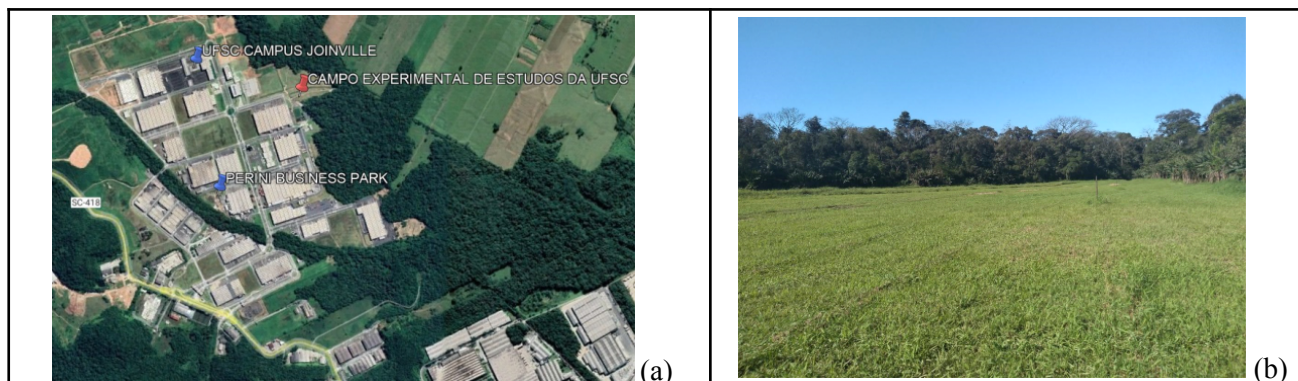


Figura 1. Localização do Campo Experimental UFSC- Joinville (a) e foto da área (b)

Fonte: Bauer, 2022

Considerando a similaridade entre os furos de sondagem, amostras de material coletado em um dos furos foram utilizadas para a caracterização por meio de ensaios de laboratório. Os ensaios englobam a determinação da densidade real dos grãos (NBR 6457/2017) e granulometria com sedimentação (NBR 7181/2017). Salienta-se que as amostras caracterizadas foram oriundas da extração por meio do amostrador do SPT e em algumas profundidades não houve recuperação das amostras ou as mesmas vieram em quantidade insuficiente para a condução dos ensaios. Além desta caracterização, para uma melhor identificação do solo local, foram extraídas algumas amostras das camadas superficiais, com auxílio de um trado e as mesmas foram devidamente fotografadas e, por se tratar de um material argiloso, ensaios de limites de Atterberg foram conduzidos nas mesmas. Salienta-se que as sondagens SPT foram realizadas no ano de 2021 e a amostragem a trado ocorreu no ano de 2024. Apesar da diferença temporal, não houve nenhum tipo de intervenção no terreno que pudesse justificar diferenças no perfil geotécnico verificado em cada oportunidade.

Complementando os ensaios de laboratório, ensaios de cisalhamento direto foram realizados para a avaliação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de amostras arenosas reconstituídas, coletadas ao longo do perfil. Para tanto, selecionaram-se amostras de profundidades entre 11 e 16 m, onde se identificou uma camada arenosa mais homogênea para a reconstituição das amostras, considerando condições de umidade natural e total saturação desta camada em campo. Para a realização do ensaio de cisalhamento direto seguiram-se as diretrizes da norma norte-americana ASTM D3080/2004.

Por fim, a partir dos resultados das sondagens SPT, métodos empíricos de estimativa de carga (Aoki e Velloso (1975) e Decourt e Quaresma (1978)) foram aplicados para cálculo de capacidade de carga de diferentes tipos de estacas, caso instaladas neste terreno, sendo elas: estaca pré moldada de concreto, estaca hélice contínua e estaca metálica.

4 RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises dos resultados da campanha experimental de campo e de laboratórios, assim como a capacidade de carga prevista para os diferentes tipos de estacas selecionadas, caso fossem executadas no terreno em estudo.

4.1 Perfil Geotécnico do Campo Experimental

A Figura 2 apresenta o perfil geotécnico do campo experimental da UFSC, elaborado com os dados das duas sondagens realizadas. Verifica-se que o perfil geotécnico é composto por solo sedimentar, formado por camada superficial mais argilosa, atingindo material mais resistente entre 2 e 3 m de profundidade. Ultrapassada esta camada de maior resistência tem-se uma camada mais espessa de areia argilosa de coloração cinza, que varia de compactidade mais fofa até compacta. Entre 9 e 10 m de profundidade constatou-se a presença de uma camada de pedregulhos e matacões, com alta resistência. Em sequência o

perfil se caracteriza por um material arenoso com presença de pedregulhos, atingindo entre 13 e 15 m uma areia de coloração esverdeada, que dá indícios de se tratar de um material residual. Logo abaixo desta camada encontrou-se o impenetrável à percussão. O nível do lençol freático está localizado logo abaixo de uma camada de aterro superficial, aos 1,6 m de profundidade em relação à superfície do terreno.

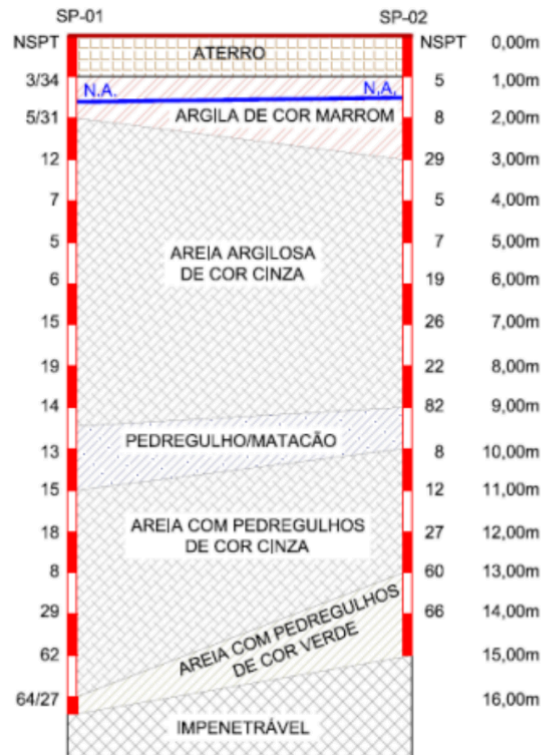


Figura 2. Perfil Geotécnico da área de estudo
Fonte: Bauer (2022)

4.1 Distribuição Granulométrica e Densidade Real dos Grãos de amostras obtidas na sondagem SPT

A Tabela 1 resume os resultados dos ensaios de granulometria e densidade real dos grãos obtidos para as amostras que foram possíveis de ser recuperadas através do amostrador do SPT durante as sondagens. A maioria dos materiais caracterizados possuem caráter granular, sendo que sempre que as amostras apresentaram pouca quantidade de finos (% passante na peneira 200 inferior a 5%), os valores do Coeficiente de Não Uniformidade (CNU) e o Coeficiente de Curvatura (CC) foram determinados e também apresentados na Tabela 1.

A granulometria determina o tipo de solo, dependendo da quantidade de material que fica retido em cada tamanho de peneiras. O solo que compõe a área de estudo é tido como predominantemente grosseiro (areias e pedregulhos) e mal graduado. Para Pinto (2006), um solo é considerado "bem graduado" quando possui uma ampla gama de tamanhos de grãos, o que resulta em melhor comportamento sob o ponto de vista de engenharia. O D_{50} , que representa o tamanho dos grãos em milímetros de 50% do material em cada profundidade, apresentou bastante variabilidade, sendo identificado valores maiores em camadas entre 6 e 8 m e reduzindo em camadas mais profundas, como ocorre com a amostra relativa aos 13 m de profundidade. O CC avalia o formato da curva granulométrica, sendo que quando menor que 1 sendo indica um solo mal graduado e entre 1 e 3 um solo mais bem graduado (Pinto, 2006). Já o CNU indica o quão uniforme é a graduação de um solo, onde valores menores que 2 são solos uniformes, entre 2 e 15 medianamente uniformes e acima de 15 são solos com uma distribuição não uniforme. A análise dos valores destes dois

coeficientes corroboram com a classificação predominantemente mal graduada para as amostras que compõem o perfil geotécnico da área de estudo. Por fim é apresentada a densidade real dos grãos, a qual apresentou variação de 2,55 a 2,90, valores típicos de solos naturais.

Tabela 1. Granulometria e Densidade Real dos Grãos

Profundidade (m)	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	D ₅₀ (mm)	CNU	CC	G (Adimensional)
1	9,4	34,5	34,48	19,48	0,08	0	0	2,55
2	45,24	45,46	9,11	0,19	2,5	40,41	0,549	2,64
3	55,15	36,52	7,54	0,78	4	3,738	0,189	2,59
4	6,21	20,88	68,67	4,25	0,06	10	1	2,67
6	78,91	15,54	5,18	0,37	10	3,75	0,294	2,90
7	85,03	12,76	1,98	0,23	40	45	2,22	2,59
8	69,73	20,22	7,59	2,47	7	231,1	0,02	2,68
9	*	*	*	*	*	*	*	2,60
11	60,91	32,35	6,60	0,14	5	45,83	0,02	2,59
12	*	*	*	*	*	*	*	2,60
13	5,70	33,7	40,32	20,28	0,04	0	0	2,64
14	66,1	22,98	10,81	0,11	5	66,66	0,03	2,62
14	*	*	*	*	*	*	*	2,60

*Amostra não recuperada ou insuficiente para realização do ensaio

4.2 Amostragem a trado

Seguindo as indicações da norma NBR 9603/2015 foi realizada uma sondagem a trado no mês março de 2014, posterior à realização das sondagens SPT que ocorreu em 2021. O objetivo desta investigação foi obter amostras em maior quantidade em profundidades mais superficiais, onde havia se identificado através da sondagem SPT, solos caracterizados como argilas e argilas arenosas. As imagens das amostras coletadas superficialmente são apresentadas na Figura 3. Observa-se que a amostra correspondente à profundidade de 1 m é característica de aterro, conforme identificado através da sondagem SPT. Já as amostras correspondentes às profundidades de 1,45 m, 2 m e 2,5 m apresentaram discrepâncias em relação à análise tátil visual fornecida na sondagem SPT, sendo a descrição da sondagem SPT mais próxima às características observadas no material obtido na profundidade de 2 m. Nas profundidades de 1,45 m e 2,5 m verificou-se a presença de um solo areno-argiloso com coloração escuro e odor típico de solos orgânicos.

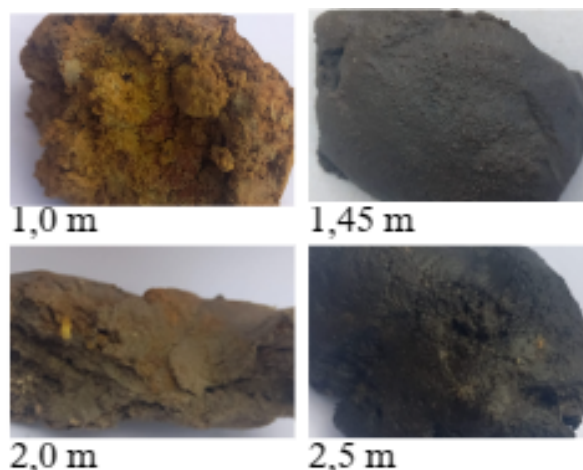


Figura 3. Amostras superficiais obtidas através de sondagem a trado

Para as amostras representadas na Figura 3 realizaram-se ensaios para determinação dos Limites de Liquidez e Plasticidade a fim de se identificar a influência da parcela argilosa no comportamento dos materiais. A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de LL e LP, os valores do índice de plasticidade (IP) e a classificação das amostras quanto à plasticidade. A amostra correspondente a 1 m, possivelmente originária de material de aterro, apresentou o maior valor de IP. As amostras correspondentes às profundidades de 1,45 m e 2 m apresentaram índices bastante semelhantes. Já a amostra correspondente aos 2,5 m apresentou valor de IP semelhante às amostras de 1,45 e 2 m de profundidade, embora os valores de LL e LP sejam bem mais altos. Todas as amostras foram classificadas como sendo altamente plásticas.

Tabela 2. LL, LP, IP e classificação quanto à plasticidade de amostras superficiais

Profundidade (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação quanto à plasticidade
1	72	39	33	Altamente plástico
1,45	34	18	16	Altamente plástico
2	34	19	15	Altamente plástico
2,5	63	47	16	Altamente plástico

4.3 Ensaios de Cisalhamento Direto do Solo

O ensaio de cisalhamento permite calcular a resistência do material ao cisalhamento (deslocamento em dois planos diferentes), dando uma ideia de rigidez e capacidade de deformação do material estudado. Como apresentado anteriormente, amostras arenosas de profundidades entre 11 e 16 m foram selecionadas para a realização dos ensaios de cisalhamento direto. Os parâmetros adotados para a reconstituição das amostras são apresentados na Tabela 3, juntamente com os valores do ângulo de atrito para as condições de pico e pós-pico. Pode-se observar a partir dos dados apresentados na Tabela 2 que os valores de ângulos de atrito são condizentes com os valores previstos pela literatura para materiais arenosos, que conforme sugerido por Ortigão (1993), estão entre 38° à 42°. Em todos os casos chegou-se a um valor de coesão nulo, por se tratar de materiais granulares.

Tabela 3. Dados referente aos ensaios de cisalhamento direto em amostras arenosas reconstituídas

Profundidade (m)					Pico		Pós Pico	
	G	w (%)	e	γ_d (g/cm ³)	ϕ	c	ϕ	c
11	2,69	0,47	1,0054	1,29	42,62	0	41,40	0
12	2,60	0,40	1,0015	1,30	40,83	0	38,62	0
13	2,69	0,35	1,0030	1,32	41,47	0	40,95	0
14	2,62	0,33	1,0007	1,31	39,87	0	38,97	0
16	2,60	0,28	1,0030	1,30	42,09	0	41,93	0

4.6 Avaliação de capacidade de carga de estacas para o solo em estudo

Aplicando-se os métodos empíricos de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978) para estimativa de carga de diferentes tipos de estacas, foi possível determinar a carga admissível considerando os dados da investigação geotécnica realizada. A Tabela 4 apresenta o resumo das características das estacas estudadas e o valor de carga admissível máxima obtida aos 12 m de profundidade. Este valor máximo foi obtido considerando os dados da sondagem SPT II. O método de Aoki e Velloso (1975) forneceu valores de

carga admissível superiores para as estacas de concreto armado e hélice contínua, já o método de Décourt e Quaresma (1978) forneceu maiores valores de carga admissível para a estaca metálica.

Tabela 4. Resumo de características das estacas estudadas e carga admissível máxima prevista aos 12 m de profundidade

Tipo de estaca	Parâmetros			Carga admissível máxima (kN)	
	Dimensão	Perímetro (m)	Área (m ²)	Aoki e Velloso (1975)	Décourt e Quaresma (1978)
Pré-moldada de concreto armado, quadrada maciça	(20 x 20) cm	0,78	0,038	736,44	739,69
Hélice contínua	Ø30 cm	0,942	0,071	852,46	676,73
Metálica – Perfil I	200 x 22,5 mm x kg/m	0,79	0,0029*	417,01	523,12

*Área do perfil metálico, não foi considerada a ocorrência de embuchamento

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos através da campanha de investigação de campo e laboratório identificou-se que o perfil geotécnico da área do Campo Experimental é predominantemente arenoso e “mal graduado”. Os valores de densidade real dos grãos em todas as profundidades ficaram dentro dos limites previstos pela literatura para solos naturais. Amostras superficiais coletadas com o auxílio de trado foram caracterizadas como material fino e os ensaios de LL e LP indicaram alta plasticidade dos mesmos. Nos ensaios de cisalhamento direto em amostras arenosas reconstituídas encontraram-se valores de ângulo de atrito na condição de pico e pós pico entre 38 e 42 graus, valores estes típicos de solos arenosos.

A partir dos resultados das sondagens SPT, calculou-se a carga máxima admissível que seria atingida por estacas do tipo pré-moldada de concreto, hélice contínua e metálica. A menor carga admissível prevista pelos dois métodos de cálculo foi verificada para estacas metálicas.

Como indicação para futuros trabalhos vale destacar a necessidade de mais análises, com coleta de amostras indeformadas e realização de ensaios triaxiais para melhor avaliação da resposta ao cisalhamento dos solos da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. T. *Aterros sobre solos moles da concepção à avaliação do desempenho*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. *An Approximate method to estimate the bearing capacity of piles. Proceedings of the PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING*, 5., 1975, Buenos Aires. . Buenos Aires, 1975. p. 367-376.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459/2017 – *Amostras de solos – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484/2020 – *Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9603/2015– *Sondagem a trado-Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180/2016 – *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 – *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASTM D308004 *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*
- BAUER, Ketlin Maria. *Caracterização geotécnica dos solos presentes na área do campo experimental de estudos geotécnicos do campus Joinville da UFSC*. 2022. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2022.
- CAVALCANTE, Erivaldo H.; DANZIGER, Fernando Artur Brasil; GIACHETI, Heraldo Luiz; et al. *Campos experimentais brasileiros*. Geotecnia, Lisboa, v. No 2007, n. 111, p. 99-205, 2007.
- CHIOSSI, Nivaldo José. *Geologia de engenharia / Nivaldo Chiossi*. --. 3. ed. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2013.
- MARINHO, F.A.M. *Investigação Geotécnica Para Quê?*. COBRAE 2005 – Vol. 2. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/222204/mod_resource/content/0/Marinho%20-%20Investiga%C3%A7%C3%A3o%20-%20COBRAE2005-Final.pdf> Acesso em: 19 jul. 2024.
- QUARESMA, A. R.; Décourt, L.; Quaresma Filho, A. R.; Almeida, M. S. S.; Danziger, F. (1998) *Investigações geotécnicas*. In: Reis, R. C. *Fundações teoria e prática*. 2. ed. São Paulo. Pini. Cap. 3, p. 119-162.
- SCHNAID, F. *Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. *Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012
- SOUSA PINTO, C. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas*. 3a edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- STANG, Larissa Daiana. *Estudo de alternativas de fundações para aplicações junto ao terreno do campo experimental da UFSC/Perini Business Park*. 2022. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2022.
- VELLOSO, D. A.; Lopes, F. R. (2010) *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. São Paulo: Oficina de Textos.