



Ministério da Educação

Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

Engenharia Civil de Infraestrutura ECI

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E
ECONÔMICA DE UM PROJETO DE SAPATAS SOBRE
SOLO MOLE REFORÇADO COM COLUNAS DE
SOLO-CIMENTO**

Carlos Antonio Jarquin Jarquin

Foz do Iguaçu, PR

2024



Ministério da Educação

**Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território**

Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

Engenharia Civil de Infraestrutura

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E
ECONÔMICA DE UM PROJETO DE SAPATAS SOBRE
SOLO MOLE REFORÇADO COM COLUNAS DE
SOLO-CIMENTO.**

Carlos Antonio Jarquin Jarquin

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: : Prof. Me. Júlio César Bizarreta Ortega

Foz do Iguaçu, PR

2024

RESUMO

O presente estudo avalia a viabilidade técnica e econômica de um projeto de sapatas sobre solo residual mole reforçado com colunas solo-cimento para o bloco 01 do Campus Integração da UNILA. A metodologia baseia-se na análise comparativa de critérios técnicos e econômicos com um projeto convencional de estacas escavadas mecanicamente com trado mecânico. Se inclui também uma proposta técnica para a construção das colunas de solo-cimento compactado. Foram elaborados os orçamentos de cada projeto a partir das tabelas atualizadas do SINAPI, no caso do solo reforçado foi estimado os custos a partir da proposta de construção das colunas de solo-cimento. Os resultados mostraram a viabilidade técnica de ambos os projetos após as verificações técnicas de acordo com as normativas vigentes e especificações necessárias para receber e transmitir as cargas vindas da edificação do bloco 1. No entanto, na parte econômica o projeto de sapatas sobre solo reforçado apresentou um orçamento 62% menor quando comparado com o projeto de estacas escavadas mecanicamente com trado mecânico. Além disso, o tempo de execução do projeto de sapatas sobre solo mole reforçado tem um cronograma de execução 17 dias mais que a execução de estacas escavadas mecanicamente, devido ao volume maior de atividades.

Palavras-chave: sapata sobre solo reforçado; construção de colunas de solo-cimento; estacas escavadas mecanicamente, orçamento.

ABSTRACT

This study evaluates the technical and economic feasibility of a project of footings on soft residual soil reinforced with soil-cement columns for block 01 of the UNILA Integration Campus. The methodology is based on the comparative analysis of technical and economic criteria with a conventional project of bored piles with a mechanical auger. A technical proposal for the construction of compacted soil-cement columns included. The budgets for each project were prepared based on the updated SINAPI tables. In the case of reinforced soil, the costs were estimated based on the proposal for the construction of soil-cement columns. The results showed the technical feasibility of both projects after technical verifications in accordance with current regulations and specifications necessary to receive and transmit the loads from the construction of block 1. However, in the economic part, the project of footings on reinforced soil presented a budget 62% lower when compared to the project of bored piles with a mechanical auger. Furthermore, the execution time of reinforced footings resulted in 17 days more than the execution of bored piles.

Keywords: footing on reinforced soil; construction of soil-cement columns; bored piles, budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sapata isolada.	11
Figura 2: Sapata associada.	11
Figura 3: Bloco de Fundação.	12
Figura 4: Fundação superficial.	13
Figura 5: Colunas solo-cimento como apoio para Radiers.	13
Figura 6: Fundações Profundas.	14
Figura 7: Tipos de Fundações Profundas.	15
Figura 8: Execução Estacas escavadas.	19
Figura 9: Mistura Solo-cimento.	21
Figura 10: Elevação Bloco 01 Campus integração da Unila.	23
Figura 11: Sala de aula, Campus Integração.	24
Figura 12: Montagem e execução – Prova de Carga.	26
Figura 13: Curva Carga Assentamento.	27
Figura 14: Sapata com reforço de Solo-cimento.	28
Figura 15: Laudo de Sondagens SP-13.	29
Figura 16: Ensaio RCS corpos de prova de solo-cimento.	30
Figura 17: Detalhamento de sapatas.	32
Figura 18: Esboço Estacas escavadas.	33
Figura 19: Detalhamento da “Sapata S1”.	39
Figura 20: Detalhamento das Armaduras S54.	45
Figura 21: Detalhamento do Reforço S54.	45
Figura 22: Isométrico Sapatas com Reforço.	46
Figura 23: Perfuratriz hidráulica HB-17.	47
Figura 24: Execução Reforço Solo-cimento.	48
Figura 25: Detalhamento Armadura Transversal.	52
Figura 26: Locação das Estacas.	53
Figura 27: Detalhamento Armadura Estacas.	54
Figura 28: O autor 2024.	64
Figura 29: O autor 2024.	65
Figura 30: Dimensionamento da armadura.	66
Figura 31: Locação estacas escavadas.	74
Figura 32: Locação Pilares.	75

Figura 33: Bloco 01 Campus Integração.....	76
Figura 34 Sondagem SPT.....	77
Figura 35: Projeto Executado.....	78
Figura 36: Plano de Edificações.....	79
Figura 37: Fatores de Capacidade de Carga.....	80
Figura 38: Fatores de forma	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tipos de solo NBR 6502 (1995).....	9
Tabela 2: Ensaio de caracterização de solos.....	25
Tabela 3: Classificação Granulométrica.....	25
Tabela 4: Limites de Atterberg.....	26
Tabela 5: N_{SPT} “in situ”	29
Tabela 6: Dimensões Sapata Isolada.....	32
Tabela 7: Fatores K e α	35
Tabela 8: Fatores F_1 e F_2	35
Tabela 9: valor tabelado de resistência do solo.....	37
Tabela 10: Valores tabelados “ α ” e “ β ”.....	37
Tabela 11: Dimensionamento das Sapatas Típicas.....	40
Tabela 12: Dimensionamento do Reforço.....	41
Tabela 13: Verificação de Ruptura do concreto.....	42
Tabela 14: Dimensionamento da Armadura.....	43
Tabela 15: Detalhamento das armaduras Das Sapatas.....	44
Tabela 16: Dimensionamento estacas.....	50
Tabela 17: Verificação da Tensão Aplicada.....	51
Tabela 18: Verificação área mínima.....	51
Tabela 19: Detalhamento das armaduras das estacas.....	52
Tabela 20: Orçamento Fundações Superficiais.....	54
Tabela 21: Orçamento Projeto de Fundações Profundas.....	56
Tabela 22: Resumo dos Orçamentos.....	58
Tabela 23: Detalhamento das armaduras.....	67
Tabela 24: Fatores K e α	81
Tabela 25: Fatores F_1 e F_2	81
Tabela 26: valor tabelado de resistência do solo.....	82
Tabela 27: Valores tabelados “ α ” e “ β ”.....	82
Tabela 28: Planta de Pilares.....	83

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Resistencia da Estaca.....	34
Equação 2: Resistencia de ponta.	34
Equação 3: Resistencia lateral.	34
Equação 4: Método de Décourt-Quaresma.	36
Equação 5: Resistencia de ponta Décourt-Quaresma.....	36
Equação 6: Resistencia Lateral Décourt-Quaresma.....	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
SPT	Standard Penetration Test
NSPT	Number Standard Penetration Test
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
σ_{adm}	Tensão Admissível
SECIC	Secretaria de Implantação do Campus – Unila.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	6
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral.....	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1	Tipos de solos.....	9
3.2	Fundações.....	9
3.3	Fundações Superficiais.....	10
3.3.1	Sapatas	10
3.3.2	Blocos	11
3.3.3	Radier.....	12
3.3.4	Colunas de Solo-Cimento	13
3.4	Fundações Profundas.....	14
3.4.1	Estacas de concreto pré-moldadas.	15
3.4.2	Estaca Hélice Contínua	16
3.4.3	Estacas metálicas	16
3.4.4	Estacas do tipo Franki.....	16
3.4.5	Estacas do tipo Strauss.....	17
3.4.6	Estacas de madeira.....	17
3.4.7	Tubulões.....	18
3.4.8	Estacas escavadas mecanicamente.....	18
3.5	CrITÉRIOS de Escolha da fundação	19
3.6	Estabilização QuÍmica de Solos	20
3.7	Viabilidade tÉcnica e econÔmica.....	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	Local de estudo.....	22
4.2	Ensaio prova de carga a escala completa em solo natural e solo reforçado.	24
4.2.1	Ensaio prova de carga estática	26
4.2.2	Perfil Estratigráfico do local - SPT.....	28
4.2.3	Resistência a compressão simples	30
4.3	Metodologia do projeto de sapatas sobre solo reforçado.	31
4.4	Metodologia do projeto estacas escavadas mecanicamente.	33
4.4.1	Método de Aoki-Velloso	33

4.4.2	Método de Décourt-Quaresma.....	36
4.5	Metodologia do orçamento.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	Dimensionamento do projeto de Sapatas com reforço de Solo-Cimento.....	39
5.2	Proposta Para Execução do Reforço de Solo-cimento	46
5.3	Projeto de Fundações Profundas Executado.	49
5.4	Análise de custos	54
5.4.1	Orçamento Fundações Superficiais com Reforço de Solo-cimento	54
5.4.2	Orçamento Fundações Profundas em Estacas escavadas mecanicamente.....	55
5.5	Discussão critérios técnicos.....	57
5.6	Discussão critérios Econômicos	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
7	APÊNDICES.....	64
7.1	Apêndice A: vista lateral Projeto de Sapatas com Reforço.....	64
7.2	Apêndice B: Dimensionamento do Reforço.....	65
7.3	Apêndice C: Verificação de Segurança.....	66
7.4	Apêndice D: Detalhamento das armaduras Projeto de Sapatas.....	67
7.5	Apêndice E: Metodologia para Execução dos Furos.....	71
7.5.1	Preparação do Local.....	71
7.5.2	Escavação.....	72
7.5.3	Proposta para execução das Colunas de Solo-Cimento	72
7.6	Apêndice F: Planta de locação das estacas escavadas mecanicamente	74
8	ANEXOS	75
8.1	Anexo A: Planta de carregamentos dos pilares	75
8.2	Anexo B: Elevações - Bloco 01 Campus Integração, Unila.....	76
8.3	Anexo C: Perfil Estratigráfico do local de estudo	77
8.4	Anexo D: Detalhamento Estacas – Bloco 01 Campus Integração	78
8.5	Anexo E: Plano de Edificações – Unila	79
8.6	Anexo F: Fatores de Carga e Fatores de Forma	80
8.7	Anexo G: Tabelas Fatores K, α , F ₁ e F ₂	81
8.8	Anexo H: Tabelas Método Décourt-Quaresma	82
8.9	Anexo I: Detalhamento de Pilares e Carregamentos.....	83

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Fundações são elementos estruturais responsáveis por receber e transmitir as cargas vindas da edificação para o solo de maneira segura e estável (NBR 6122/2022); em suma, segundo Foppa (2016), a estimativa de custos das fundações representa uma parcela muito significativa no custo total do empreendimento; por esse motivo a escolha do sistema de fundação é uma etapa crucial no desenvolvimento do projeto onde devem ser avaliadas diversas informações técnicas vindas de laudos e outros levantamentos de projeto.

Este trabalho identifica e compara aspectos técnicos e econômicos entre dois sistemas de fundações dimensionados para um mesmo empreendimento. O local de estudo apresenta solos residuais moles caracterizados por baixa capacidade de carga e N_{SPT} relativamente baixo (CONDE MEJIA, 2022); em casos semelhantes as fundações profundas são amplamente recomendadas e utilizadas em detrimento de fundações superficiais; todavia, sistemas de fundações profundas apresentam um elevado custo econômico que podem inviabilizar empreendimentos de pequeno e médio porte (OLIVEIRA et al., 2018). Por esse motivo, se faz imprescindível a avaliação de sistemas de fundações alternativos que cumpram às solicitações técnicas e possam resistir em segurança às solicitações da edificação.

Estudos recentes têm mostrado que a aplicação de camadas de reforço em solo-cimento constitui uma alternativa capaz de contribuir significativamente na diminuição de recalques e aumento na capacidade de suporte da fundação (SOUZA; FOPPA, 2003). Ainda sobre o potencial do reforço solo-cimento, Heineck et al., (2009), afirma que solos reforçado com mistura de solo-cimento, podem receber fundações superficiais, na prática, isto significa um menor custo e a maior simplicidade construtiva.

A alternativa de fundação de solo reforçado com colunas de solo cimento leva em consideração o fato que ambos atuam como um elemento único (FOPPA, 2016); em paralelo, a construção deste trabalho baseia-se nos resultados de mecânica dos solos, tais como: granulometria, limites de Atterberg, ensaios de compressão simples, compressão triaxial, capacidade de carga, sondagens a percussão SPT, entre outros, obtidos por Anagua Coila (2019), (OLIVEIRA et al., 2018), (DSOARES, 2015) e (CONDE MEJIA, 2022).

Finalmente, este trabalho propõe-se dimensionar um projeto de fundações em sapatas com reforço de colunas de solo-cimento, afim comparar critérios de viabilidade técnica e viabilidade financeira quando comparado com o sistema de fundação profundas em estacas executado no Bloco de Aulas da Primeira Etapa do Edifício Multiuso da Unila, comparar ambos os sistemas de fundação a fim de identificar e avaliar aspectos que auxiliem na análise de viabilidade técnica e econômica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a viabilidade técnica e econômica de um projeto fundações superficiais em sapatas sobre solo mole reforçado com colunas de solo-cimento para Bloco 01 Campus Integração da Universidade Federal da Integração Latino-americana, Unila.

2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver um projeto de fundações superficiais em sapatas sobre solo reforçado com colunas de mistura de solo-cimento, com teor 9% e considerando 20% da área da sapata reforçada; para o Bloco 01 Campus Integração da Unila.
- b) Elaborar uma metodologia para execução do reforço de solo-cimento sobre solo mole.
- c) Desenvolver o projeto de fundações profundas em estaca escava executado na construção do Bloco 01 Campus Integração da Unila, considerando os parâmetros geotécnicos disponíveis e as características de carga do solo.
- d) Elaborar um orçamento dos custos associados à execução de cada um dos projetos de fundações desenvolvidos afins de analisar a viabilidade econômica.
- e) Avaliar a viabilidade técnica dos projetos desenvolvidos, de fundações profundas em estaca cravadas e fundações superficiais com colunas de reforço de solo-cimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste trabalho, torna-se essencial a terminologia e conceitos utilizados na mecânica de solos e nas estruturas de fundações (superficiais e profundas), normalizados e definidos pela associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 2023) e seu conglomerado de normas técnicas.

3.1 Tipos de solos

A NBR 6502 (1995) define os termos relativos aos materiais da crosta terrestre, rochas e solos, para fins de engenharia geotécnica de fundações e obras de terra. Ainda, define os ensaios para a determinação das propriedades mecânicas do solo e a classificação baseada em dados granulométricos.

Assim, a NBR 6502 (1995), define os tipos de solos pela sua composição granulométrica conforme Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 Tipos de solo NBR 6502 (1995).

Tipo de Solo	Diâmetro Ø (mm)
Argila	$\text{Ø} < 0,002\text{mm}$
Silte	$0,002\text{mm} < \text{Ø} < 0,05\text{mm}$
Areias	$0,05\text{mm} < \text{Ø} < 2,0\text{mm}$
Pedregulho	$2,0\text{mm} < \text{Ø} < 1,0\text{m}$
Bloco	$\text{Ø} > 1,0\text{m}$

Fonte: Anagua Coila (2019).

3.2 Fundações.

Fundações são elementos estruturais responsáveis por transmitir as cargas da edificação para o solo de maneira segura e estável (NBR 6122), sem que se rompa ou sofra recalques excessivos.

A norma NBR 6122/2019 estabelece diretrizes a serem observados na elaboração do projeto de fundações e define critérios de segurança, desempenho e dimensionamento das fundações, inclusive aspectos relacionados ao solo, às cargas atuantes e entre outros.

A elaboração do projeto de fundações envolve a análise das características do solo e a escolha adequada do tipo de fundação, levando em consideração fatores como a capacidade de carga do solo, a estabilidade e critérios de desempenho estrutural. As fundações podem ser do tipo profundas ou superficiais.

3.3 Fundações Superficiais

Conforme a NBR 6122 (2019) fundações superficiais ou rasas são fundações em que a carga é transmitida para o solo principalmente via pressões distribuídas sob a base da fundação; sendo a tensão admissível a grandeza fundamental para o dimensionamento do projeto de fundações superficiais.

A execução de fundações superficiais geralmente requer pequenas escavações e, portanto, não requer o uso de grandes equipamentos, além disso, as fundações rasas precisam ter uma profundidade de assentamento em relação ao solo inferior de duas vezes a menor dimensão da fundação, sendo que o menor valor deve ser maior que 60 centímetros.

As fundações rasas são idôneas quando a camada de solo superficial apresenta capacidade de carga adequado para suportar as cargas da edificação em segurança. Nesse contexto, existem diversos tipos de fundações superficiais, descritos a seguir.

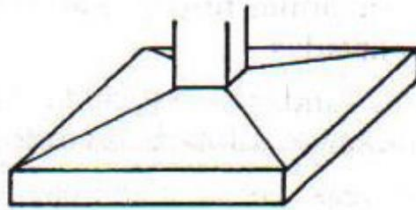
3.3.1 Sapatas

As sapatas consistem em um elemento estrutural de concreto armado, comumente empregada em edificações de porte médio. onde, as tensões de tração que são exercidas sobre a fundação são resistidas pela armadura e não pelo concreto (CINTRA, et al., 2011).

As sapatas consistem em bases largas e rasas que distribuem as cargas de maneira uniforme no solo, evitando o estresse excessivo. São dimensionadas levando em consideração a capacidade de carga do solo, carregamentos vindos dos pilares e as exigências de segurança estrutural. As sapatas podem ser do tipo isolada, corrida ou associada (ALONSO, 2019).

Sapata isolada: são um dos tipos de fundação superficiais mais empregados na construção civil Figura 1. São dimensionadas para suportar carregamentos vindos de um único pilar ou coluna (CINTRA, et al., 2011). Podem ser dimensionados em formato quadrado, retangular, circular, dentre outros.

Figura 1: Sapata isolada.

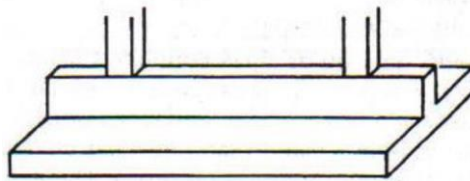


Fonte: Alonso (2019).

Sapata corrida: são projetadas para suportar cargas provenientes de elementos contínuos que têm distribuição de cargas linear como paredes, muros ou outros elementos alongados.

Sapata associada: utilizadas quando há duas ou mais sapatas próximas uma da outra seja por falta de espaço ou por opção estrutural; permitindo deste modo que uma única sapata associada possa receber as cargas de dois pilares ou mais Figura 2 (CINTRA, et al., 2011).

Figura 2: Sapata associada.

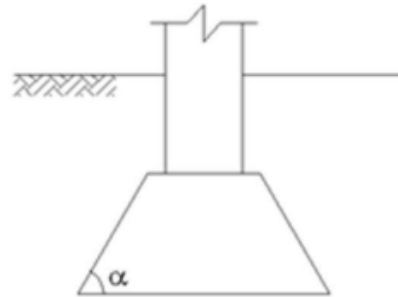


Fonte: Alonso (2019).

3.3.2 Blocos

De acordo com a NBR 6122 (2022), os blocos de fundação assumem a forma de bloco escalonado, pedestal, ou de um tronco de cone (Figura 3); são elementos que podem ser dimensionados sem a necessidade de utilização de armadura, uma vez que a tensão de tração atuantes nesses elementos pode ser resistida pelo próprio concreto, devido às dimensões do bloco.

Figura 3: Bloco de Fundação.



Fonte: Alonso (2019).

Os blocos de fundação são recomendados especialmente para obras de pequeno porte, onde o solo apresenta uma boa capacidade de suporte. Essa solução de fundação é comumente utilizada em construções residenciais, galpões industriais e estruturas de pequeno porte.

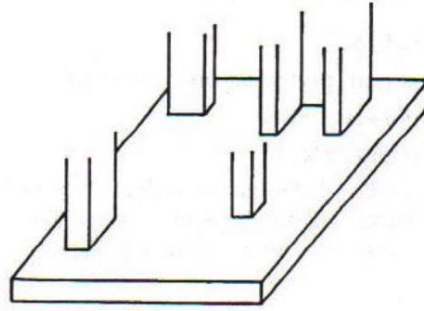
A construção de blocos de fundação consiste na execução de blocos de concreto armado, geralmente com seção quadrada ou retangular, que são projetados para suportar as cargas provenientes da estrutura da edificação (ALONSO, 2019).

3.3.3 Radier

O radier é um tipo de fundação utilizado em construções que consiste em uma laje de concreto armado que abrange toda a área da edificação Figura 4 (CINTRA, et al., 2011). Essa laje, também conhecida como radier, fica em contato direto com o terreno sendo responsável por receber os carregamentos provenientes da estrutura da construção e das sobrecargas, distribuindo-as de forma uniforme em uma grande área do terreno.

Uma das principais vantagens do radier é o seu baixo custo em comparação a outros tipos de fundamentos incluídos. Além disso, a execução de um radier é relativamente rápida e requer menos mão de obra quando comparado com outras fundações (ALONSO, 2019), isto porque o radier dispensa a necessidade de escavações profundas e da construção de elementos individuais de fundação, como sapatas ou estacas.

Figura 4: Fundação superficial.



Fonte: Alonso (2019).

O processo de construção de um radiador geralmente envolve as seguintes etapas: preparação do terreno, execução da forma de contenção, instalação de armaduras de aço, lançamento do concreto e cura do radiador. Durante a execução, é importante garantir a qualidade e resistência do concreto, além de verificar a distribuição adequada das armaduras para suportar as cargas esperadas.

3.3.4 Colunas de Solo-Cimento

Colunas de solo-cimento ou colunas de solo-cimento-plásticas consistem na mistura de solo, cimento e água, compactadas para formar elementos cilíndricos que reforçam a capacidade de carga do solo ou de fundações rasas quando utilizadas em conjunto (BERBERIAN, 2016).

Figura 5: Colunas solo-cimento como apoio para Radiers.



Fonte: Berberian (2016).

As colunas de solo-cimento forneceram melhor distribuição das tensões no solo, melhorando a estabilidade da fundação e vem sendo utilizado amplamente em estabilização de taludes de encostas, e melhorando o terreno de obras residenciais de pequeno porte e em radiers, principalmente pelo seu baixo custo inicial, durabilidade e aumento da rigidez do maciço como um tudo contra restando respectivamente possíveis recalques, conforme Figura 5.

A escavação das estacas em solo-cimento pode ser realizada com uso de trados manuais ou mecânicos. Em ambos os casos a metodologia de execução é bastante simples e econômica (BERBERIAN, 2015).

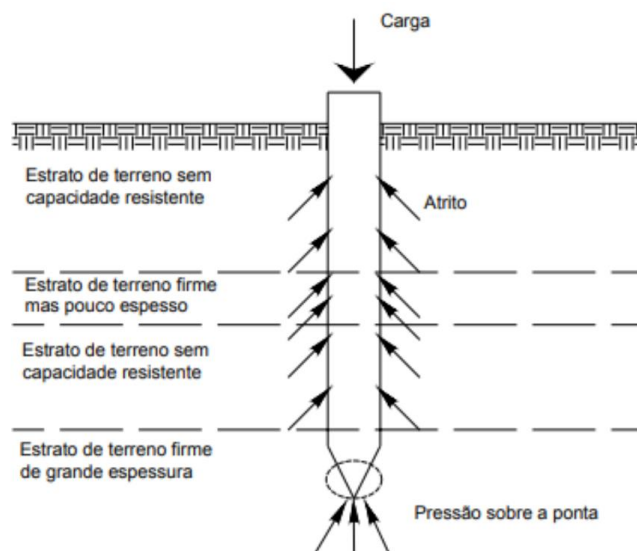
3.4 Fundações Profundas

Segundo a NBR 6122 (2019), uma fundação profunda consiste num elemento de fundação na qual a carga proveniente da superestrutura é transmitida para a por meio da resistência de ponta (base), pela resistência de fuste (atrito lateral) ou pela combinação de ambas (PEREIRA, 2016) descrito na Figura 6.

Uma característica das fundações profundas é que são normalmente utilizadas quando os solos superficiais não apresentam capacidade de suportar elevadas cargas, sendo assim se opta por um tipo de fundação que se instale em um estrato do terreno mais espesso com capacidade de carga maior (CINTRA, et al., 2011).

Ainda conforme a NBR 6122, a profundidade do assentamento, deverá ser maior que o dobro da menor dimensão em planta do elemento de fundação, ou, no mínimo, superior a 3,0m de profundidade, salvo justificativas das propriedades específicas do terreno e do subsolo.

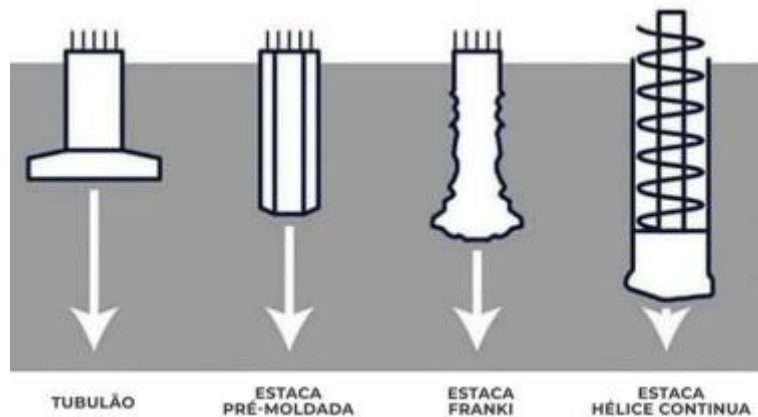
Figura 6: Fundações Profundas.



Fonte: Alonso (2019).

Existem um amplo catálogo de fundações profundas entre elas temos: estacas de concreto pré-moldadas, estacas metálicas, estacas do tipo Franki, estacas do tipo Strauss, estacas de madeira, estacas hélice contínua; tubulões a céu aberto e a ar comprimido; descritas na Figura 7, a seguir.

Figura 7: Tipos de Fundações Profundas.



Fonte: Cintra, et al. (2011).

3.4.1 Estacas de concreto pré-moldadas.

As estacas de pré-moldadas são confeccionadas por meio da moldagem do concreto em formas adaptadas, que podem ter diferentes formatos, como cilíndrico, quadrado ou octogonal, dependendo da exigência e das exigências do projeto; posteriormente são transportadas e instaladas no local da obra (CINTRA, et al., 2011).

Elas podem ser armadas ou não, dependendo das necessidades e das cargas a serem suportadas; entre suas vantagens temos a sua alta resistência e capacidade de carga; além disso, a fabricação em ambiente controlado proporciona uma melhor qualidade e uniformidade do concreto, gerada em estacas de maior confiabilidade estrutural.

Essas estacas são instaladas no solo por meio de equipamentos de cravação, como martelos hidráulicos, vibradores ou prensas. O processo de cravação pode envolver a perfuração do solo, caso seja necessário vencer camadas de resistência mais elevada.

As estacas de concreto pré-moldadas são amplamente utilizadas em diversas obras, como pontes, edifícios, fundações de máquinas e estruturas industriais (ALONSO, 2019).

3.4.2 Estaca Hélice Contínua

A estaca hélice contínua é uma técnica de fundação profunda amplamente empregada em edificações de médio e grande porte. Consiste em um equipamento composto por um tubo metálico com hélices em sua extremidade, que é cravado no solo por rotação, enquanto o concreto é injetado simultaneamente (ALONSO, 2019).

Essa fundação é especialmente indicada para solos de média a alta resistência, sendo capaz de suportar cargas elevadas. A estaca hélice contínua oferece diversas vantagens, como rapidez na execução, menor geração de ruídos e vibrações, além de não gerar resíduos.

A NBR 6122 (2019) estabelece diretrizes para o dimensionamento e execução das estacas hélice contínuas. Ela define critérios de projeto, como diâmetro, espaçamento e profundidade, levando em consideração as características do solo, as cargas atuantes e as exigências de segurança estrutural.

Essa técnica de fundação oferece excelentes resultados em termos de capacidade de carga, resistência e estabilidade, sendo amplamente utilizada em projetos de construção civil (ALONSO, 2019).

3.4.3 Estacas metálicas

As estacas metálicas são compostas por perfis ou trilhos laminados ou soldados, geralmente feitos de aço; funcionam sob o mesmo princípio das estacas pré-moldadas inclusive na execução (CINTRA, et al., 2011).

As estacas metálicas devem ser dimensionadas em concordância com a NBR 8800 (ABNT, 2008), e de acordo com a resistência característica mínima do aço à compressão, $f_{yk} \geq 200 \text{ MPa}$. O dimensionamento estrutural deve ser feito considerando-se a máxima carga de cravação prevista.

3.4.4 Estacas do tipo Franki

Conforme a (NBR 6122, 2022), à estaca Franki são elementos de fundação de concreto amado com base alargada e moldada in loco executada pela cravação, por meio de sucessivos golpes de um pilão, de um tubo de ponta fechada por uma bucha seca constituída de pedra e areia, previamente firmada na extremidade inferior do tubo por atrito.

Atingida a cota de apoio, procede-se à expulsão da bucha, execução de base alargada, instalação da armadura e execução do fuste de concreto apiloado com a simultânea retirada do revestimento.

A execução da estaca pode apresentar alternativas executivas em relação aos procedimentos da estaca padrão como, por exemplo: perfuração interna (denominada “cravação à tração”), fuste pré-moldado, fuste encamisado com tubo metálico perdido, fuste executado com concreto plástico vibrado ou sem execução de base alargada.

3.4.5 Estacas do tipo Strauss

A estaca do tipo Strauss é uma estaca de concreto moldada in loco, executada através da escavação, mediante emprego de uma sonda (também denominada piteira), com a simultânea introdução de revestimento metálico, com guincho mecânico, em segmentos rosqueados, até que se atinja a profundidade projetada (CINTRA, et al., 2011).

A concretagem é realizada lançando-se o concreto e retirando-se gradativamente o revestimento com o guincho manual e simultâneo apiloamento do concreto.

O revestimento integral assegura a estabilidade da perfuração e garante as condições para que não ocorra a mistura do concreto com o solo ou o estrangulamento do fuste da estaca. Este tipo de estaca não pode ser utilizado em areias submersas ou em argilas muito moles saturadas. A ponta da estaca deve estar em material de baixa permeabilidade para permitir as condições necessárias para limpeza e concretagem (ALONSO, 2019).

3.4.6 Estacas de madeira

As estacas de madeira são elementos de fundação compostos por troncos de árvores que são cravados no solo por meio de bate-estacas (NBR 6122, 2022). Sua utilização é comum em obras temporárias; no entanto em casos de obras permanentes, são necessários um tratamento prévio a fim de protegê-las contra-ataques de fungos, bactérias e outros organismos que possam comprometer sua integridade estrutural.

A durabilidade das estacas de madeira é considerada prolongada quando mantida permanentemente abaixo do nível de água, onde a ausência de oxigênio dificulta a ação de organismos. No entanto, é importante ressaltar que a cravação das estacas de madeira pode gerar grandes vibrações prejudiciais em áreas residenciais (CINTRA, et al., 2011).

3.4.7 Tubulões

Tubulões são elementos de fundação profundos que consistem em escavações geralmente de grande diâmetro e profundidade (NBR 6122, 2022); são utilizados quando os carregamentos atuantes são elevados ou quando as características do solo não permitem a adoção de outros tipos de fundação.

Existem dois tipos principais de tubulões: tubulões a céu aberto e tubulões a ar comprimido. Tubulões a céu aberto: geralmente de maior profundidade, onde será executado o bloco de coroamento ou base do tubulão. Após a escavação, o tubo é preenchido com concreto armado (ALONSO, 2019).

Essa técnica é comumente utilizada em obras de fundações de edifícios, pontes, viadutos e outras estruturas de grande porte. A escolha do diâmetro e da profundidade do tubo depende das cargas aplicadas, das características do solo e dos critérios de segurança adotados pelas normas técnicas.

Tubulões a ar comprimido: Os tubulões a ar comprimido são usados em situações em que é necessário trabalhar abaixo do nível da água do nível freático; assim a escavação é feita em um espaço de ar comprimido para evitar a entrada de água e garantir a segurança dos trabalhadores.

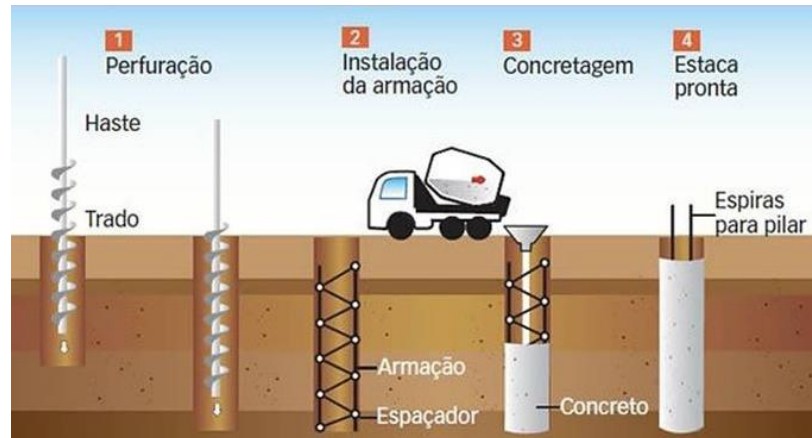
O ar comprimido é usado para equalizar a pressão interna e externa da escavação, permitindo que ela seja realizada em ambiente seco. O concreto armado é então utilizado para preencher o tubulão e garantir a estabilidade e resistência da fundação. A execução de tubulões, requer estudos geotécnicos detalhados para determinar as características adequadas do solo e os parâmetros de dimensionamento dos tubulões.

3.4.8 Estacas escavadas mecanicamente

As estacas escavadas mecanicamente são elementos armados de fundações executadas in loco, utilizadas alcançar camadas mais profundas do solo, são executadas com equipamento rotativo, mediante o uso de trado mecanizado ou perfuratriz hidráulica (CINTRA, et al., 2011). Esta técnica de fundação oferece excelentes resultados em termos de eficiência, resistência e estabilidade, sendo amplamente utilizada em projetos de construção civil pela sua praticidade e custo relativamente baixo, um esboço do procedimento é descrito na Figura 8 (ALONSO, 2019).

As vantagens das estacas escavadas mecanicamente são a mobilidade do equipamento e rapidez de produção, que permite a amostragem do solo escavado, atingindo a profundidade determinada em projeto. Além disso, esse modelo oferece uma ausência de vibração, podendo ser executada próximo à divisa sem danos às construções vizinhas .

Figura 8: Execução Estacas escavadas.



Fonte: Cintra, et al. (2011).

3.5 Critérios de Escolha da fundação

A escolha do tipo de fundação a ser executado para determinado empreendimento depende de vários fatores além dos carregamentos e da natureza do subsolo; segundo Falconi et al., (2019) os principais critérios de concepção e escolha de das fundações são três: o critério técnico, o econômico e do mercado. Neste sentido, o critério técnico é garantido pelos requisitos e condições mínimas de segurança da estrutura de fundação estabelecidos nas diretrizes das NBR's (ABNT 2023), em outras palavras, o responsável pelo dimensionamento de fundações deve considerar uma série de especificações técnicas a fim garantir a segurança contra a ruptura e garantir que os recalques sejam adequados para a estrutura.

Por outro lado, os critérios econômico e de mercado são fortemente influenciados a partir da disponibilidade de equipamentos, materiais e mão de obra especializada, para um determinado local. Contudo, circunstâncias específicas para cada empreendimento favorecem a adoção de um tipo de sistema de fundação (SOUSA; SOUZA, 2016).

3.6 Estabilização Química de Solos

O processo mediante o qual é misturado o solo natural com cimento ou qualquer outro tipo de material com características químicas específicas mais é do que uma técnica química de melhoramento do solo (SILVA, 2019). Existem diversos materiais tais como cimento, cal, aglutinante ou betume, que podem conferir ao solo um ganho na sua resistência, durabilidade e utilidade na construção civil.

O solo-cimento é material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas (BERBERIAN, 2015). Na atualidade a mistura solo-cimento tem diversas aplicações devido a sua alta performance, baixo custo inicial e aumentos na durabilidade e na capacidade de carga.

O cimento entra em uma quantidade que varia de 5% até 10% do peso do solo, o suficiente para uma estabilização química e conferir as propriedades de resistência desejadas para o composto (ABCP, 2009). Conforme o teor de cimento adicionado na mistura o material resultando pode ser classificado como:

- **Solo melhorado:** (2% até 4%): Tem-se uma modificação da plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, formando assim uma base flexível;
- **Solo estabilizado:** (4% até 6% de cimento): Aplicado em aterros e subleito para melhoramento imediato das propriedades mecânicas do solo, para que seja possível a compactação e tráfego.
- **Solo cimento:** (6% até 10%): Deve satisfazer a certos requisitos: de densidade, durabilidade e resistência, resultando em material duro, cimentado, de acentuada rigidez a flexão;

Figura 9: Mistura Solo-cimento.



Fonte: (O autor, 2024).

Finalmente a Figura 9, estabelece graficamente as características da estabilização de solos mediante o uso racional de cimento e água até formar uma mistura homogênea.

3.7 Viabilidade técnica e econômica.

O método análise de viabilidade consiste em uma metodologia determinista de avaliação de projeto mediante a comparação de suas vantagens e desvantagens. É uma técnica de estudo utilizada nas etapas preliminares cujo objetivo consiste na determinação do potencial que um projeto ou empreendimento apresenta para ser bem-sucedido quando submetido a certa ação, este estudo favorece a tomada de decisões evitando que um projeto não rentável seja levado em frente (ZYGEL, 2023).

A análise de viabilidade favorece um estudo mais detalhado das variáveis envolvidas identificando todos os aspectos para um determinado projeto assim como os requisitos a serem observados e detalhamento de possíveis impactos de tomada de decisão.

Esta metodologia permite o estudo e análise de variáveis específicas, entre elas a viabilidade técnica e viabilidade econômico-financeira, que permite identificar possíveis adequações de projeto para sua implementação identificando em paralelo uma projeção dos custos envolvidos (IBEC, 2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho avalia a viabilidade técnica e econômica de um sistema de fundação proposto, chamado: fundações superficiais em sapatas assentadas sobre solo reforçado com colunas de solo-cimento projetado e comparado ao projeto de fundação executado na construção da Primeira Etapa do Edifício Multiuso da Unila - Bloco de Aulas 01.

Nesse sentido a metodologia prevê o dimensionamento de dois sistemas de fundação para o empreendimento (Bloco de Aulas já existente), sendo estes o sistema de fundação adotado na construção: *Fundação Profunda em Estacas escavadas mecanicamente com Trado Rotativo*, e o sistema proposto: fundações superficiais em sapatas sobre solo mole reforçado com colunas de solo-cimento.

Posteriormente serão identificados e avaliados os critérios técnicos descritos na NBR 6122 Projeto e Execução de Fundações (2022) e critérios econômicos a partir dos orçamentos analíticos elaborados para os projetos de fundação, a fim de verificar a viabilidade da implantação para o Bloco 01 Campus integração da Unila.

4.1 Local de estudo

No ano de 2019 a Universidade Federal da Integração Latino-americana, Unila torna público o edital de licitação que tem por objeto a escolha da proposta econômica mais vantajosa para execução dos serviços de engenharia necessários para a construção a construção da Primeira Etapa do Edifício Multiuso da UNILA - Construção do Bloco de Aulas (PORTAL DE DOCUMENTOS, 2019): Alguns critérios do projeto básico (Anexo E) e as especificações técnicas do empreendimento são descritas na sequência:

Nome: *Bloco de Aulas 01 – Campus Integração.*

Proprietário: *Universidade Federal da Integração Latino-americana, UNILA*

Localização: *Avenida Tancredo Neves N° 3147, Porto Belo - CEP 85.867-000 Foz do Iguaçu PR – Brasil.*

Área Construída: *2.444,13m²*

Destinação: *Sala de aulas e administrativo*

Número de pavimentos: *2 pavimentos*

Capacidade: *13 salas de aulas, Salas administrativas, de professores e de serviço,*
Figura 10.

Construtora contratada: BRJ Construções Cíveis Ltda.

Data de início da obra: 30/12/2019

Data de finalização da obra: 12/01/2023

Valor do Contrato: R\$ 5.198.000,00

Sistema construtivo: Estrutura de concreto armado

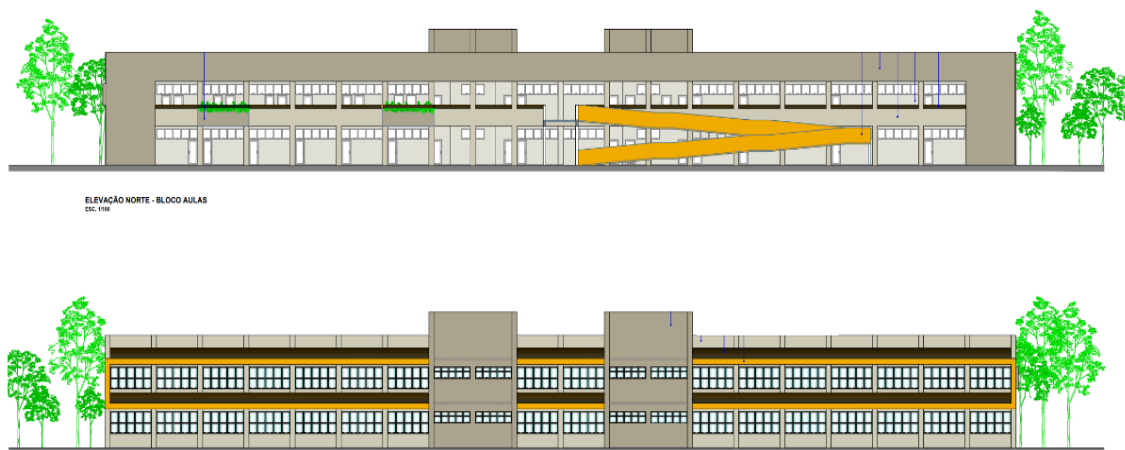
Sistema de fundações adotado: Estaca escavadas mecanicamente

Ao todo, o Bloco 01, conta com dez salas de aula múltiplas com capacidade estimada para 50 alunos cada, três salas de aula para 25 alunos, além de salas para professores, salas de apoio-administrativo, banheiros, depósito e rampas de acesso.

O Bloco 01 representa a primeira etapa do edifício multiusos o qual é conformado por um segundo prédio espelhado de iguais dimensões que se encontra construção em 2023.

Quando estiver em pleno funcionamento, O edifício multiusos terá a capacidade para atender 1125 alunos, aproximadamente (UNILA, 2019).

Figura 10: Elevação Bloco 01 Campus integração da Unila.



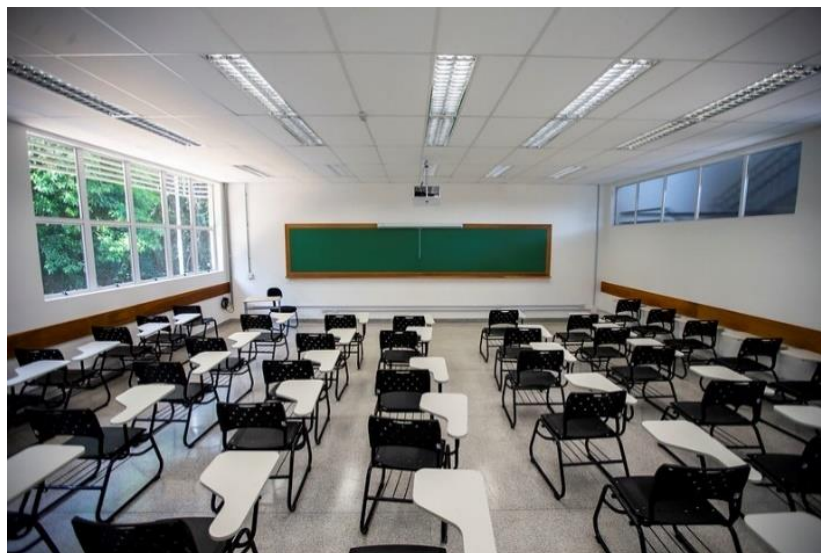
Fonte: Unila (2019).

O projeto foi desenvolvido pela equipe técnica da Secretaria de Implantação do Campus - SECIC, o Edifício Multiuso teve como diretriz a ideal modulação de salas de aula, adequada a atender a capacidade das turmas ofertadas por diversos cursos da UNILA (UNILA, 2020).

Este novo prédio faz parte do plano de edificações, que prevê, além das edificações do Alojamento Estudantil (Ver Anexo E), o edifício de aulas práticas conforme Figura 11 e um

bloco de almoxarifado e arquivo. O plano foi aprovado no Conselho Universitário em setembro de 2019 e, desde então, a UNILA vem unindo esforços para sua concretização (UNILA, 2020).

Figura 11: Sala de aula, Campus Integração.



Fonte: Unila (2020).

Finalmente, a metodologia de este trabalho pretende dimensionar o projeto de fundação profunda em estacas escavadas mecanicamente executado no Bloco 01, em paralelo dimensionar um sistema de fundação em sapatas superficiais reforçadas com colunas de solo-cimento a fim de comparar e avaliar critérios que indiquem a viabilidade técnica e econômica do sistema de fundação proposto.

4.2 Ensaio prova de carga a escala completa em solo natural e solo reforçado.

Os resultados obtidos por Anagua Coila (2019), avaliam o comportamento de uma sapata com reforço de solo-cimento em escala real e a forma de viabilizar o uso de sapatas com reforços respetivamente. Para isto, Anagua Coila (2019), realizou uma série de ensaios que permitiram a caracterização do solo e suas propriedades mecânicas através de ensaios experimentais descritos na Tabela 2 **Tabela 2**; alguns desses resultados, serão descritos e implementados neste estudo.

Os ensaios desenvolvidos por Anagua Coila (2019) foram e realizados no mesmo local de estudo deste trabalho, a poucos metros da implantação do Bloco 01 Campus Integração. A Tabela 2 mostra os principais ensaios realizados:

Tabela 2: Ensaio de caracterização de solos.

ENSAIOS	NORMAS ABNT
Massa específica de sólidos	NBR 6508 / 1880
Análise Granulométrica	NBR 7181 / 2016
Limites de Plasticidade	NBR 7180 / 2016
Limite Líquido	NBR 6459 / 2016
Compactação de solos	NBR 7182 / 2016
Ensaio de Compressão Simples	NBR 12025 / 2012
Ensaio Triaxial	(SOUZA; FOPPA, 2003)
Ensaio de prova de carga estática em sapata em estaca real	NBR 12131 / 1991

Fonte: Anagua Coila (2019).

Os resultados obtidos por Anagua Coila (2019), identificaram a composição do solo sendo argila 20%, silte 66% e areia 14% sendo a percentagem fina argila-silte 86%, conforme a Tabela 3. Segundo a classificação de solos baseada em dados granulométricos o solo identificado no local de estudos é uma Argila silto-arenosa (NBR 7181, 2016); logo, a caracterização visual indica material de cor predominante avermelhada.

Tabela 3: Classificação Granulométrica.

Diâmetro	Percentagem Retido
<i>mm</i>	<i>%</i>
2,000	99,81
0,600	99,26
0,420	09,03
0,300	98,51
0,150	94,47
0,075	86,85

Fonte: Anagua Coila (2019).

Segundo a classificação de solos baseada em dados granulométricos o solo identificado no local de estudos é uma Argila Silto-arenosa, média, cor marrom e Argila Silto-arenosa,

média a dura nas camadas mais profundas (NBR 7181, 2016); logo, a caracterização visual indica material de cor predominante avermelhada nos primeiros metros e posteriormente cor amarelada, na sequência, os resultados do ensaio Limites de Plasticidade são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Limites de Atterberg.

Descrição	Solo Natural	Solo cimento 6%	Solo cimento 9%	Solo cimento 12%
Limite de Plasticidade (%)	23,98	27,57	28,94	32,12
Limite de Liquidez (%)	36,6	37,8	33,7	34,7
Índice de Plasticidade (%)	12,62	10,23	4,76	2,58
Massa específica	2,74	2,79	2,83	2,87

Fonte: Anagua Coila (2019).

4.2.1 Ensaio prova de carga estática

Foram coletados os resultados de ensaios de prova de carga a escala real realizado no local do estudo (ANAGUA COILA, 2019); este ensaio foi realizado para duas sapatas, sendo uma sapata com colunas de reforço de solo-cimento e outra sem; isto, em concordância com a NBR 12131 / 92; como mostra a Figura 12.

Figura 12: Montagem e execução – Prova de Carga.



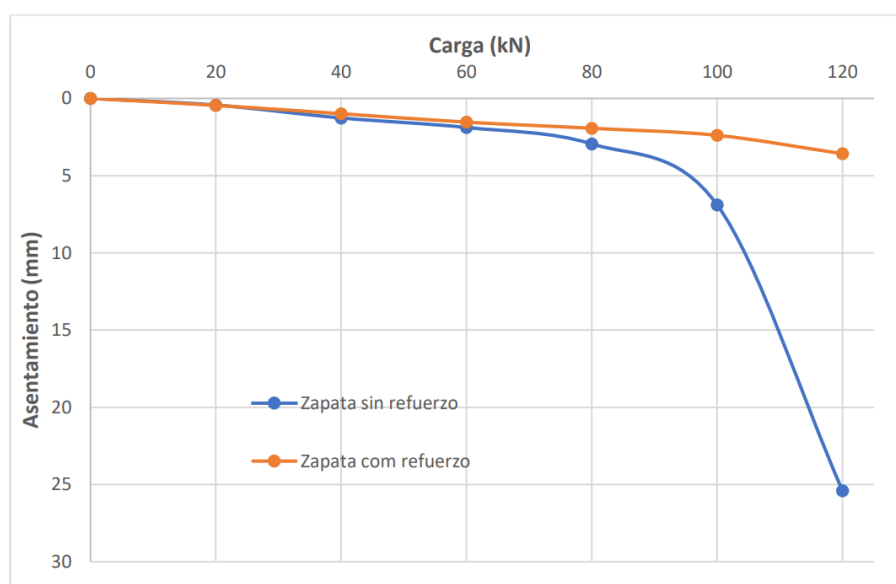
Fonte: Anagua Coila (2019).

Os resultados obtidos por Anagua Coila (2019) permitem identificar para a carga máxima aplicada de 120kN, um assentamento menor na sapata reforçada com colunas de solo-cimento quando comparado com a sapata sem reforço; esta variação foi 8,5 vezes menor. Ainda, os resultados de Anagua Coila (2019), permitem elaborar a curva assentamento, a qual descreve

a variação da carga vertical em função do assentamento das sapatas com reforço de colunas de solo-cimento e a sapata sem reforço. A Figura 13 mostra a curva carga assentamento permite identificar para a sapata sem reforço de solo-cimento, uma ruptura do tipo puncionamento sendo coerente com o perfil de solo identificado no local, sendo esta Argila Silto-arenosa, média cor marrom; e nas camadas mais profundas foi identificado Argila Silto-arenosa dura (ANAGUA COILA, 2019).

Logo, para a sapata com reforço de colunas de solo-cimento se observa uma curva apenas no trecho inicial que coincide como a zona elástica, com uma característica menos acentuada; no entanto, não foi possível observá-la até a ruptura devido a limitação de carregamento disponível.

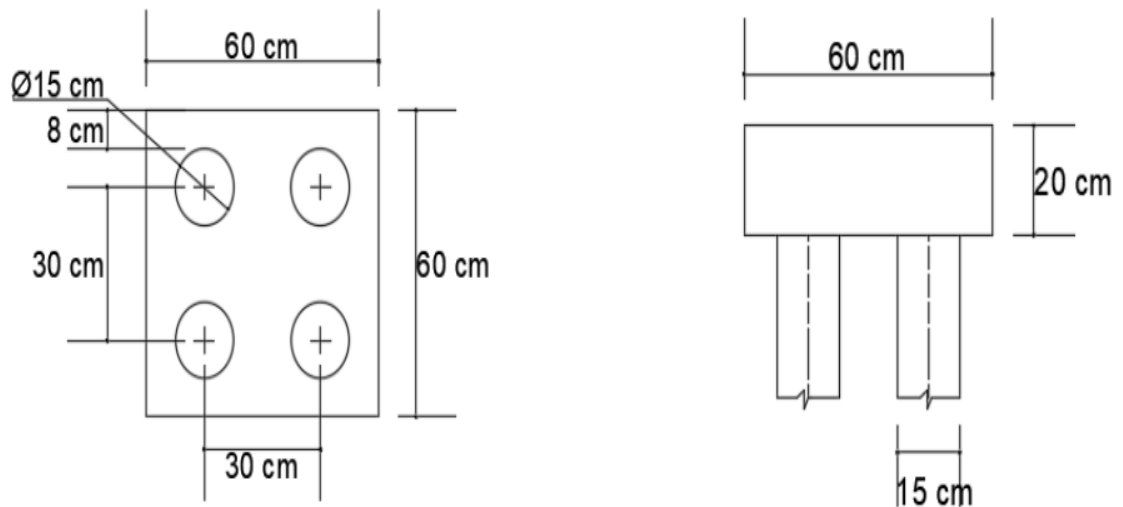
Figura 13: Curva Carga Assentamento.



Fonte: Anagua Coila (2019).

O estudo realizado por Anagua Coila (2019), permitiu determinar uma carga de ruptura de 210kN para 25,4mm de assentamento para uma sapata sem colunas de reforço de solo-cimento; assim mesmo determino uma tensão de ruptura de 583kPa para um fator de segurança 2 e uma área da sapata de $0,6 \times 0,6 \text{m}^2$ para uma sapata com quatro colunas de reforço de solo-cimento de diâmetro de 15cm e profundidade de 2m, conforme a Figura 14.

Figura 14: Sapata com reforço de Solo-cimento.



Fonte: Anagua Coila (2019).

O ensaio de prova de carga em escala real foi realizado em uma fundação superficial com reforço de solo-cimento, mediante um carregamento máximo de 120kN (12 ton.) aplicado a sapatas com reforço de solo-cimento (cimento teor de 9%); estes resultados determinaram mediante a extrapolação da curva carga-recalque (DECOURT, 1999), uma carga de ruptura de 210kN, uma tensão de ruptura de 583kPa.

4.2.2 Perfil Estratigráfico do local - SPT

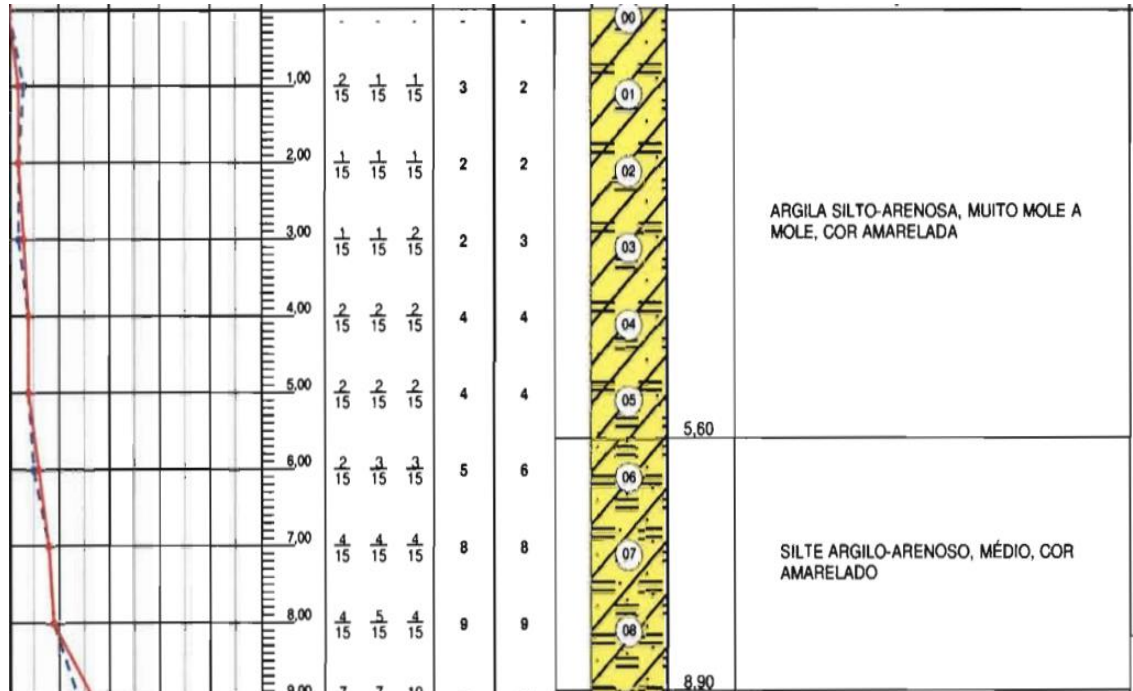
O método de ensaio de sondagens de simples reconhecimento (Standard Penetration Test) ou pelas suas siglas SPT, é o ensaio pelo qual se determina o índice de resistência à penetração N_{SPT} (NBR 6484, 2001) Neste trabalho foram utilizadas as sondagens “SPT de números 12 e 13” (, cujos laudos se encontram nos anexos “C e D” desde documento). O perfil de sondagem a percussão para o local de estudo é mostrado na Figura 15.

A Tabela 5 permite identificar estratigrafia do perfil do solo e o N_{spt} respetivamente; assim como também os as camadas de solo como também o índice de resistência à penetração do Solo (N_{SPT}). O nível d’água foi localizado na cota 8,20m de sondagem.

Tabela 5: N_{SPT} “in situ”

COTA	Prof.	Perfil - 13
m	m	Nspt
189	0	-
188	1	2
187	2	2
186	3	3
185	4	4
184	5	4
183	6	6
182	7	8
181	8	9
180	9	17
179	10	22
178	11	24
177	12	28

Fonte: Dsoares, (2015).

Figura 15: Laudo de Sondagens SP-13.

Fonte: Dsoares, (2015).

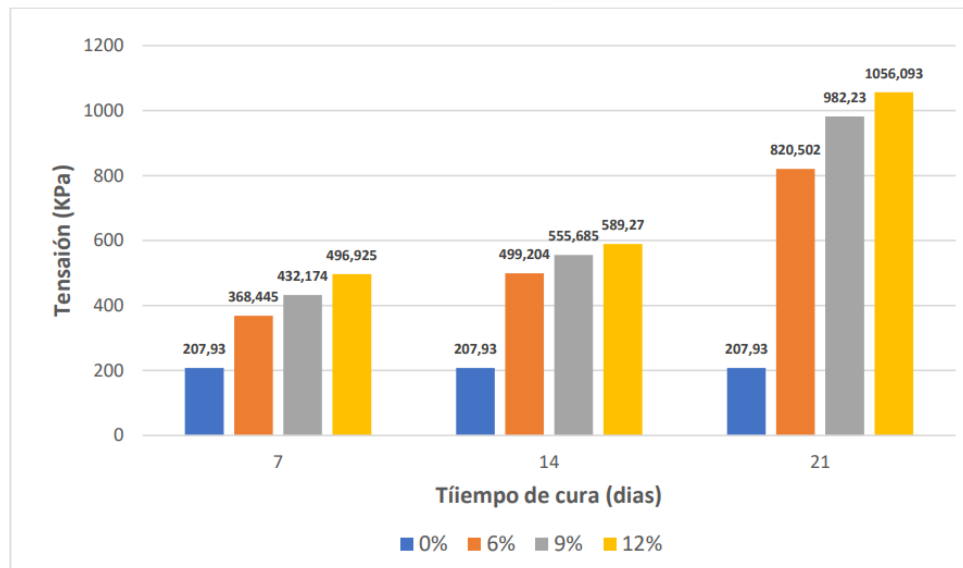
Os solos identificados no local da construção do Bloco 01 - Campus Integração da Unila, foram: Argila Silto-arenosa, média, cor marrom e Silte argilo-arenoso, média a dura, cor

amarelada. Nos anexos “C e D” é possível observar com maior detalhe o perfil estratigráfico do local do estudo.

4.2.3 Resistência a compressão simples

O estudo conduzido por Anagua Coila (2019), avaliou a resistência a compressão simples de corpos de prova de mistura solo-cimento com diferentes teores de cimento (6%, 9% e 12%), para 7, 14 e 21 dias. Os corpos de prova foram elaborados em moldes cilíndricos de 7,5x17cm, e um volume de 771,20cm³ de forma objetiva, os resultados mostram um ganho de resistência do solo acimentado; este ganho de resistência obtidos por Anagua Coila (2019), mostram um acréscimo linear na relação cimento-resistência de ruptura a compressão simples, não obstante, esta relação é pouco significativo entre 9% e 12%. Outra pesquisa, com o mesmo tipo de solo e cimento (CP-IV-ARI) mostrou um aumento de dezesseis vezes o valor da resistência a compressão simples do solo compactado (OLIVEIRA et al., 2018), conforme a Figura 16, a seguir.

Figura 16: Ensaio RCS corpos de prova de solo-cimento.



Fonte: Anagua Coila (2019).

O ensaio triaxial conduzido por Anagua Coila (2019), determinou parâmetros de resistência para um nível de confinamento de até 100kPa, sendo estes o ângulo de atrito de 41,3° e coesão efetiva de 157,22kPa; segundo o estudo conduzido por Berberian (2016), estes resultados são superiores devido a adição da porcentagem de cimento.

4.3 Metodologia do projeto de sapatas sobre solo reforçado.

A metodologia deste trabalho consiste no dimensionamento de um projeto de sapatas para o Bloco 01 Campus Integração da Unila. Dito dimensionamento será realizado a partir dos dados da tensão admissível obtida da curva de tensão deformação do ensaio prova de carga estática (item 4.2.1), mediante os critérios de ruptura e recalque descrito a seguir. (ANAGUA COILA, 2019).

Utilizando os resultados a curva experimental de tensão deformação mostrada Figura 13 e empregando a metodologia de Teixeira E Godoy (1996) e Gonçalves et al. (2014), é possível determinar a tensão admissível a partir das relações a seguir:

$$\text{Critério de ruptura: } \sigma_{Adm} \leq \frac{\sigma_0}{F}$$

$$\text{Critério de recalque: } \sigma_{Adm} \leq \sigma_x$$

Legenda:

F: Fator de segurança, sempre adotado igual a 2.

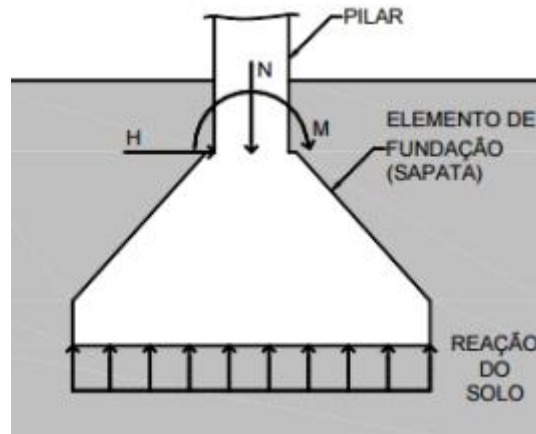
σ_x : Tensão correspondente a um recalque igual a 10mm.

σ_{Adm} : Tensão admissível

$\sigma_0 = \sigma_{ruptura}$: Tensão de ruptura, caracterizado pelo aumento incessante dos recalques.

$\sigma_0 = \sigma_{25mm}$: Tensão que corresponde a um recalque excessivo (chamado de ruptura técnica), geralmente quando atingidos 25mm de recalque.

Após a determinação da tensão utilizando os critérios de ruptura e critérios de recalque (TEIXEIRA E GODOY, 1996), estas tensões são comparadas sendo o menor valor adotado como a tensão admissível utilizada no dimensionamento das sapatas. Na sequência, utiliza-se a metodologia de Alonso (2019), para o dimensionamento das dimensões das sapatas. Conforme a NBR 6122 (2022), para o dimensionamento de sapatas isoladas, são necessárias diversas considerações: o centro de gravidade do pilar deve coincidir com a sapata, o N_{spt} deve ser maior ou igual a 8 e os lados a e b da sapata devem ser menores ou igual 2,5, entre outras considerações são necessárias para o dimensionamento e detalhamento de sapatas, conforme a Figura 17.

Figura 17: Detalhamento de sapatas.

Fonte: Alonso (2019).

Segundo Alonso (2019), no caso de pilares retangulares, quando não existe limitação de espaço (Tabela 6), o dimensionamento para determinar a área ideal que suporte o carregamento é realizado mediante a determinação dos “*a e b*” mediante as relações descritas na Tabela 6, a seguir:

Tabela 6: Dimensões Sapata Isolada.

Medidas	Equação	Definição
Área	$A = axb = \frac{P}{\sigma_s}$	P: Carga do Pilar; σ_s Tensão Admissível do solo
Dimensões (a e b)	$a_0 - b_0 = 2d$ $a - b = 2d$	a_0 : Maior dimensão do pilar b_0 : Menor dimensão do pilar a: Maior dimensão da sapata b: Menor dimensão da sapata

Fonte: Alonso (2019).

Em paralelo esta metodologia prevê o dimensionamento um reforço não estrutural a ser executado no solo mole onde as sapatas serão assentadas, este reforço consiste em colunas circulares uma mistura homogeneizada de solo-cimento com teor 9% de cimento e dimensões fixas, sendo o diâmetro de Ø25cm e profundidade 200cm, partindo dos resultados obtidos por Anagua Coila (2019). Este reforço corresponde à 20% da base das dimensões finais das sapatas. Esta área de reforço permitirá determinar o número de colunas a serem executadas no solo de assentamento da sapata.

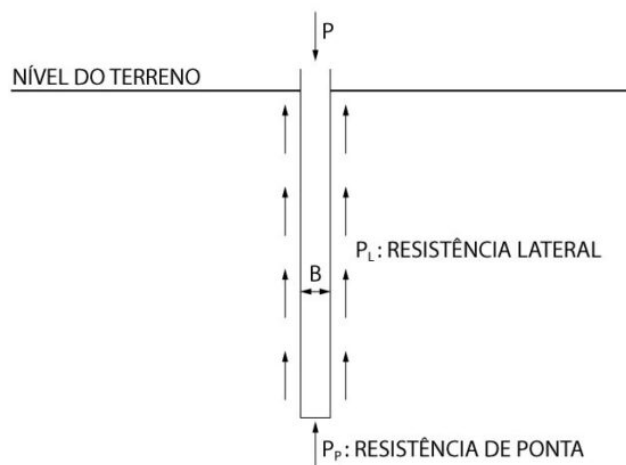
4.4 Metodologia do projeto estacas escavadas mecanicamente.

Existem vários métodos semiempíricos ou correlações para o dimensionamento de elementos de fundação, este trabalho aborda como metodologia para o dimensionamento de fundações profundas os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, que são os mais utilizados no Brasil e se encaixam no conceito de métodos semi-empíricos (SOUZA, 2020). Em paralelo para o dimensionamento de sapatas é feito mediante a fórmula da tensão, determinando assim sua menor e maior dimensão respectivamente, antes das verificações das dimensões. Estes métodos e outras correlações são descritos na sequência.

4.4.1 Método de Aoki-Velloso

O método de Aoki-Velloso foi apresentado em 1975 no Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações pelos engenheiros brasileiros Nelson Aoki e Dirceu Velloso. Inicialmente, esse método foi desenvolvido a partir de correlações entre os ensaios de cone (CPT) e ensaios SPT (Item 4.2.2). este método consiste na determinação da resistência de ponta da estaca mediante duas parcelas, sendo estas a resistência lateral e resistência de ponta conforma equação 1 e Figura 18, a seguir:

Figura 18: Esboço Estacas escavadas.



Fonte: Alonso (2019).

De maneira resumida, o método consiste em determinar duas parcelas da carga transmitida pela fundação ao solo e somá-las ao final: Resistência lateral e Resistência de ponta, conforme a Figura 18.

Este método, caracteriza a resistência do conjunto solo/estaca “R” pela soma das parcelas de resistência por atrito lateral “R_L” e resistência de ponta “R_P” conforme a equação 1, equação 2 e equação 3 (CINTRA, et al., 2011).

Equação 1: Resistencia da Estaca.

$$P_R = P_p + P_L$$

Equação 2: Resistencia de ponta.

$$P_p = A_p \frac{K N_{SPT}}{F_1}$$

Equação 3: Resistencia lateral.

$$P_L = \sum A_p \frac{\alpha K N_{SPT}}{F_2}$$

Fonte: Alonso (2019).

Onde:

P_R: Capacidade de carga da estaca;

A_p: área da base da estaca;

A_L: área lateral ao longo de todo o comprimento da estaca;

K: valores tabelados que variam de acordo com a natureza do solo;

F₁ e F₂: valores tabelados que variam de acordo com o tipo de estaca (Ver Anexo I);

Para o cálculo das resistências laterais e de ponta pelo método de Décourt-Quaresma são necessários a determinação dos valores tabelados “K, F₁ e F₂” (Anexo F e Anexo G), que dependem do tipo do solo, conforme a Tabela 7 e Tabela 8, a seguir.

Tabela 7: Fatores K e α .

Tipo de solo	K (kgf/cm²)	α (%)
Areia	10,00	1,4
Areia siltosa	8,00	2
Areia silto-argilosa	7,00	2,4
Areia argilosa	6,00	3
Areia argilo-siltosa	5,00	2,8
Silte	4,00	3
Silte arenoso	5,50	2,2
Silte areno-argiloso	4,50	2,8
Silte argiloso	2,30	3,4
Silte argilo-arenoso	2,50	3
Argila	2,00	6
Argila arenosa	3,50	2,4
Argila areno-siltosa	3,00	2,8
Argila siltosa	2,20	4
Argila silto-arenosa	3,30	3

Fonte: Cintra, et al. (2011).

Tabela 8: Fatores F1 e F2.

Tipo de estaca	F1	F2
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto D<60cm	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto D>60cm	2,50	1,4
Escavada D<60cm	3,00	6
Franki	2,50	5
Strauss	4,20	3,8

Fonte: Cintra, et al. (2011).

4.4.2 Método de Décourt-Quaresma

Este método foi apresentado em 1978 pelos engenheiros Luciano Décourt e Arthur Quaresma; este método permite determinar a capacidade de carga de estacas a partir, dos valores de N_{SPT} , obtidos na sondagem a percussão SPT (VELLOSO; LOPES, 2010).

De maneira análoga ao método de Aoki-Velloso, o método de Décourt-Quaresma também consiste em determinar uma capacidade de carga lateral e uma capacidade de carga de ponta, que podem ser calculadas pelas equações 4, equação 5 e equação 6 descritas a seguir:

Equação 4: Método de Décourt-Quaresma.

$$Q_r = Q_p + Q_L$$

Equação 5: Resistencia de ponta Décourt-Quaresma

$$Q_p = \alpha C A_p N_{SPT}^p$$

Equação 6: Resistencia Lateral Décourt-Quaresma

$$Q_L = 10 \beta \left[\left(\frac{N_{SPT}^L}{3} + 1 \right) A_L \right]$$

Fonte: Alonso (2019).

Onde:

AP: Área da base da estaca;

AL: Área lateral da estaca;

C: Valor tabelado de resistência do solo (Ver Anexo H);

α e β : Valores tabelados, minorizam as resistências e dependem do tipo de solo e estaca (Ver Anexo F);

N_{SPT}^p : valor do N_{spt} na Ponta da estaca. Podendo ser considerada uma média entre o N_{spt} da cota de assentamento e os N_{spt} imediatamente superior e inferior;

N_{SPT}^L : valor médio do N_{spt} ao longo do fuste, sem considerar os valores de N_{spt} utilizados para o cálculo da resistência de ponta;

Para o cálculo das resistências laterais e de ponta pelo método de Décourt-Quaresma são necessários a determinação dos valores tabelados “ C α e β ” (Anexo H), que dependem do tipo do solo, conforme a Tabela 9 e Tabela 10, a seguir.

Tabela 9: valor tabelado de resistência do solo.

Solo	C (kgf/cm ²)
Argilas	1,2
Siltes argilosos	2
Siltes arenosos	2,5
Areias	4

Fonte: Cintra, et al. (2011).

Tabela 10: Valores tabelados “ α ” e “ β ”.

Estaca	Cravada		Cravada		Cravada		Cravada		Cravada		Cravada	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Argilas	1,00	1,00	0,85	0,80	0,85	0,90	0,30	1,00	0,85	1,50	1,00	3,00
Siltes	1,00	1,00	0,60	0,65	0,60	0,75	0,30	1,00	0,60	1,50	1,00	3,00
Areias	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,60	0,30	1,00	0,50	1,50	1,00	3,00

Fonte: Cintra, et al. (2011).

4.5 Metodologia do orçamento

A metodologia de este trabalho contempla a elaboração de um orçamento analítico para os projetos de fundação em estacas escavadas mecanicamente e elaboração de um orçamento para o projeto de fundação em sapatas sobre solo mole reforçado com colunas de solo-cimento do Edifício Multiuso da Unila - Construção do Bloco 01 Campus Integração.

O orçamento analítico abrange a avaliação dos custos do empreendimento levando em consideração detalhes do dimensionamento, etapas de projeto quantitativo de materiais e ferramentas necessárias para execução das atividades (BRANCO, 2021).

A elaboração dos quantitativos será auxiliada pelos projetos previamente elaborados e adotando as tabelas de insumos e composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI 07/2024) (SINAPI, 2024) para o Estado do Paraná, e disponibilizados pelo Banco Caixa Econômica Federal.

Estes orçamentos analíticos serão compostos contendo: descrição, unidade, quantitativo, custo unitário, BDI, preço unitário e preço total (IBEC, 2020), isto, para os projetos de fundações superficiais em sapatas com reforço de colunas de solo-cimento e para o projeto de fundações profundas em estacas escavadas mecanicamente, favorecendo de esta forma, a análise de viabilidade econômica de ambos os projetos de fundações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

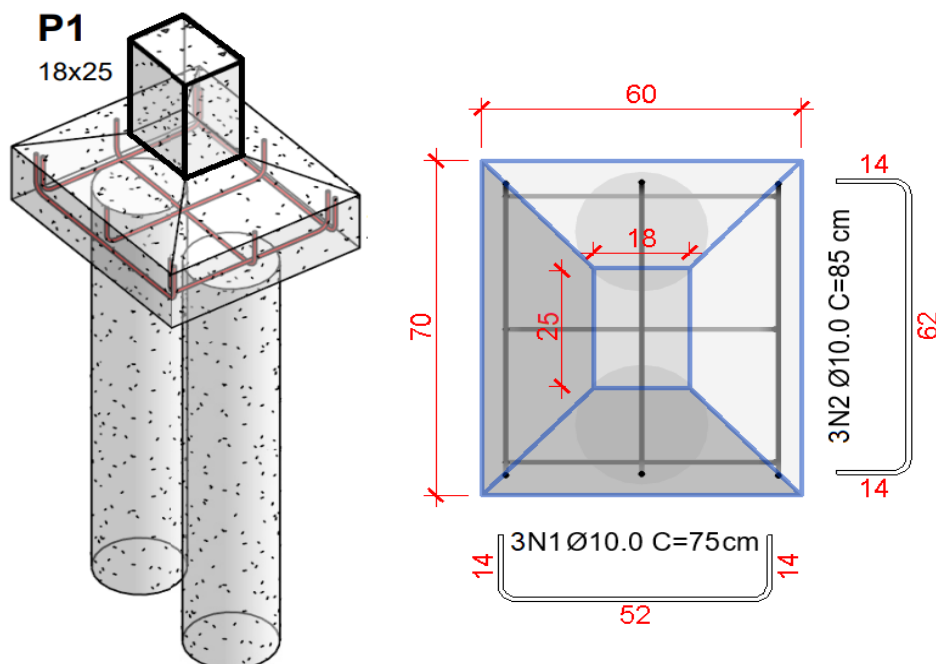
O objetivo de este capítulo é apresentar os principais resultados do dimensionamento dos projetos de fundação em sapatas com reforço de colunas de solo-cimento e projeto de fundação em estacas escavadas mecanicamente, seus respectivos quantitativos e planilhas orçamentárias, entre outros dados sobressalientes.

5.1 Dimensionamento do projeto de Sapatas com reforço de Solo-Cimento

Foi dimensionado o projeto de fundações superficiais em sapatas isoladas para o Bloco 01 Campus Integração da Unila. O dimensionamento das sapatas incluiu um reforço não estrutural correspondente ao 20% da base da sua área com um número determinado de colunas de diâmetro fixo em $\varnothing 25\text{cm}$, estas colunas são compostas da mistura solo-cimento com um teor de cimento de 9% e profundidade fixada em 2m conforme Figura 19.

A Figura 23, mostra os resultados do dimensionamento do pilar P1, sendo estes, uma sapata com dimensões finais de 70x60cm, e alturas de 30cm e 20cm, o detalhamento da armadura e reforço em colunas de solo-cimento.

Figura 19: Detalhamento da “Sapata S1”.



Fonte: O autor, 2024.

No dimensionamento foram utilizados os métodos semiempíricos descritos nos itens 4.2 e 4.3 de este documento. Inicialmente fez-se um pré-dimensionamento da sapata, adotando um valor para a dimensão “B” (menor dimensão), na sequência, foi determinada a outra dimensão usando a proporcionalidade das dimensões do pilar obtendo assim os resultados descritos na Tabela 11. Para maior detalhamento veja Apêndice C.

Foram empregados a planta de carregamento de pilares da edificação, a qual consiste em 125 pilares e suas respectivas cargas (Anexo A), Perfil de elevação (Anexo B), Sondagem de simples reconhecimento do solo com SPT E Perfil estratigráficos (Anexo C), Detalhamento de Pilares (Anexo I) do local fornecidos pela *Secretaria de Implantação do Campus – SECIC* da Unila. Os parâmetros utilizados foram os dados de capacidade de carga do solo, teor da mistura solo-cimento e área do reforço baseados nos resultados de Anagua Coila (2019), resulta uma tensão admissível foi 292kPa. Fator de Segurança 2 e Coeficiente de majoração da carga 1,3.

Finalmente a Tabela 11, mostra os resultados do dimensionamento para a amostra de Sapatas típicas, as quais foram determinadas a partir do carregamento máximo e seção transversal do pilar.

Tabela 11: Dimensionamento das Sapatas Típicas.

Dimensionamento das Dimensões A e B das Sapatas										
Pilar	Seção	Carga Máx.	CARGA Coef Kmaj=1,3	Carga	Área Inicial	Área Final "S"	Dimensões Finais (cm)		h	h₀
N°	-	tf	tf	kN	cm²	cm²	A	B	cm	cm
P1	18x25	7,3	9	94,9	3796	4200	70	60	30	20
P2	18x25	14,6	19	189,8	7592	8075	95	85	30	20
P15	20x45	23,7	31	308,1	12324	12500	125	100	30	20
P66	20x45	46,7	61	607,1	24284	24650	170	145	45	20
P87	20x45	37,9	49	492,7	19708	20150	155	130	40	20
P88	20x45	58,3	76	757,9	30316	31350	190	165	50	20
P91	20x45	66,3	86	861,9	34476	35000	200	175	55	20
P94	20x45	72,2	94	938,6	37544	38850	210	185	55	20

Fonte: O autor, 2024.

A Tabela 11 as dimensões finais das sapatas para a maior sapata sendo 210x185cm com um carregamento máximo de 72,2 toneladas. Em paralelo mostra os resultados do dimensionamento para a menor sapata 70x60cm com um carregamento de 7,3 toneladas, como mostra a Figura 19. Finalmente, a Tabela 12 mostra dimensionadas as colunas de reforço das sapatas, sendo estas colunas de mistura de solo-solo cimento com teor de 9% de cimento. Área do reforço 20% da área da sapata e área unitária de diâmetro definitivo Ø25cm e profundidade de 200cm, foi adotado Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial “CP-V-ARI” para a mistura e homogeneização das colunas de solo-cimento.

O dimensionamento do reforço resultou em 656 colunas de reforço (Tabela 12). Das 125 sapatas dimensionadas o 79% delas contempla o intervalo de 6-10 reforços, 12% entre 11-15 reforços 7% entre 1-5 reforços. apenas a “Sapatas S1 e S7” com dimensões 70x60cm e 60x60cm respectivamente com duas colunas de reforço cada, representando 1,2%. Posteriormente a “Sapata S94” com dimensões de 210cm x 185cm corresponde ao número máximo de 16 reforços.

Tabela 12: Dimensionamento do Reforço.

Sapata	Carga	Dimensões Finais (cm)		Área de reforço Solo-cimento cm ²	Área Unitária Coluna de reforço cm ²	Nº de Colunas de Reforço x Sapata	Profundidade
		A	B				
Nº	tf	A	B	20%	cm ²	Nº	cm
S1	7,3	70	60	840	491	2	200
S2	14,6	95	85	1615	491	3	200
S15	23,7	125	100	2500	491	5	200
S66	46,7	170	145	4930	491	10	200
S87	37,9	155	130	4030	491	8	200
S88	58,3	190	165	6270	491	13	200
S91	66,3	200	175	7000	491	14	200
S94	72,2	210	185	7770	491	16	200

Fonte: O autor, 2024.

Posteriormente, foi realizado a verificação das tensões cisalhantes do solo com as dimensões finais das sapatas adotadas e as verificações de segurança à ruptura do concreto conforme a NBR 6118 (2014). Os resultados são apresentados na Tabela 13, a seguir.

Tabela 13: Verificação de Ruptura do concreto.

Verificação de Segurança Ruptura do Concreto						
Sapata	Bitola mm	LbDisp Lb,pilar =20cm Min	d (Altura útil)	τ_{sd}	τ_{Rd2}	$\tau_{sd} <$ τ_{Rd2}
Nº	10	cm	cm	Mpa	Mpa	-
S1	10	24	24,5	0,05	3,5	Ok
S2	10	24	24,5	0,09	3,5	Ok
S15	10	24	24,5	0,10	3,5	Ok
S66	10	39	39,5	0,12	3,5	Ok
S87	10	34	34,5	0,11	3,5	Ok
S88	10	44	44,5	0,13	3,5	Ok
S91	10	49	49,5	0,13	3,5	Ok
S94	10	49	49,5	0,15	3,5	Ok

Fonte: O autor, 2024.

Foi realizado o dimensionamento das armaduras pelo método das bielas descrito no item 3,7 de este documento, também foram realizadas as verificações correspondentes de ruptura do concreto, tensão, cisalhante e tensão ancoragem, punção pilar/sapata e momento fletor, em conformidade com as exigências e recomendações da NBR 6.118 (2014), os resultados são mostrados na Tabela 14 e no Apêndice C.

Foi determinada o número de barras e espaçamento correspondente em ambas as direções a partir da área de aço que resistem as solicitações de tensão na base da sapata, Tabela 14, descrita a seguir.

Tabela 14: Dimensionamento da Armadura.

<i>Dimensionamento da Armadura - Método das Bielas</i>												
Sapata	Dimensões Finais (cm)		Rs	d _a	d _B	d _B >d _{B, Min}	A _{s,A}	A _{s,B}	Qtd	Qtd	Esp S _A	Esp S _B
	N°	A							B	kN		
S1	70	60	13078	26	25	Ok	2,5	2,2	3	3	28	30
S2	95	85	40688	20	25	Ok	3,4	3,1	4	4	26	27
S15	125	100	75485	20	25	Ok	4,5	3,6	6	5	25	26
S66	170	145	374695	35	40	Ok	9,9	8,5	13	11	14	14
S87	155	130	233725	30	35	Ok	7,9	6,6	10	8	16	16
S88	190	165	611294	40	45	Ok	12,5	10,9	16	14	12	12
S91	200	175	826616	45	50	Ok	14,7	12,9	19	16	11	11
S94	210	185	958252	45	50	Ok	15,4	13,6	20	17	11	11

Fonte: O autor, 2024.

Foram adotados os bitola 10mm, Concreto F_{CK} 20Mpa, Aço CA-50 COM F_{YK} 50 KNcm². Foram determinadas também as áreas mínimas de armaduras em ambas as direções e posteriormente o detalhamento das armaduras.

Finalmente foi realizado o detalhamento das armaduras a partir as áreas mínimas de aço conforme a NBR 6118, respeitando o cobrimento de 4cm mínimo por norma assim como sua respectiva dobra, os resultados são listados na Tabela 15.

Foram determinadas 1759 barras classificadas a partir do comprimento sendo N1 comprimento igual a 80cm e N35 comprimento igual a 230cm, para mais detalhes veja o apêndice D o detalhamento completo.

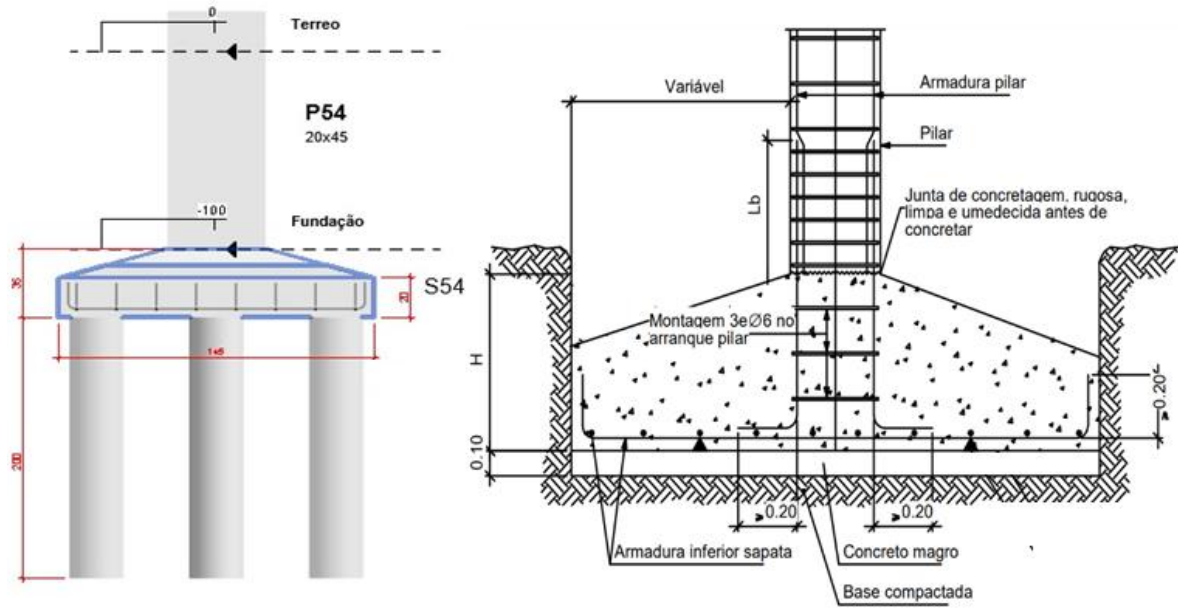
Tabela 15: Detalhamento das armaduras Das Sapatas.

Detalhamento das armaduras				
Pilar	Dimensões Finais (cm)		Nomenclatura das armaduras em "A"	Nomenclatura das armaduras em "B"
	A	B	Maior Dimensão	Menor Dimensão
P1	70	60	3 N7 Ø10.0 c/28 C = 90	3 N5 Ø10.0 c/30 C = 80
P2	95	85	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105
P15	125	100	6 N18 Ø10.0 c/25 C = 145	5 N13 Ø10.0 c/26 C = 120
P66	170	145	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P87	155	130	10 N24 Ø10.0 c/16 C = 175	8 N19 Ø10.0 c/16 C = 150
P88	190	165	16 N31 Ø10.0 c/12 C = 210	14 N26 Ø10.0 c/12 C = 185
P91	200	175	19 N33 Ø10.0 c/11 C = 220	16 N28 Ø10.0 c/11 C = 195
P94	210	185	20 N35 Ø10.0 c/11 C = 230	17 N30 Ø10.0 c/11 C = 205

Fonte: O autor, 2024.

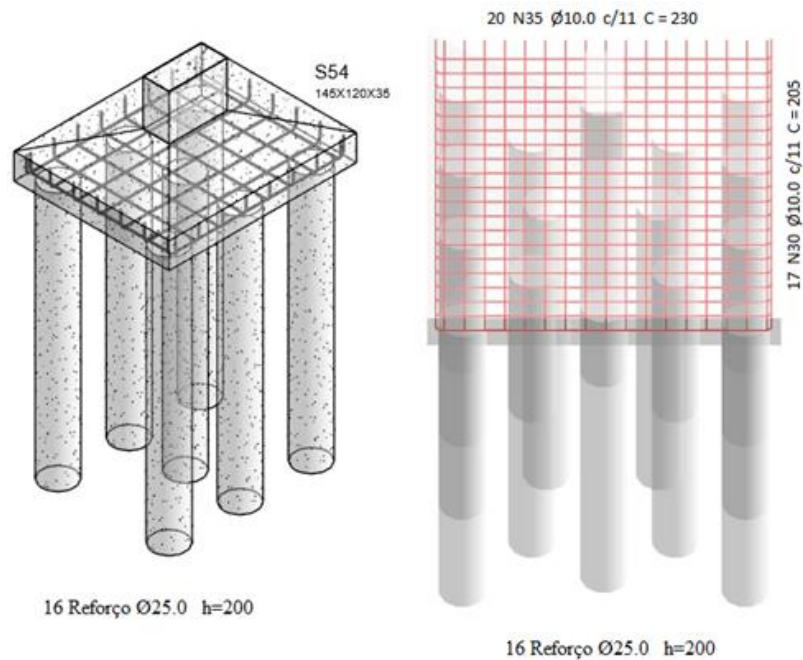
A Figura 20, Figura 21 e Figura 22 elaboradas com o software Revit (Autodesk, 2024), mostra cortes laterais e isométricos com o detalhamento das armaduras do pilar e sapata “S94” com suas respectivas seções transversais e dimensões, assim como o detalhamento das colunas de reforço em mistura de solo-cimento, para maior detalhamento veja Apêndice A e Apêndice D.

Figura 20: Detalhamento das Armaduras S54.



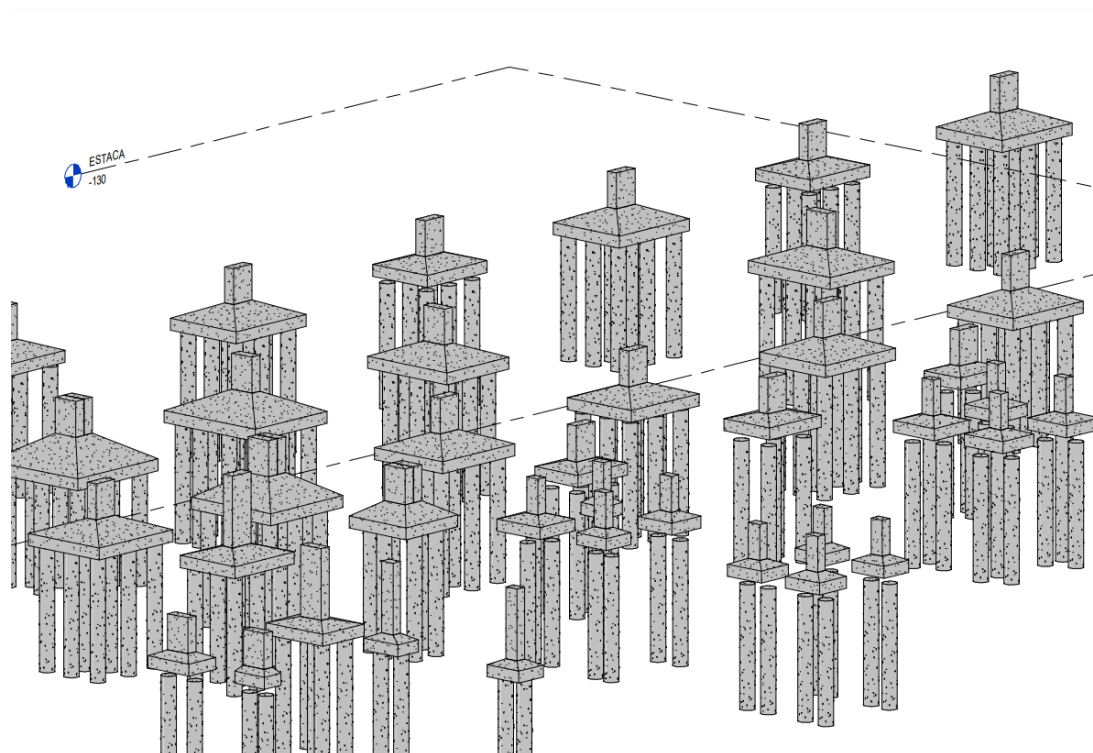
Fonte: O autor, 2024.

Figura 21: Detalhamento do Reforço S54.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 22: Isométrico Sapatas com Reforço.



Fonte: O autor, 2024.

Foram adotados os bitola 10mm, Concreto F_{CK} 20Mpa, Aço CA-50 COM F_{YK} 50 $KNcm^2$. Foram determinadas também as áreas mínimas de armaduras em ambas as direções e posteriormente o detalhamento das armaduras. Sobre a mistura solo-cimento, foram avaliados diversos equipamentos especializados para a homogeneização, no entanto, foi definido mistura de forma manual mediante o uso de betoneira 400L devido principalmente a um aumento exponencial nos custos quando maquinaria especializada. No entanto, deve ser levando em consideração um aumento do risco do fator humano no manuseio e homogeneização do solo-cimento. Para maior detalhamento veja Apêndice B.

5.2 Proposta Para Execução do Reforço de Solo-cimento

Foi desenvolvida uma metodologia específica para a execução das 656 colunas de reforço de solo-cimento dimensionadas no projeto de sapatas (Item 5.1); esta metodologia permite identificar todos os processos e atividades envolvidas na execução em conformidade com NBR 6122 Projeto e execução de fundações, descrita na sequência (para maior detalhamento, veja Apêndice E).

5.2.1.1 Etapa I

Esta etapa consiste nas atividades preliminares antes da execução: levantamento dos dados do projeto, estudo e caracterização do solo, planejamento e logística das atividades, cronograma de obra, determinação de ensaios a serem realizados *in-situ*, canteiro de obra, obtenção de materiais equipamentos e mão de obra, assim como preparo, limpeza, nivelamento, e gabarito do terreno quando necessários, em observância aos requisitos descritos nas referências normativas (para maior detalhamento, veja Apêndice E)

Assim, foram definidos os seguintes materiais, equipamentos e materiais necessários para a execução das 656 colunas de solo-cimento correspondentes para o projeto de Fundações superficiais do Bloco 01 Campus Integração:

- Perfuratriz hidráulica HB-17 Torque Máx. 5.365 Nm acoplada em retroescavadeira, Figura 23 (BRISTOL, 2023).
- Mangueira HID 3m e adaptador de Aço do tipo Guindaste para Escavadeira / Perfuratriz (PRATES, 2023).
- Broca reta tipo navalha simples 250x3000mm (PRATES, 2023).
- Retroescavadeira caçamba 0,96m³ 75CV com operador.
- 2 Betoneira traço 400L 2CV Monofásica.
- Cronograma de Execução: sugere-se a elaboração do cronograma de execução dos furos, considerando a duração das atividades e a sequência mais eficiente.
- Mao de obra: 4 auxiliares de serviços gerais, 2 pedreiros e 2 operadores de bate-estacas, sugere-se um fiscal técnico de segurança do trabalho e um engenheiro residente, e o uso obrigatório de equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

Figura 23: Perfuratriz hidráulica HB-17.



Fonte: Bristol (2023).

5.2.1.2 Etapa II:

Esta etapa é composta pelo conjunto de atividades a serem observadas antes, durante e depois da execução do reforço de colunas de solo-cimento, descritos a seguir: conferência de materiais, equipamentos e mão de obra, marcação e conferência do local de execução, projeto estrutural das sapatas e detalhamento do reforço solo-cimento, entre eles: localização, espaçamento, dimensões e teor de dosagem do solo-cimento, cronograma de atividades e acompanhamento rigoroso das condições meteorológicas do local de execução. Execução dos furos, monitoramento da escavação e das condições de diâmetro, profundidade e estabilização (sugere-se o uso de tubos PVC 250mm para evitar deslizamentos). Preparo da mistura na proporção de projeto e injeção nos furos, em observância dos requisitos de controle tecnológico e da elaboração de corpos de prova para ensaios (**Figura 24**Figura 24), compactação da mistura na parte superior evitando vazios. (para maior detalhamento, veja Apêndice E).

Figura 24: Execução Reforço Solo-cimento.



Fonte: Berberian (2015).

5.2.1.3 Etapa III

Esta etapa consiste nas verificações finais após a exceção das colunas de solo-cimento, listadas a seguir: remoção e disposição adequada de resíduos, garantia de condições adequadas de cura conforme projeto, inspeções de rotina garantindo a conformidade de projeto, realização

de ensaios de laboratório ou campo programados, manutenção de registros detalhados dos processos executados incluindo ensaios, medições e datas de execução, para referências futuras ou auditorias. (para maior detalhamento, veja Apêndice D).

5.3 Projeto de Fundações Profundas Executado.

Foi dimensionado o projeto de fundações profundas em estacas escavadas mecanicamente executado no ato da construção do Bloco 01 Campus Integração da Unila. Foram empregadas as plantas de carregamento de pilares da edificação (Anexo A), Perfil de elevação (Anexo B), Detalhamento de Estacas (Anexo D), Sondagem de reconhecimento do solo SPT, e memorial descritivo do projeto estrutural de autoria da *Construtora Riddel Engenharia Ltda*, disponibilizados pela *Secretaria de Implantação do Campus – SECIC* da Unila.

Característica do Concreto:

f_{ck} (kgf/cm²)	E_{cs} (kgf/cm²)	f_{ct} (kgf/cm²)	Abatimento (cm)	Coef dilatação Térmica (/°C)
200	255448	22	5,00	0,00001

Características do aço:

Categoria	Massa específica (kgf/cm²)	Módulo de Elasticidade (kgf/cm²)	F_{yk} (kgf/cm²)
CA – 50	7850	2100000	5000
CA – 60	7850	2100000	6000

Foram dimensionadas as estacas escavas mecanicamente conforme o método Aoki-Velloso (CINTRA, et al., 2011). e Décourt-Quaresma (VELLOSO; LOPES, 2010), descritos nos itens 4.2.1 e 4.2.2 de este documento.

Foram calculadas as resistências de ponta e de resistência lateral mediante o uso de valores tabelados que variam de acordo a natureza do solo e da estaca (Veja Anexo H), para as estacas e determinada a carga admissível da estaca; quando comparas com o carregamento máximo vindo do pilar foi verificado que a carga admissível é maior que o carregamento

máximo proveniente do pilar, portanto não há não foi necessário o dimensionamento de blocos de coroamento.

Os resultados do dimensionamento para a amostra de pilares típicos, determinadas a partir do seu carregamento máximo e seção transversal do pilar são mostradas na Tabela **Tabela 16**: Dimensionamento estacas16.

Tabela 16: Dimensionamento estacas.

Pilar	Seção (cm)	Carga Máx. (kN)	Carga Admissível (kN)	Verif	Número de Estacas Necessárias	Comprimento L da estaca [m]	Bloco de Coroamento
P1	18x25	87,6	98,79	OK	1	5	Não
P2	18x25	175,2	246,6	Ok	1	10	Não
P15	20x45	284,4	411,8	Ok	1	10	Não
P66	20x45	560,4	825,8	Ok	1	10	Não
P87	20x45	454,8	604,8	Ok	1	10	Não
P88	20x45	699,6	825,8	Ok	1	10	Não
P91	20x45	795,6	825,8	Ok	1	10	Não
P94	20x45	866,4	862,2	OK	1	8	Não

Fonte: O autor, 2024.

Posteriormente do dimensionamento foram realizadas as verificações e solicitações em conformidade com a NBR 6118. Entre elas verificação de tensão aplicada na estaca e verificações do concreto, descrito na Tabela 17.

Foi realizado o dimensionamento das armaduras das estacas escavadas mecanicamente mediante o método das bielas descritas no item 4.2, a verificação constatou necessário uma área menor à área mínima definida na NBR 6188.

Por tanto foi adotada o valor da área mínima igual a 0,4% da seção transversal da estaca; foi adotada bitola de Ø10mm para as armaduras longitudinais e bitola de Ø6,3mm para os estribos transversais.

Tabela 17: Verificação da Tensão Aplicada.

Pilar	Área (m ²)	Tensão Aplicada na estaca (kN/m ²)	Tensão Aplicada na estaca (kN/cm ²)	$\tau \leq 0,85 f_{cd}$	$\tau \geq 5 \text{ MPA}$	(1 + 6/ θ_{est}) Definitivo	$F_{yd} \leq F_{yk}/1,15$ OU $F_{yd} \leq 0,2\% * E$
P1	0,13	587,2	0,06	Ok	Área Mínima	1,15	42,00
P2	0,13	1962,5	0,2	Ok	Área Mínima	1,15	42,00
P15	0,28	1456,3	0,15	Ok	Área Mínima	1,10	42,00
P66	0,79	1051,4	0,1	Ok	Área Mínima	1,10	42,00
P87	0,50	1203,3	0,12	Ok	Área Mínima	1,10	42,00
P88	0,79	1051,4	0,1	Ok	Área Mínima	1,10	42,00
P91	0,79	1051,4	0,11	Ok	Área Mínima	1,10	42,00
P94	1,54	560,1	0,1	Ok	Área Mínima	1,10	42,00

Fonte: O autor, 2024.

Foi realizada a verificação da área necessária no dimensionamento em conformidade com a NBR 6118 (2014), resultando área mínima para todas as estacas, os resultados são mostrados na Tabela 18.

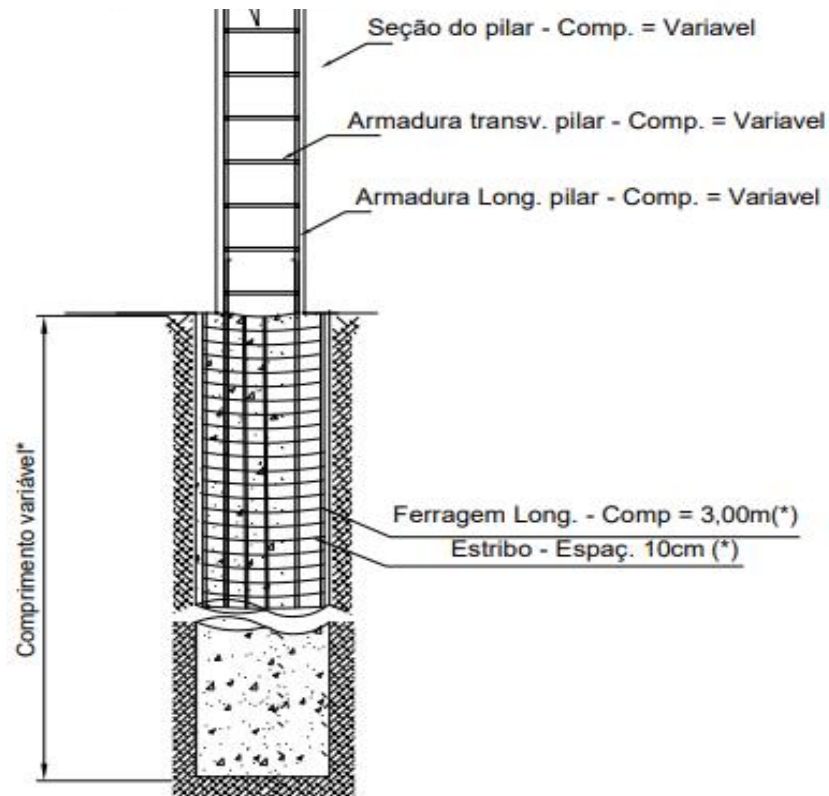
Tabela 18: Verificação área mínima.

Pilar	Seção (cm)	Verificação da Área de Aço	As Min (cm ²)	Bitola Ø (cm)	Número de Barras	Quantidade de Etribos	Z (m) Comprimento Definitivo Armadura
P1	18x25	Área Mínima	7,54	1,00	10	32	3,8
P2	18x25	Área Mínima	7,54	1,00	10	52	6,2
P15	20x45	Área Mínima	16,96	1,00	12	46	5,5
P66	20x45	Área Mínima	47,12	1,00	20	36	4,4
P87	20x45	Área Mínima	30,16	1,00	13	41	4,9
P88	20x45	Área Mínima	47,12	1,00	20	36	4,4
P91	20x45	Área Mínima	47,12	1,00	22	36	4,4
P94	20x45	Área Mínima	92,36	1,00	28	32	3,8

Fonte: O autor, 2024.

Após a dimensionamento das armaduras das estacas escavadas mecanicamente foi realizado o respetivo detalhamento: quantitativo, espaçamento e comprimento dos estribos, quantitativos de aço e relatório das armaduras descritas na determinação do comprimento mínimo e dobras dos estribos, descritos a seguir na Figura 25 e Tabela 19.

Figura 25: Detalhamento Armadura Transversal.



Fonte: O autor, 2024.

Tabela 19: Detalhamento das armaduras das estacas.

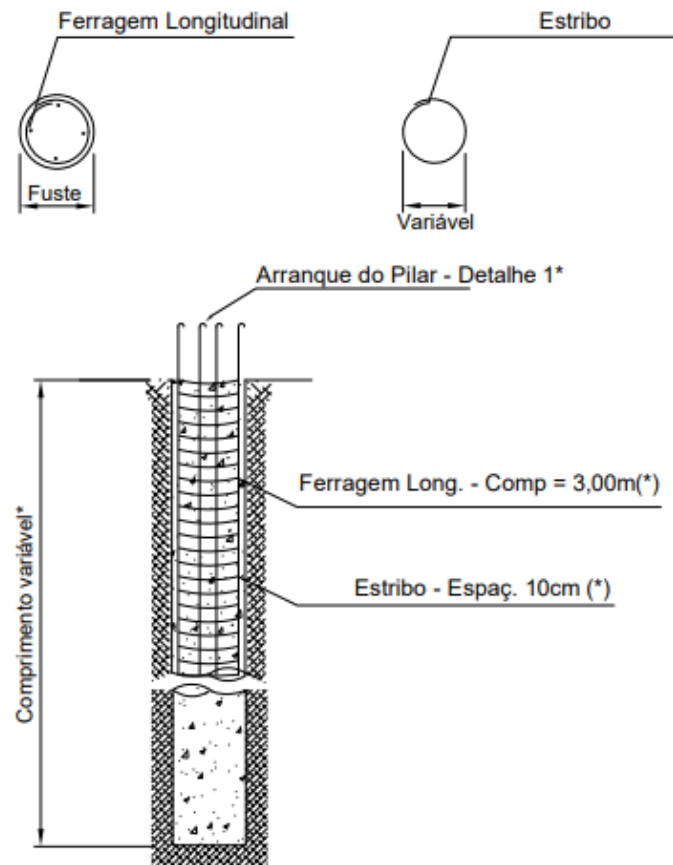
Pilar	Seção (cm)	Número de Estacas	Comprimento L da estaca [m]	Barras Longitudinais	Detalhamento Estribos
P1	18x25	1	5	10 N1 Ø 10mm C = 380cm	32N2 Ø6,3mm C/12 C= 105
P2	18x25	1	10	10 N1 Ø 10mm C = 622cm	52N2 Ø6,3mm C/12 C= 105
P15	20x45	1	10	12 N1 Ø 10mm C = 548cm	46N2 Ø6,3mm C/12 C= 170
P66	20x45	1	10	20 N1 Ø 10mm C = 438cm	36N2 Ø6,3mm C/12 C= 295

P87	20x45	1	10	13 N1 Ø 10mm C = 488cm	41N2 Ø6,3mm C/12 C= 230
P88	20x45	1	10	20 N1 Ø 10mm C = 438cm	36N2 Ø6,3mm C/12 C= 295
P91	20x45	1	10	22 N1 Ø 10mm C = 438cm	36N2 Ø6,3mm C/12 C= 295
P94	20x45	1	8	28 N1 Ø 10mm C = 380cm	32N2 Ø6,3mm C/12 C= 420

Fonte: O autor, 2024.

A Figura 26 e Figura 27, mostram em planta em e corte o perfil da estaca escavada, assim como as respectivas armaduras transversal e longitudinal da estaca P54, para maior detalhamento veja a planta de locação no apêndice F.

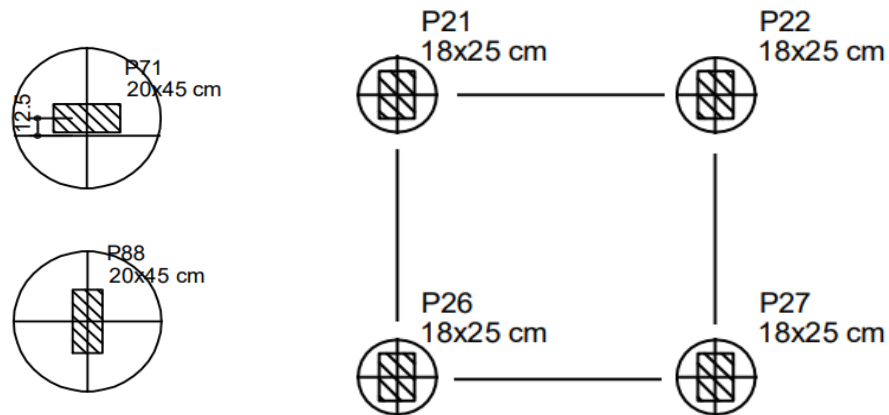
Figura 26: Locação das Estacas.



* Profundidade útil de cada estaca.

Fonte: O autor, 2024.

Finalmente a Figura 27 mostra o plano de locação de 4 das estacas escavadas mecanicamente. Para maior detalhe veja o Apêndice F: Planta de Locação do Projeto de Estacas escavadas mecanicamente.

Figura 27: Detalhamento Armadura Estacas.

Fonte: O autor, 2024.

5.4 Análise de custos

5.4.1 Orçamento Fundações Superficiais com Reforço de Solo-cimento

Foram elaborados os quantitativos dos principais itens necessários para execução dos elementos de fundação para o projeto de fundação superficial com reforços de colunas de solo-cimento.

Foi elaborada o orçamento analítico com as composições de preço e insumos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) utilizando as tabelas de referência de preço para o mês de Julho de 2024 para o Estado do Paraná. Os resultados são apresentados na Tabela 20 **Tabela 20:** Orçamento Fundações Superficiais, a seguir:

Tabela 20: Orçamento Fundações Superficiais.

Descrição	Un	Qtvo	Preço Unitário	Preço Total
MARCAÇÃO DOS EIXOS E GABARITOS	un	1222	R\$ 10,81	R\$ 13.209,82
LIMPEZA SOLO E ESCAVAÇÃO ESTACAS (RETRO-ESCAVADEIRA) INCLUI DESPENSAS OPERADOR - COMBUSTIVEL	DIA	12	R\$ 891,18	R\$ 10.694,16
ADAPTADOR AÇO GUINDASTE / RETRO ESCAVADEIRA / MINI ESCAVADEIRA	un	5	R\$ 321,06	R\$ 1.605,30
PERFURATRIZ HIDRAULICA PESADA HB-10 TORQUE MAX. 5.365 Nm	un	1	R\$ 10.800,69	R\$ 10.800,69
BROCA RETA NAVALHA SIMPLES 250X3000MM	un	2	R\$ 3.095,44	R\$ 6.190,88

MANGUEIRA HID 3M GUINDASTE-IMAP/SHE/PHD	un	1	R\$ 10,91	R\$ 10,91
ALUGUEL E MANUTENÇÃO - BETONEIRA MAX 1 TRAÇO 400L 2CV MONOFÁSICA	MES	2	R\$ 250,00	R\$ 500,00
CIMENTO PORTLAND POZOLANICO CP IV-32	kg	8855	R\$ 0,65	R\$ 5.755,75
ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	kg	2955	R\$ 7,49	R\$ 22.132,95
ARMAÇÃO DE SAPATAS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM	kg	2013	R\$ 13,62	R\$ 27.417,06
MONTADOR DE ESTRUTURAS METALICAS (MENSALISTA)	MES	3	R\$ 3.620,03	R\$ 10.860,09
CONCRETAGEM DE SAPATAS, FCK 25 MPA, COM USO DE JERICA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	m³	156	R\$ 176,13	R\$ 27.476,28
AUXILIAR DE SERVIÇOS GERAIS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	MES	2	R\$ 4.329,57	R\$ 8.659,14
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	m³	156	R\$ 440,57	R\$ 68.728,92
OPERADOR DE BATE-ESTACAS (MENSALISTA)	MES	1	R\$ 4.128,22	R\$ 4.128,22
PEDREIRO (MENSALISTA)	MES	1	R\$ 3.869,33	R\$ 3.869,33
AUXILIAR DE PEDREIRO (HORISTA)	H	160	R\$ 16,94	R\$ 2.710,40
DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM ÁGUA	L	150	R\$ 7,25	R\$ 1.087,50
FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM	m³	157	R\$ 195,47	R\$ 30.688,79
ARAME RECOZIDO 16 BWG, D = 1,65 MM	KG	88,65	R\$ 25,98	R\$ 2.303,13
Espaçador Rolete P/ Fundação Bipartido Estaca 50mm	saco	10	R\$ 229,90	R\$ 2.299,00
Totais:	-	-	-	R\$ 261.128,32

Fonte: O autor, 2024.

5.4.2 Orçamento Fundações Profundas em Estacas escavadas mecanicamente

Foram elaborados os quantitativos dos principais itens necessários para execução dos elementos de fundação para o projeto de fundação profundas em estacas escavadas mecanicamente. Foi elaborada o orçamento analítico com as composições de preço e insumos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) utilizando as tabelas de referência de preço para o mês de Julho de 2024 para o Estado do Paraná. Os

resultados são apresentados na Tabela 21 **Tabela 21:** Orçamento Projeto de Fundações Profundas, a seguir:

Tabela 21: Orçamento Projeto de Fundações Profundas.

Discriminação	Un.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE - DIÂMETRO DE 40CM	m	175	R\$ 112,37	R\$ 19.664,75
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE - DIÂMETRO DE 60CM	m	166	R\$ 230,56	R\$ 38.272,96
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE - DIÂMETRO DE 80CM	m	280	R\$ 360,03	R\$ 100.808,40
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE - DIÂMETRO DE 100CM	m	290	R\$ 536,37	R\$ 155.547,30
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE - DIÂMETRO DE 120CM	m	32	R\$ 793,43	R\$ 25.389,76
ESTACA ESCAVADA MECANICAMENTE - DIÂMETRO DE 140CM	m	32	R\$ 1.226,83	R\$ 39.258,56
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM	M3	493,3	R\$ 440,57	R\$ 217.333,18
ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	10819	R\$ 7,49	R\$ 81.034,31
ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	349,9	R\$ 7,90	R\$ 2.764,21
AUXILIAR DE SERVIÇOS GERAIS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	MES	2	R\$ 4.329,57	R\$ 8.659,14
OPERADOR DE BATE-ESTACAS (MENSALISTA)	MES	1	R\$ 4.128,22	R\$ 4.128,22
MONTADOR DE ESTRUTURAS METALICAS (MENSALISTA)	MES	2	R\$ 3.620,03	R\$ 7.240,06
PEDREIRO (MENSALISTA)	MES	1	R\$ 3.869,33	R\$ 3.869,33
ARAME RECOZIDO 16 BWG, D = 1,65 MM	KG	325	R\$ 25,98	R\$ 8.432,33
Espaçador Rolete P/ Fundação Bipartido Estaca 50mm	saco	10	R\$ 229,90	R\$ 2.299,00
Totais:	-	-	-	R\$ 714.701,51

Fonte: O autor, 2024.

5.5 Discussão critérios técnicos

No projeto de fundações em sapatas com reforço de solo cimento, foram dimensionadas 125 sapatas de dimensões finais variáveis, entre 60cm e 210cm sua maior dimensão e 30cm até 185cm sua menor dimensão, não foi necessário o dimensionamento de sapatas associadas ou de divisa devido as características do empreendimento estar afastado em outras edificações a divisa do terreno.

O projeto de fundações em estacas escavas mecanicamente consistiu em 125 estacas de diversos diâmetros sendo, 42% diâmetro Ø40cm; 24% Ø100cm; 15% Ø60cm; 13% diâmetro Ø80cm e apenas 3% das estacas foram diâmetro Ø120cm e Ø140cm. Não foram necessários blocos de coroamento, vigas de equilíbrio nem mais de uma estaca por pilar.

O projeto de fundações em sapatas oferece uma economia significativa no volume de concreto necessário 153m³ em comparação ao projeto de estacas escavadas mecanicamente, sendo necessários 493m³ de concreto, isto devido ao impacto do reforço do solo cimento que permite um ganho considerável na capacidade de carga do solo o que por sua vez se reflete em sapatas de menores dimensões e por tanto, menor consumo de materiais.

Considerando-se os resultados de ambos os dimensionamentos e verificações realizadas em conformidade com NBR 6122, (2022) (itens 5.2 e 5.3 de este documento), foi constatado que os projetos de fundação em sapatas com reforço de colunas de solo-cimento e projeto de fundações em estacas escavadas mecanicamente, para o bloco 01 Campus Integração da Unila, cumprem as verificações técnicas necessárias para receber e transmitir as cargas vindas da edificação para o solo de maneira segura e estável oferecendo segurança ao projeto e a estrutura de fundação.

5.6 Discussão critérios Econômicos

Nos itens 5.1.2 e 5.2.1 foram elaboradas as planilhas orçamentarias com seus correspondentes índices, insumos e custos referentes aos projetos de fundações superficiais com reforço de colunas de solo-cimento e ao projeto de fundações profundas em estacas escavadas mecanicamente, em conformidade com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Os resultados desses orçamentos são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22: Resumo dos Orçamentos.

PROJETO	CUSTO
Projeto de Sapatas com Reforço	R\$ 261.128,32
Projeto de Estacas escavadas mecanicamente	R\$ 714.701,51

Fonte: O autor, 2024.

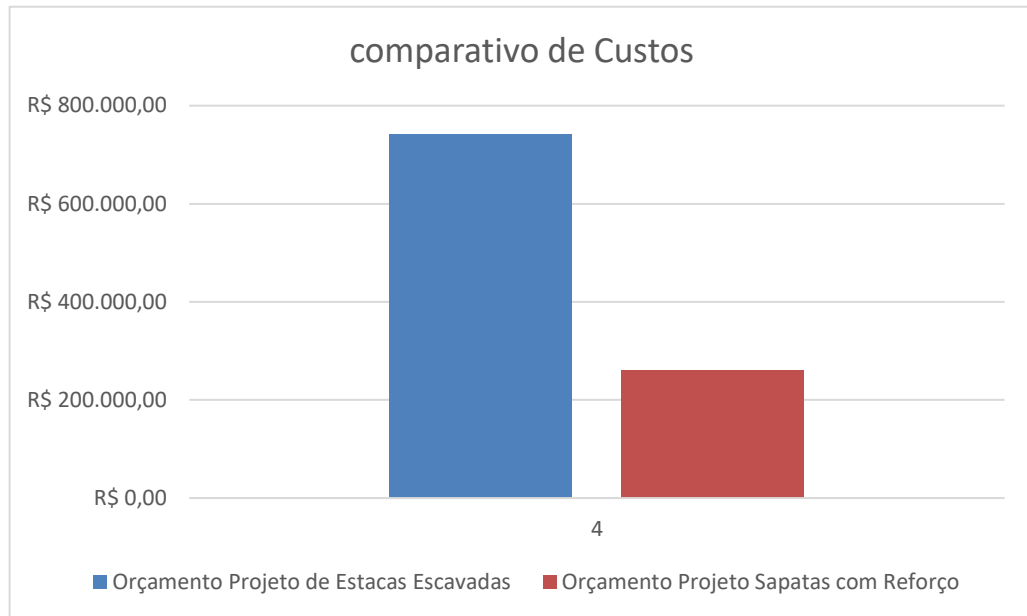
Considerando os custos associados ao projeto de estacas escavadas mecanicamente, o projeto de sapatas com reforço corresponde a um 35% do valor.

A estaca escavada, apresenta o maior custo quando comparados, no entanto, apresenta maior praticidade no processo construtivo, possui um período de execução curto e de baixa complexidade, além de apresentar uma baixa quantidade de insumos por não necessitar de formas e escoramentos.

Quando comparados os cronogramas de ambos os projetos o projeto de sapatas precisa de 41 dias para sua execução enquanto o projeto de estacas com reforço de colunas de solo cimento, apenas 24 dias, isto levando em consideração o tempo de 14 dias de cura para início de carregamento.

O Gráfico 1: Comparativo de Orçamentos, apresenta os custos associados a execução de ambos os projetos de fundação para o Bloco 01 Campus Integração da Unila. O projeto de sapatas apresenta um orçamento mais econômico, no entanto tem um cronograma de atividades 17 dias maior além de apresenta maior risco no quesito fator humano além de uma movimentação de volume escavado duas vezes maior quando comparado ao projeto de estacas escavadas mecanicamente e precisa de condições meteorológicas ideais para sua execução, condições de chuva forçaria reagendamento das atividades.

Graficamente é possível identificar que os custos associados ao projeto de sapatas com reforço representam um terço o orçamento do projeto de estacas escavadas mecanicamente, no entanto, deve ser listadas e avaliados outros critérios que auxiliem na definição de um projeto, critérios tais como tempo de execução, durabilidade, impactos ambientais disponibilidade técnica local de execução, acesso ao canteiro de obra entre outros.

Gráfico 1: Comparativo de Orçamentos (O autor, 2024).

Fonte: O autor, 2024.

Finalmente, considerando-se os resultados de ambos os dimensionamentos e verificações econômicas realizadas em conformidade com NBR 6122, (2022) (itens 5.1.2 e 5.2.1 de este documento), e em conformidade com as tabelas de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) foi constatado que os projetos de fundação em sapatas com reforço de colunas de solo-cimento e projeto de fundações em estacas escavadas mecanicamente, para o bloco 01 Campus Integração da Unila, cumprem as verificações econômicas mínimas necessárias para ser avaliado em um estudo preliminar para um empreendimento de pequeno porte pois os custos associados para sua execução são relativamente baixo ou muito baixo quando comparado com um projeto de estacas escavadas mecanicamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho se abordou-se a viabilidade técnica e econômica de um projeto de sapatas sobre solo mole reforçado de colunas de solo-cimento como alternativa ao sistema de fundações profundas em estaca escavadas mecanicamente implementado na construção da primeira etapa do Edifício Multiuso da Unila - Bloco de Aulas localizado no Campus Integração da Unila.

Foram elaborados dois projetos de fundações a partir dos dados da superestrutura e perfil geológico do local. Verificou-se que ambos os sistemas de fundações cumprem as verificações técnicas necessárias e da segurança da infraestrutura descritas nas NBR 6118 e NBR 6122. Foram elaborados também um orçamento analítico para projeto de fundação a partir dos quantitativos.

O projeto de estacas escavadas mecanicamente foi fiel ao projeto executado e permitiu a análise comparativa. O projeto de sapatas sobre solo mole reforçado de colunas de solo-cimento corresponde a 35% do orçamento para estacas escavadas mecanicamente. Conclui-se que a execução um projeto de sapatas sobre um solo reforçado com colunas de solo-cimento para o bloco 01 da Unila, considera-se uma alternativa econômica viável.

Novos estudos envolvendo estudo de sapatas assentadas sobre solo mole reforçadas com colunas de solo-cimento são necessários para validar estes resultados.

Foi elaborada uma metodologia específica para a execução do reforço de solo-cimento, que permita identificar e avaliar todos os processos e atividades envolvidas na execução em conformidade com as normativas vigentes.

Sugere-se novos estudos avaliando a durabilidade e desempenho do uso colunas de solo cimento ao longo do tempo e intempéries. Futuras linhas de pesquisa: sugere-se novos estudos na relação solo-cimento com novas porcentagens baseada a no coeficiente η/C_{iv} como ferramenta para otimização dos custos de uma fundação. Para trabalhos futuros, sugere-se uma avaliação da relação custo x benefício das soluções propostas para um novo teor de mistura solo cimento, preferencialmente maior a 9%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática, Rio de Janeiro, 1991.

ABNT. NBR 12253: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland: **Aplicações Solo-cimento**. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: <<https://referenciabibliografica.net/a/pt-br/ref/abnt>> Acesso em: 22 maio 2024.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de fundações**. Editora Blucher, 2019.

ANAGUA COILA, Rolando. **Evaluación del comportamiento carga-asentamiento en escala completa de zapatas sobre limo arcillo blando y limo arcilloso reforzado por columnas de suelo-cemento compactado**. 76p. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil de Infraestrutura - Universidade federal da Integração Latino-americana, Foz do Iguaçu 2019.

BERBERIAN, Dickran. **Capacidade de carga de estacas econômicas de solo-cimento plástico**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, 14 jan. 2015. DOI 10.20906/CPS/CB-04-0081. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309223518_CAPACIDADE_DE_CARGA_DE_ESTACAS_ECONOMICAS_DE_SOLO-CIMENTO_PLASTICO/references> Acesso em: 22 maio 2024.

BERBERIAN, Dickran. Cap. 3: **Metodologias para execução de fundações em solo-cimento plástico auto adensável**. p9, 2016. Disponível em: <https://construcaocivil.info/?wpfb_dl=81> Acesso em: 20 maio 2024.

BRANCO, Hiago. **6 tipos de orçamento de obra que você precisa conhecer - Blog da OrçaFascio**. Disponível em: <<https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/tipos-de-orcamento-de-obra>>. Acesso em: 16 nov. 2024.

BRISTOL, Ltda. **Perfuratriz Hidráulica HT-10**. bristol, 2023. Disponível em: <<https://www.bristol.ind.br/produtos/perfuratrizes/perfuratriz-hidraulica-ht-10/>>. Acesso em: 7 out. 2024

CAIXA, Econômica Federal. **Referências de preços e custos - SINAPI**. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 22 set. 2022.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. Oficina de textos, 2011.

CONDE MEJIA, Gladys Reina. **Evaluación del mejoramiento de suelo residual blando con columnas de suelo-cemento-RCD para viabilizar el uso de cimentaciones superficiales.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil de Infraestrutura - Universidade Federal da Integração Latino-americana, Foz do Iguaçu 2022.

DÉCOURT, Luciano; QUARESMA, Artur R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações.** 1978. p. 45-53.

DSOARES, E. C. **Relatórios Técnico De Sondagem De Reconhecimento À Percussão.** , 2015.

FALCONI, Frederico et al. **Fundações: teoria e prática.** São Paulo: Editora Pini, 2019.

FOPPA, Diego **Novo método para cálculo da capacidade de carga de fundações superficiais assentes sobre camada de reforço em solo-cimento.** p229. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2016.

HEINECK, K. et al. Key parameters dictating strength of lime/cement-treated soils. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering**, DOI:10.1680/geng.2009.162.2.111 v. 162, p. 111–118, 4 Jan. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245407983_Key_parameters_dictating_strength_of_limecement-treated_soils> Acesso em: 04 jan. 2023.

IBEC. Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos **Estudo de viabilidade técnica da obra.** Rio de Janeiro 2021. Disponível em: <<https://ibecensino.org.br/viabilidade-tecnica/>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

IBEC, Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos. **O que é BDI em obras: Orçamento para obras,** Rio de Janeiro 2020. Disponível em: <<http://orcamentoparaobras.com.br/blog/o-que-e-bdi-em-obras-e-como-calcular/>>. Acesso em: 22 set. 2022

OLIVEIRA, T. et al. **Estacas de Reforço em Solo-Cimento como Forma de Viabilizar o Uso de Sapatas em Solo Residual Mole.** In: Anais do XX COBRAMSEG, 2018, Vol. III, GJ35768. Salvador. Anais eletrônicos. Salvador, 2018. Disponível em: <<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/6808>> Acesso: out 2023.

PORTAL DE DOCUMENTOS, Unila. **Construção do Bloco de Aulas da UNILA | Portal de editais da UNILA.** Disponível em: <<https://documentos.unila.edu.br/licitacao/1/2019-0>>. Acesso em: 18 maio. 2023.

PRATES, Natan. **Orçamento: 61224 - BRISTOL INDUSTRIA DE MAQ. COM. IMP. E EXP. LTDA.** , 2 out. 2023.

SILVA, Jucimara Cardoso da. **Dosagem de solo-cimento para reforço de base de fundações superficiais.** 2019. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina. Paraíba, 2019. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23580>> Acesso: Jul 2024.

SINAPI – Índices da Construção Civil. **Caixa Econômica Federal** Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_655> Acesso em 25 maio 2023.

SOUSA, Daniel Lucas De.; SOUZA, Otávio Rafael De. **Estudo comparativo entre fundações do tipo sapata e bloco com estacas pré-moldadas estudo de caso em Caratinga**. p.105, 2016. o da. **Dosagem de solo-cimento para reforço de base de fundações superficiais**. 2016. p.79. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil, Instituto Tecnológico de Caratinga Disponível em: < <https://dspace.doctum.edu.br/xmlui/handle/123456789/615>> Acesso: maio 2024.

SOUZA, Bruna Carolina de. **Métodos de capacidade de carga de fundações profundas: um estudo de caso das fundações de dois viadutos localizados na rodovia BR-376/PR**. 2020. p.89. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso De Engenharia Civil De Infraestrutura, Universidade Federal De Santa Catarina. 2020. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/218785>> Acesso: maio 2024.

SOUZA, Joana Siqueira de; FOPPA, Diego. **Fatores relevantes no desenvolvimento da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados**. Salão de Iniciação Científica (15.: 2003: Porto Alegre, RS) Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/40010>> Acesso em: maio 2023.

TEIXEIRA, Alberto Henriques; GODOY, NS de. Análise, projeto e execução de fundações rasas. **Fundações: Teoria E Prática**. São Paulo: Pini, Cap, v. 7, p. 227-264, 1996.

PORTAL UNILA. **O Projeto Bloco Multiuso da Unila**. Disponível em: <<https://portal.unila.edu.br/secic/obras/edif-multiuso-aulas-01>>. Acesso em: 23 maio. 2023.

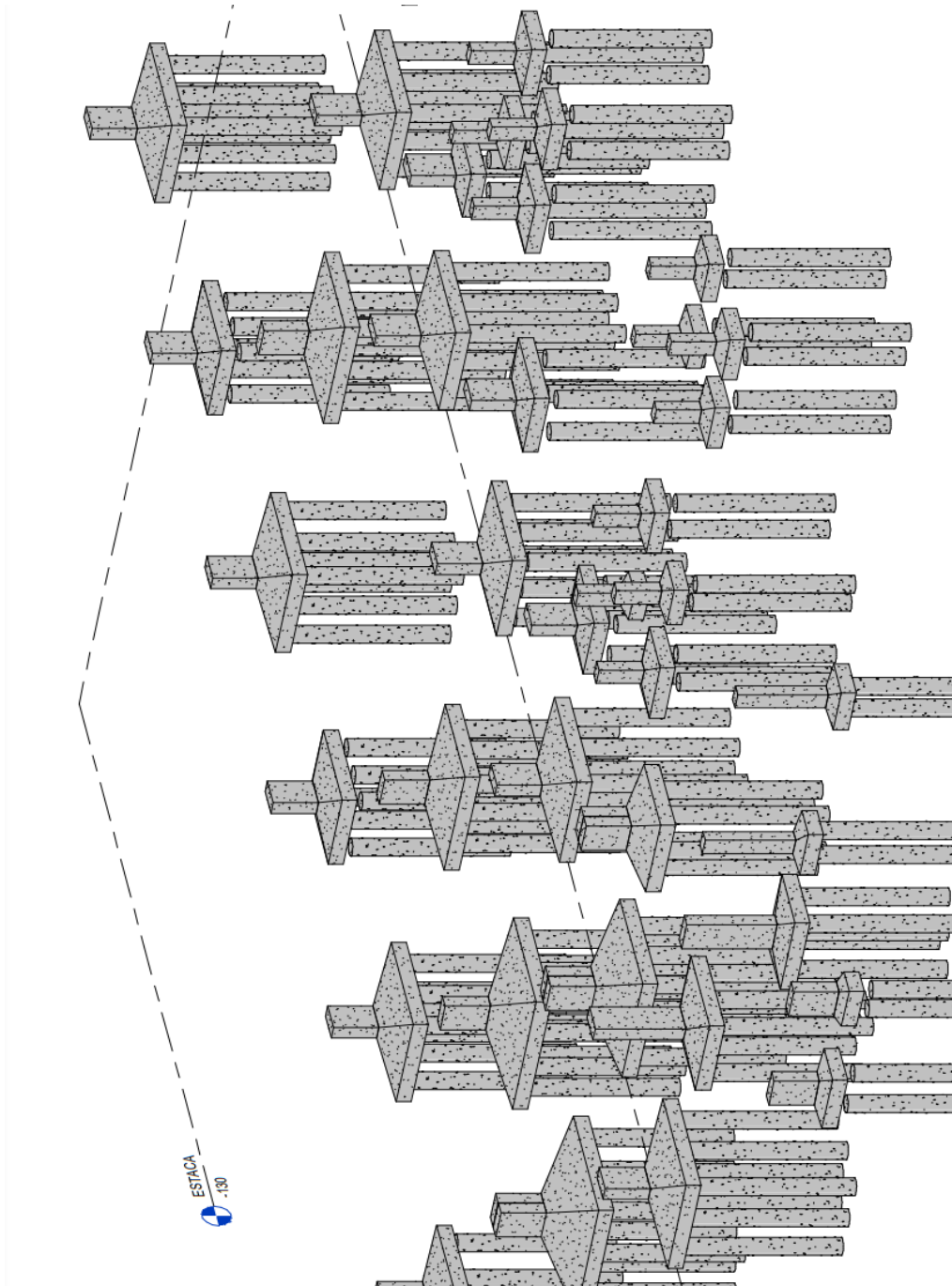
VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: Critérios de Projetos - Investigação do Subsolo - Fundações Superficiais**. 2ed. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. v. 1

ZYGEL, N. **Métodos de Análise da Viabilidade de Projetos**. Fundação Getúlio Vargas - FGV. Rio de Janeiro 2023. Disponível em: < <https://educacao-executiva.fgv.br/cursos/online/curta-media-duracao-online/metodos-de-analise-de-viabilidade-de-projetos>> Acesso em: agosto 2023.

7 APÊNDICES

7.1 Apêndice A: vista lateral Projeto de Sapatas com Reforço

Figura 28: O autor 2024.



Fonte: O autor, 2024.

7.2 Apêndice B: Dimensionamento do Reforço

Figura 29: O autor 2024.

Dimensionamento Reforço: Colunas de mistura de Solo-Cimento														
Dimensões Finais (cm)		Área de reforço Solo-cimento cm ²	Área Unitária Coluna de reforço (cm ²)	Nº de Colunas de Reforço	Área Total Reforçada	Fileiras	Colunas x fileira	Esp INTERNO "A" cm	Esp EXTERNO "A" cm	Profundidade do Reforço [cm]	Esp INTERNO "B" cm	Esp EXTERNO "B" cm	Verif	Tipo de Sapata
A	B	20%	25	Nº	cm ²	►	↕	cm	cm	200	cm	cm	-	-
70	60	840	491	2	982	1	1	45	23	200	35	18	Ok	Isolada
95	85	1615	491	3	21	2	1	23	11	200	60	30	Ok	Isolada
80	75	1200	491	2	21	1	1	55	28	200	50	25	Ok	Isolada
80	75	1200	491	2	982	1	1	55	28	200	50	25	Ok	Isolada
70	60	840	491	2	982	1	1	45	23	200	35	18	Ok	Isolada
75	65	975	491	2	982	1	1	50	25	200	40	20	Ok	Isolada
40	30	240	491	1	491	1	1	15	8	200	5	3	Ok	Isolada
95	90	1710	491	3	1473	2	1	23	11	200	65	33	Ok	Isolada
75	65	975	491	2	982	1	1	50	25	200	40	20	Ok	Isolada
85	80	1360	491	3	1473	2	1	18	9	200	55	28	Ok	Isolada
65	60	780	491	2	982	1	1	40	20	200	35	18	Ok	Isolada
75	65	975	491	2	982	1	1	50	25	200	40	20	Ok	Isolada
75	50	750	491	2	982	1	1	50	25	200	25	13	Ok	Isolada
65	40	520	491	2	982	1	1	40	20	200	15	8	Ok	Isolada
125	100	2500	491	5	2454	3	2	17	8	200	25	13	Ok	Isolada
90	65	1170	491	2	982	1	1	65	33	200	40	20	Ok	Isolada
40	40	320	491	2	982	1	1	15	8	200	15	8	Ok	Isolada
95	90	1710	491	3	1473	2	1	23	11	200	65	33	Ok	Isolada
85	80	1360	491	3	1473	2	1	18	9	200	55	28	Ok	Isolada
85	75	1275	491	3	1473	2	1	18	9	200	50	25	Ok	Isolada

Fonte: O autor, 2024.

7.3 Apêndice C: Verificação de Segurança

Figura 30: Dimensionamento da armadura.

Dimensionamento da Armadura - Método das Bielas														
Dimensões Finais (cm)		Rs	d _a	d _A > d _{A, Min}	d _B	d _B > d _{B, Min}	A _{s,A}	A _{s,B}	Qtd Barras Direção A	Qtd Barras Direção B	Esp S _A	Esp S _B	Dimensões Finais (cm)	
A	B												A	B
70	60	13078	26	Ok	25	Ok	2,5	2,2	3	3	28	30	70	60
95	85	40688	20	Ok	25	Ok	3,4	3,1	4	4	26	27	95	85
80	75	24525	20	Ok	25	Ok	2,9	2,7	4	3	27	27	80	75
80	75	24306	20	Ok	25	Ok	2,9	2,7	4	3	27	27	80	75
70	60	13437	20	Ok	25	Ok	2,5	2,2	3	3	28	30	70	60
75	65	17318	20	Ok	25	Ok	2,7	2,3	3	3	27	29	75	65
40	30	1254	20	Ok	25	Ok	1,4	1,1	2	1	38	59	40	30
95	90	42918	20	Ok	25	Ok	3,4	3,2	4	4	26	26	95	90
75	65	17717	20	Ok	25	Ok	2,7	2,3	3	3	27	29	75	65
85	80	29382	20	Ok	25	Ok	3,1	2,9	4	4	27	27	85	80
65	60	11466	20	Ok	25	Ok	2,3	2,2	3	3	29	30	65	60
75	65	17518	20	Ok	25	Ok	2,7	2,3	3	3	27	29	75	65
75	50	7525	20	Ok	25	Ok	2,7	1,8	3	2	27	33	75	50
65	40	3265	20	Ok	25	Ok	2,3	1,4	3	2	29	38	65	40
125	100	75485	20	Ok	25	Ok	4,5	3,6	6	5	25	26	125	100
90	65	17736	20	Ok	25	Ok	3,2	2,3	4	3	26	29	90	65
40	40	1194	20	Ok	25	Ok	1,4	1,4	2	2	38	38	40	40
95	90	42082	20	Ok	25	Ok	3,4	3,2	4	4	26	26	95	90
85	80	29382	20	Ok	25	Ok	3,1	2,9	4	4	27	27	85	80
85	75	27710	20	Ok	25	Ok	3,1	2,7	4	3	27	27	85	75

Verificação de Segurança Ruptura do Concreto						
Bitola mm	LbDisp Lb.pilar =20cm Min	d (Altura útil)	T _{sd}	T _{Rd2}	T _{sd} < T _{Rd2}	
10	cm	cm	Mpa	Mpa	-	
10	24	24,5	0,05	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,09	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,07	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,07	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,05	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,05	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,01	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,10	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,05	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,08	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,04	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,05	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,03	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,02	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,10	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,04	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,01	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,09	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,08	3,5	Ok	
10	24	24,5	0,07	3,5	Ok	

Fonte: O autor, 2024.

7.4 Apêndice D: Detalhamento das armaduras Projeto de Sapatas

Tabela 23: Detalhamento das armaduras.

Detalhamento das armaduras		
Pilar	Nomenclatura das armaduras em "A"	Nomenclatura das armaduras em "B"
N°	A	B
P1	3 N7 Ø10.0 c/28 C = 90	3 N5 Ø10.0 c/30 C = 80
P2	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105
P3	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95
P4	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95
P5	3 N7 Ø10.0 c/28 C = 90	3 N5 Ø10.0 c/30 C = 80
P6	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85
P7	2 N1 Ø10.0 c/38 C = 60	1 N1 Ø10.0 c/59 C = 50
P8	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115	4 N11 Ø10.0 c/26 C = 110
P9	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85
P10	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100
P11	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85	3 N5 Ø10.0 c/30 C = 80
P12	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85
P13	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95	2 N3 Ø10.0 c/33 C = 70
P14	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85	2 N1 Ø10.0 c/38 C = 60
P15	6 N18 Ø10.0 c/25 C = 145	5 N13 Ø10.0 c/26 C = 120
P16	4 N11 Ø10.0 c/26 C = 110	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85
P17	2 N1 Ø10.0 c/38 C = 60	2 N1 Ø10.0 c/38 C = 60
P18	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115	4 N11 Ø10.0 c/26 C = 110
P19	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100
P20	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95
P21	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95	3 N7 Ø10.0 c/28 C = 90
P22	3 N6 Ø10.0 c/29 C = 85	3 N5 Ø10.0 c/30 C = 80
P23	5 N13 Ø10.0 c/26 C = 120	4 N11 Ø10.0 c/26 C = 110
P24	3 N8 Ø10.0 c/27 C = 95	3 N7 Ø10.0 c/28 C = 90

P25	4 N11 Ø10.0 c/26 C = 110	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105
P26	2 N3 Ø10.0 c/33 C = 70	2 N2 Ø10.0 c/35 C = 65
P27	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115	4 N10 Ø10.0 c/27 C = 105
P28	6 N19 Ø10.0 c/25 C = 150	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125
P29	8 N21 Ø10.0 c/20 C = 160	6 N16 Ø10.0 c/20 C = 135
P44	8 N21 Ø10.0 c/20 C = 160	6 N16 Ø10.0 c/20 C = 135
P45	6 N19 Ø10.0 c/25 C = 150	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125
P46	6 N19 Ø10.0 c/25 C = 150	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125
P47	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100
P48	6 N19 Ø10.0 c/25 C = 150	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125
P49	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100
P50	6 N18 Ø10.0 c/25 C = 145	5 N13 Ø10.0 c/26 C = 120
P51	6 N17 Ø10.0 c/25 C = 140	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115
P54	8 N22 Ø10.0 c/19 C = 165	7 N17 Ø10.0 c/20 C = 140
P55	8 N22 Ø10.0 c/19 C = 165	7 N17 Ø10.0 c/20 C = 140
P58	6 N20 Ø10.0 c/24 C = 155	5 N15 Ø10.0 c/25 C = 130
P59	6 N20 Ø10.0 c/24 C = 155	5 N15 Ø10.0 c/25 C = 130
P60	5 N14 Ø10.0 c/25 C = 125	4 N9 Ø10.0 c/27 C = 100
P61	6 N18 Ø10.0 c/25 C = 145	5 N13 Ø10.0 c/26 C = 120
P62	6 N17 Ø10.0 c/25 C = 140	4 N12 Ø10.0 c/26 C = 115
P63	8 N21 Ø10.0 c/20 C = 160	6 N16 Ø10.0 c/20 C = 135
P64	8 N23 Ø10.0 c/19 C = 170	7 N18 Ø10.0 c/20 C = 145
P65	13 N29 Ø10.0 c/14 C = 200	12 N24 Ø10.0 c/14 C = 175
P66	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P67	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P68	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P69	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P70	11 N26 Ø10.0 c/16 C = 185	9 N21 Ø10.0 c/16 C = 160
P71	13 N28 Ø10.0 c/14 C = 195	11 N23 Ø10.0 c/14 C = 170
P74	13 N29 Ø10.0 c/14 C = 200	12 N24 Ø10.0 c/14 C = 175
P75	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P76	13 N29 Ø10.0 c/14 C = 200	12 N24 Ø10.0 c/14 C = 175
P79	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165

P80	11 N26 Ø10.0 c/16 C = 185	9 N21 Ø10.0 c/16 C = 160
P81	13 N28 Ø10.0 c/14 C = 195	11 N23 Ø10.0 c/14 C = 170
P82	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P83	13 N28 Ø10.0 c/14 C = 195	11 N23 Ø10.0 c/14 C = 170
P84	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P85	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P86	8 N23 Ø10.0 c/19 C = 170	7 N18 Ø10.0 c/20 C = 145
P87	10 N24 Ø10.0 c/16 C = 175	8 N19 Ø10.0 c/16 C = 150
P88	16 N31 Ø10.0 c/12 C = 210	14 N26 Ø10.0 c/12 C = 185
P89	13 N29 Ø10.0 c/14 C = 200	12 N24 Ø10.0 c/14 C = 175
P90	13 N28 Ø10.0 c/14 C = 195	11 N23 Ø10.0 c/14 C = 170
P91	19 N33 Ø10.0 c/11 C = 220	16 N28 Ø10.0 c/11 C = 195
P94	20 N35 Ø10.0 c/11 C = 230	17 N30 Ø10.0 c/11 C = 205
P95	19 N34 Ø10.0 c/11 C = 225	17 N29 Ø10.0 c/11 C = 200
P98	16 N32 Ø10.0 c/12 C = 215	14 N27 Ø10.0 c/12 C = 190
P99	16 N30 Ø10.0 c/12 C = 205	13 N25 Ø10.0 c/12 C = 180
P100	13 N29 Ø10.0 c/14 C = 200	12 N24 Ø10.0 c/14 C = 175
P101	16 N30 Ø10.0 c/12 C = 205	13 N25 Ø10.0 c/12 C = 180
P102	10 N24 Ø10.0 c/16 C = 175	8 N19 Ø10.0 c/16 C = 150
P103	6 N20 Ø10.0 c/24 C = 155	5 N15 Ø10.0 c/25 C = 130
P104	10 N25 Ø10.0 c/16 C = 180	9 N20 Ø10.0 c/16 C = 155
P105	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P106	8 N22 Ø10.0 c/19 C = 165	7 N17 Ø10.0 c/20 C = 140
P107	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P108	8 N22 Ø10.0 c/19 C = 165	7 N17 Ø10.0 c/20 C = 140
P109	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P110	10 N25 Ø10.0 c/16 C = 180	9 N20 Ø10.0 c/16 C = 155
P111	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P112	8 N22 Ø10.0 c/19 C = 165	7 N17 Ø10.0 c/20 C = 140
P113	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P114	8 N23 Ø10.0 c/19 C = 170	7 N18 Ø10.0 c/20 C = 145
P115	13 N27 Ø10.0 c/14 C = 190	11 N22 Ø10.0 c/14 C = 165
P116	8 N23 Ø10.0 c/19 C = 170	7 N18 Ø10.0 c/20 C = 145

P117	6 N20 Ø10.0 c/24 C = 155	5 N15 Ø10.0 c/25 C = 130
P122	10 N24 Ø10.0 c/16 C = 175	8 N19 Ø10.0 c/16 C = 150
P123	10 N24 Ø10.0 c/16 C = 175	8 N19 Ø10.0 c/16 C = 150
P124	10 N24 Ø10.0 c/16 C = 175	8 N19 Ø10.0 c/16 C = 150
P125	8 N23 Ø10.0 c/19 C = 170	7 N18 Ø10.0 c/20 C = 145
P52+P53	9 N18 Ø10.0 c/14 C = 145	9 N18 Ø10.0 c/14 C = 145
P56+P57	10 N19 Ø10.0 c/14 C = 150	10 N19 Ø10.0 c/14 C = 150
P52+P54	18 N28 Ø10.0 c/10 C = 195	18 N28 Ø10.0 c/10 C = 195
P56+P58	18 N28 Ø10.0 c/10 C = 195	18 N28 Ø10.0 c/10 C = 195
P52+P55	22 N32 Ø10.0 c/9 C = 215	22 N32 Ø10.0 c/9 C = 215
P56+P59	21 N31 Ø10.0 c/9 C = 210	21 N31 Ø10.0 c/9 C = 210
P52+P56	15 N25 Ø10.0 c/11 C = 180	15 N25 Ø10.0 c/11 C = 180
P56+P60	15 N25 Ø10.0 c/11 C = 180	15 N25 Ø10.0 c/11 C = 180

Fonte: O autor, 2024.

7.5 Apêndice E: Metodologia para Execução dos Furos

7.5.1 Preparação do Local

7.5.1.1 Levantamento de dados

- Estudo do Solo: Realizar ensaios de campo e laboratório tais como ensaio SPT e ensaios de caracterização do solo conforme as NBR correspondentes, com o objetivo de determinar as características do solo onde os furos serão executados.
- Análise de Projeto: Compreende a interpretação do projeto estrutural e detalhes dos furos e sapatas, entre eles: localização, espaçamento, suas dimensões e a dosagem de solo-cimento.

7.5.1.2 Planejamento e Logística

- Planejamento de Recursos: Foram definidos os seguintes equipamentos, mão de obra e materiais necessários:
- Perfuratriz hidráulica acoplada retroscavadeira
- Broca reta tipo navalha simples
- Definir equipamentos, mão de obra e materiais necessários.
- Cronograma de Execução: Elaborar um cronograma detalhado para a execução dos furos, considerando a duração das atividades e a sequência mais eficiente.

7.5.1.3 Limpeza e Desmatamento

- Desmatamento e Limpeza do Terreno: Remover vegetação, entulho e outros obstáculos na área de execução.
- Delimitação da Área: Marcar a posição dos 747 furos, utilizando estacas e cordas para garantir a precisão.

7.5.1.4 Segurança

- Avaliação de Riscos: Analisar os riscos do local de trabalho e implementar medidas de segurança para os trabalhadores.
- Equipamentos de Proteção Individual (EPIs): Garantir que todos os trabalhadores utilizem EPIs.

7.5.2 Escavação

7.5.2.1 Locação dos Furos

- Marcação dos Eixos: Usar instrumentos de medição (nível, fita métrica, teodolito) para posicionar os pontos dos furos de acordo com o projeto.

7.5.2.2 Execução dos Furos

- Furação: Utilizar um equipamento adequado para a escavação, como uma perfuratriz ou trado mecânico, para realizar os furos com diâmetro de 25 cm e profundidade de 200 cm.
- Se necessário, perfurações podem ser realizadas em duas etapas: a primeira para um diâmetro maior e a segunda para o diâmetro final.
- Retirada de Solo: Garantir a correta remoção do solo escavado, mantendo o local limpo e organizado.

7.5.2.3 Monitoramento da Escavação

- Verificação de Profundidade e Diâmetro: Durante a escavação, verificar regularmente a profundidade e diâmetro dos furos para garantir que estão conforme as especificações.

7.5.2.4 Estabilização dos Furos

- Verificação de Estabilidade: Garantir que as paredes dos furos estejam estáveis. Se necessário, utilizar revestimentos (como tubos de PVC) para evitar deslizamentos antes da execução das colunas de solo-cimento.

7.5.3 Proposta para execução das Colunas de Solo-Cimento

7.5.3.1 Preparação para Colocação do Solo-Cimento

- Mistura do Solo-Cimento: Preparar a mistura de solo e cimento na proporção adequada, conforme projeto. Ensaio de mistura podem ser realizados em laboratório para garantir a resistência desejada.

7.5.3.2 Colocação do Solo-Cimento

- Injeção do Solo-Cimento: Utilizar um equipamento de injeção para colocar a mistura de solo-cimento nos furos, garantindo que a coluna fique totalmente preenchida.
- Compactação: Compactar a mistura na parte superior para garantir que não haja vazios.

7.5.3.3 Cura do Solo-Cimento

- Cura Adequada: Deixar as colunas de solo-cimento curando pelo tempo necessário, conforme especificações do material utilizado. Manter a umidade adequada durante o processo de cura para garantir a resistência desejada.

7.5.3.4 Verificação Final

- Revisão de Qualidade: Após a cura, inspecionar as colunas de solo-cimento para garantir que não há falhas e que estejam conforme as especificações do projeto.

7.5.3.5 Limpeza do Local

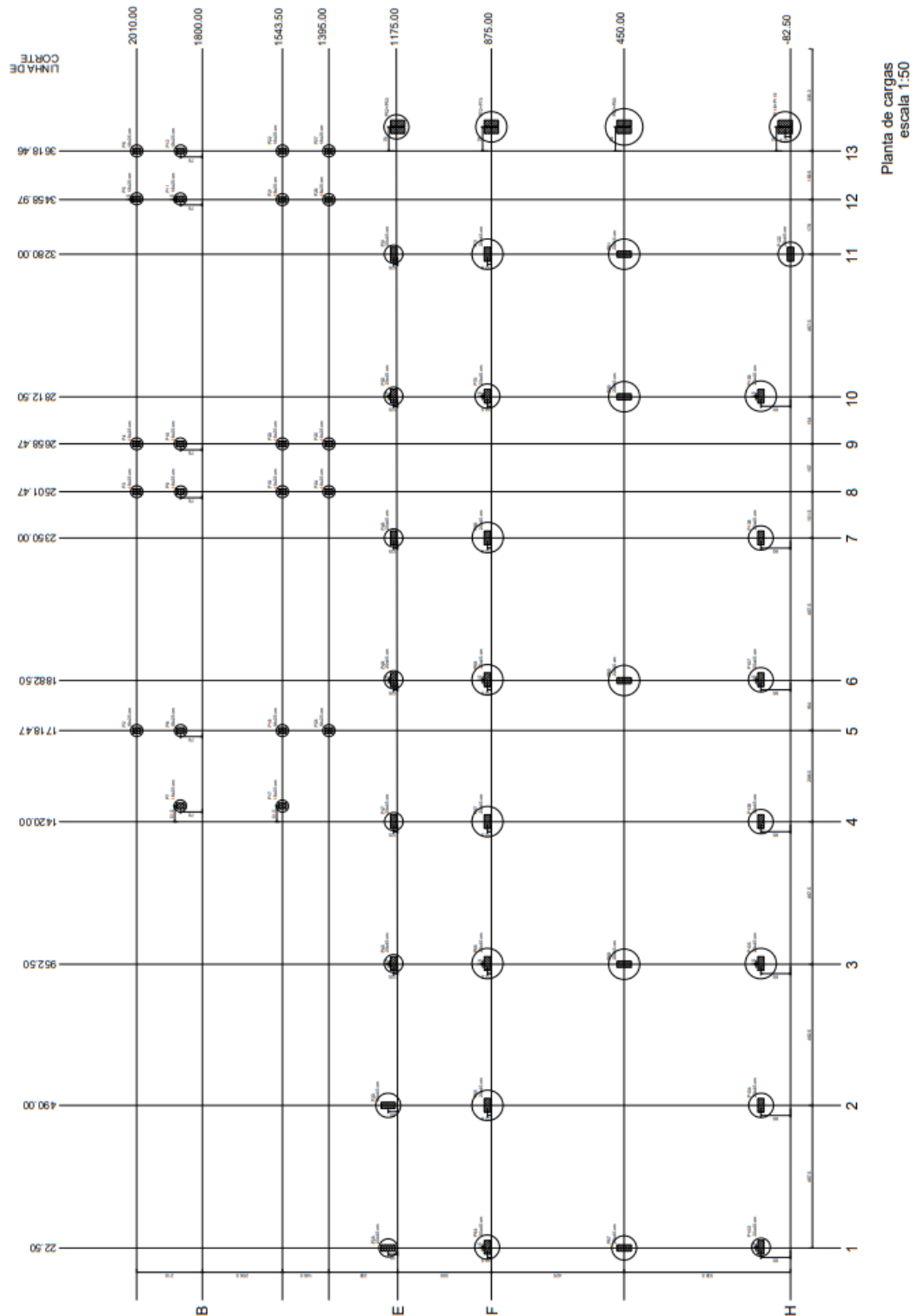
- Remoção de Resíduos: Após a finalização da obra, executar a limpeza do local e a disposição adequada de resíduos.

Considerações Finais

- Documentação: Manter registros detalhados de todos os processos, incluindo ensaios, medições e datas de execução, para futuras referências e auditorias.
- Inspeções Regular: Durante todo o processo, realizar inspeções regulares para garantir que tudo esteja em conformidade com as normas e especificações do projeto.

7.6 Apêndice F: Planta de localização das estacas escavadas mecanicamente

Figura 31: Localização estacas escavadas.



Fonte: O autor, 2024.

8 ANEXOS

8.1 Anexo A: Planta de carregamentos dos pilares

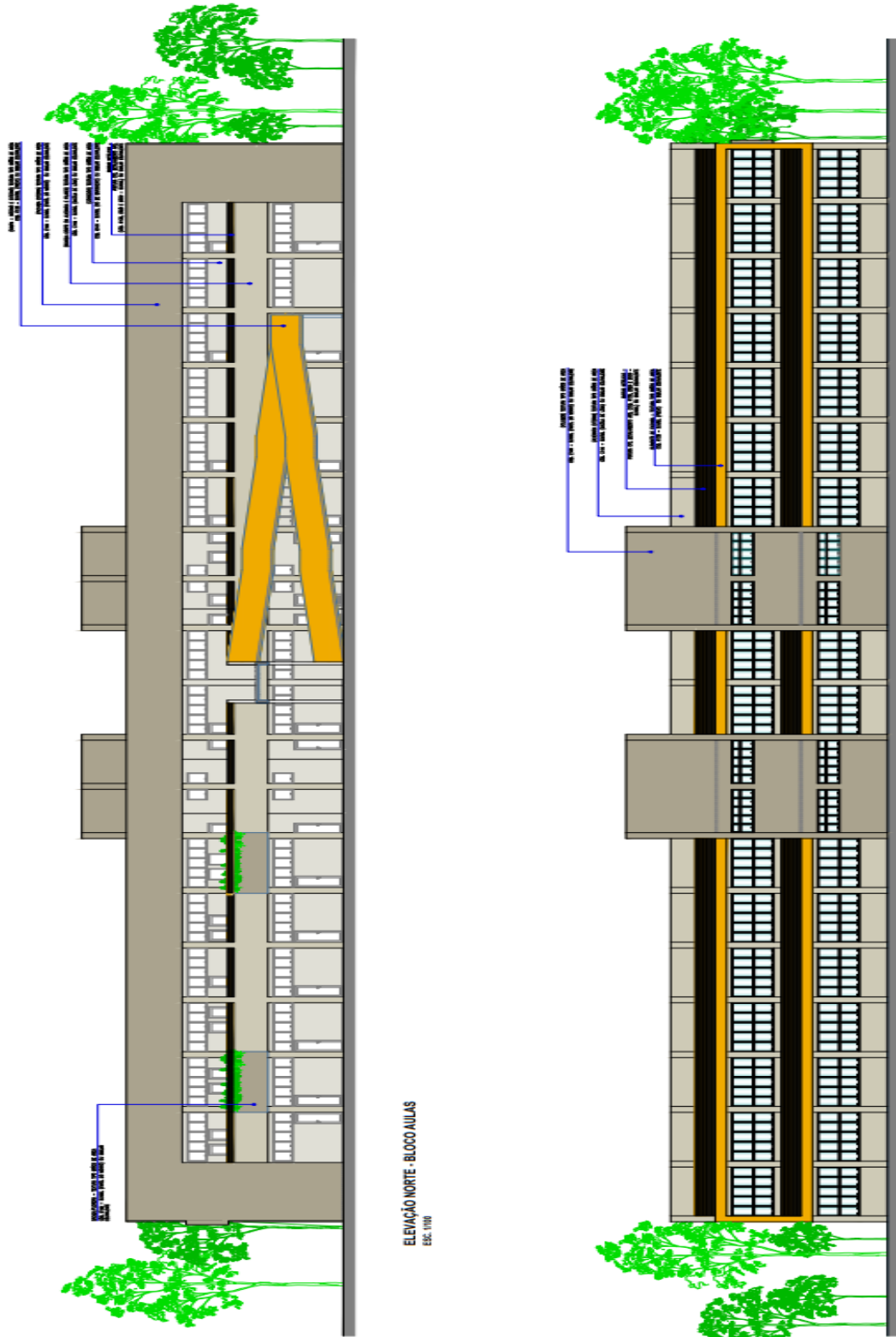
Figura 32: Localização Pilares.



Fonte: O autor, 2024.

8.2 Anexo B: Elevações - Bloco 01 Campus Integração, Unila

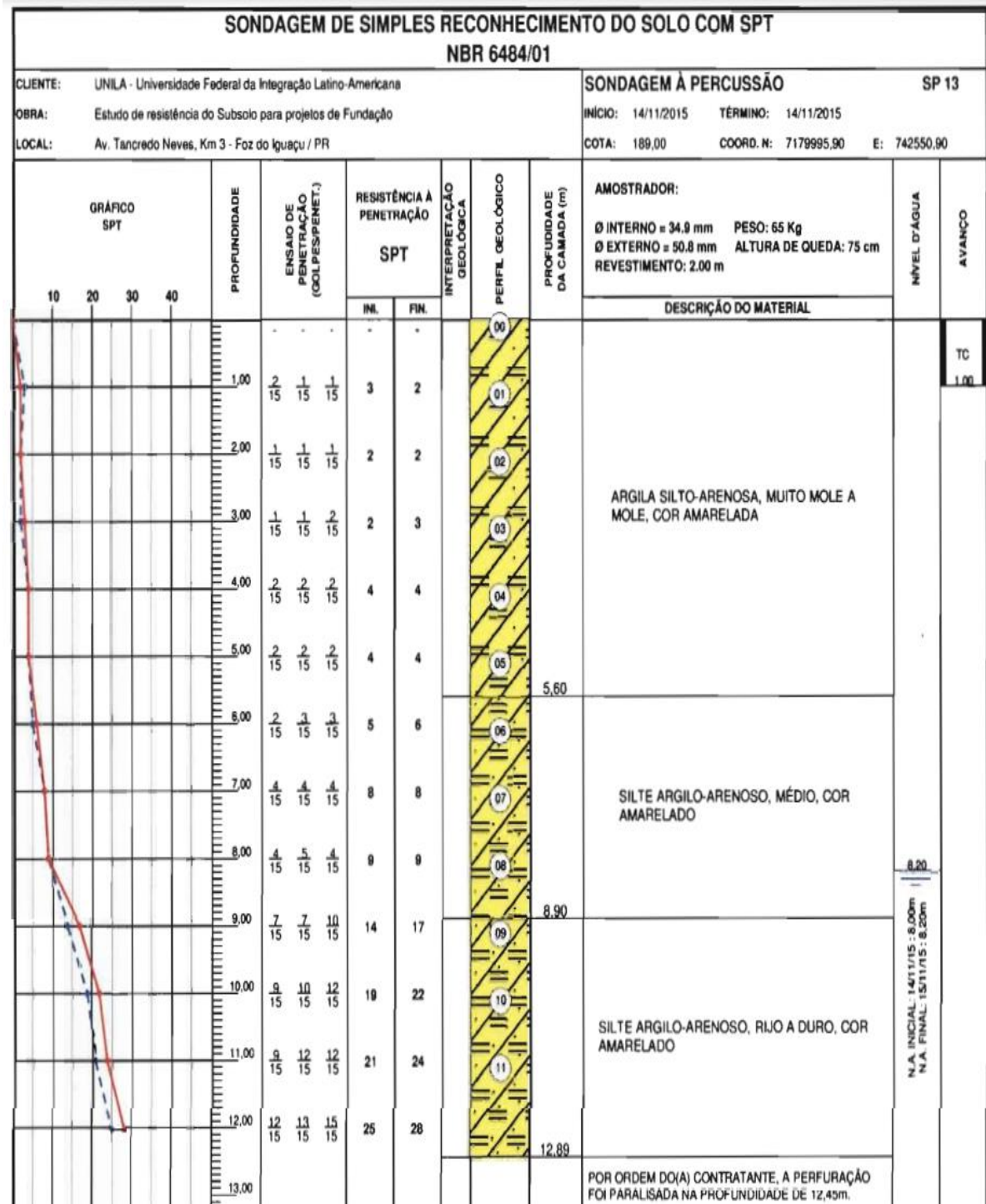
Figura 33: Bloco 01 Campus Integração.



Fonte: Secic (2019).

8.3 Anexo C: Perfil Estratigráfico do local de estudo

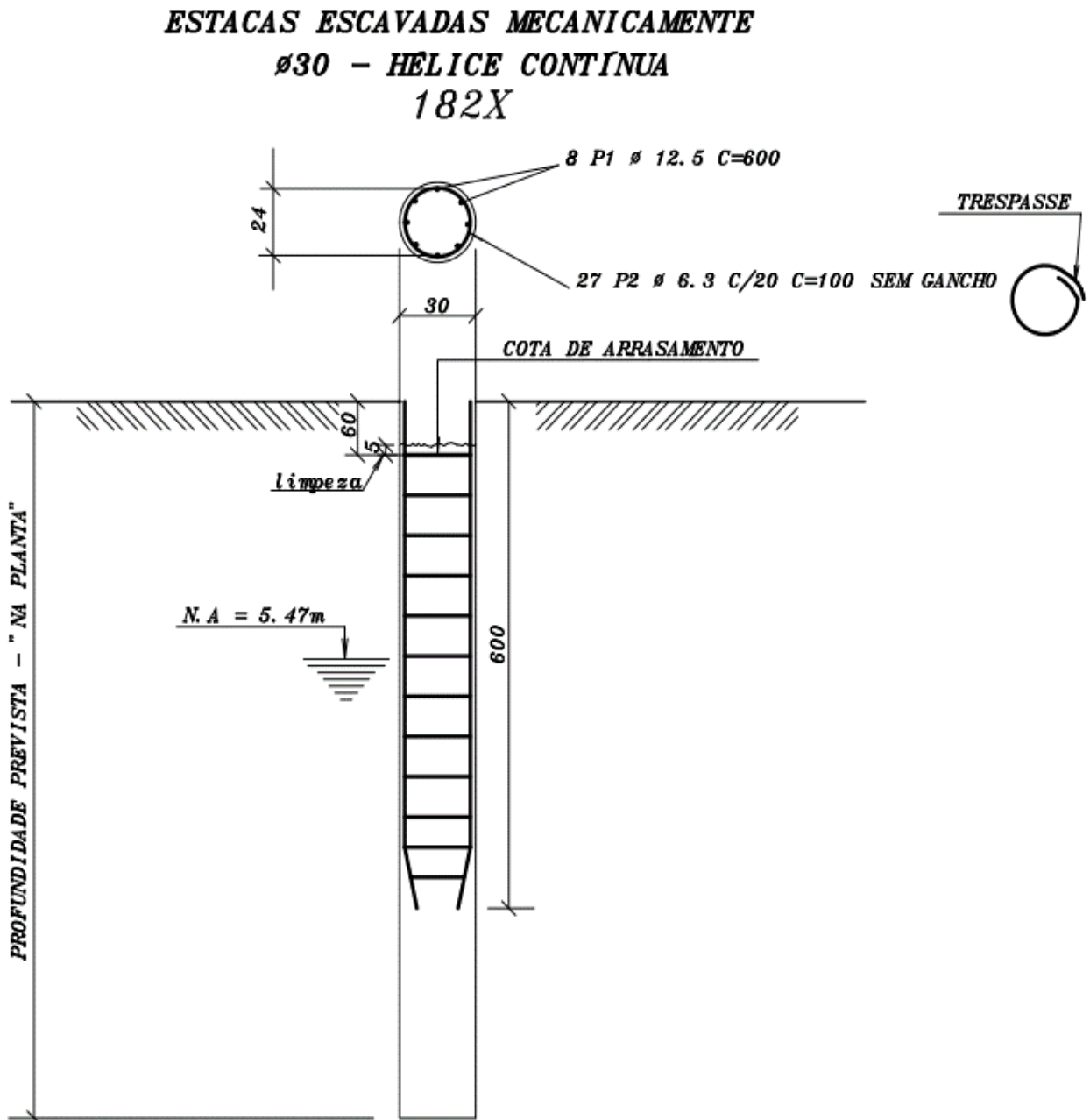
Figura 34 Sondagem SPT.



Fonte: Dsoares, (2015).

8.4 Anexo D: Detalhamento Estacas – Bloco 01 Campus Integração

Figura 35: Projeto Executado.



Fonte: Secic, (2019).

8.5 Anexo E: Plano de Edificações – Unila

Figura 36: Plano de Edificações.



Fonte: Secic, (2019).

8.6 Anexo F: Fatores de Carga e Fatores de Forma

Figura 37: Fatores de Capacidade de Carga

φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0,00	28	25,80	14,72	16,72
				29	27,86	16,44	19,34
5	6,49	1,57	0,45	30	30,14	18,40	22,40
				31	32,67	20,63	25,99
10	8,35	2,47	1,22	32	35,49	23,18	30,22
				33	38,64	26,09	35,19
15	10,98	3,94	2,65	34	42,16	29,44	41,06
16	11,63	4,34	3,06	35	46,12	33,30	48,03
17	12,34	4,77	3,53	36	50,59	37,75	56,31
18	13,10	5,26	4,07	37	55,63	42,92	66,19
19	13,93	5,80	4,68	38	61,35	48,93	78,03
20	14,83	6,40	5,39	39	67,87	55,96	92,25
21	15,82	7,07	6,20	40	75,31	64,20	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,90	130,22
23	18,05	8,66	8,20	42	93,71	85,38	155,55
24	19,32	9,60	9,44	43	105,11	99,02	186,54
25	20,72	10,66	10,88	44	118,37	115,31	224,64
26	22,25	11,85	12,54	45	133,88	134,88	271,76
27	23,94	13,20	14,47				

Fonte: Alonso (2019).

Figura 38: Fatores de forma

Forma da fundação	Fatores de forma		
	S_c	S_γ	S_q
Corrida	1,0	1,0	1,0
Quadrada	1,3	0,8	1,0
Circular	1,3	0,6	1,0
Retangular	1,1	0,9	1,0

Fonte: Alonso (2019).

8.7 Anexo G: Tabelas Fatores K, α , F₁ e F₂

Tabela 24: Fatores K e α .

Tipo de solo	K (kgf/cm²)	α (%)
Areia	10,00	1,4
Areia siltosa	8,00	2
Areia silto-argilosa	7,00	2,4
Areia argilosa	6,00	3
Areia argilo-siltosa	5,00	2,8
Silte	4,00	3
Silte arenoso	5,50	2,2
Silte areno-argiloso	4,50	2,8
Silte argiloso	2,30	3,4
Silte argilo-arenoso	2,50	3
Argila	2,00	6
Argila arenosa	3,50	2,4
Argila areno-siltosa	3,00	2,8
Argila siltosa	2,20	4
Argila silto-arenosa	3,30	3

Fonte: Cintra, et al. (2011).

Tabela 25: Fatores F₁ e F₂.

Tipo de estaca	F₁	F₂
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto D<60cm	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto D>60cm	2,50	1,4
Escavada D<60cm	3,00	6
Franki	2,50	5
Strauss	4,20	3,8

Fonte: Cintra, et al. (2011).

8.8 Anexo H: Tabelas Método Décourt-Quaresma

Tabela 26: valor tabelado de resistência do solo

Solo	C (kgf/cm ²)
Argilas	1,2
Siltes argilosos	2
Siltes arenosos	2,5
Areias	4

Fonte: Cintra, et al. (2011).

Tabela 27: Valores tabelados “ α ” e “ β ”.

Estaca	Cravada		Cravada		Cravada		Cravada		Cravada		Cravada	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Argilas	1,00	1,00	0,85	0,80	0,85	0,90	0,30	1,00	0,85	1,50	1,00	3,00
Siltes	1,00	1,00	0,60	0,65	0,60	0,75	0,30	1,00	0,60	1,50	1,00	3,00
Areias	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,60	0,30	1,00	0,50	1,50	1,00	3,00

Fonte: Cintra, et al. (2011).

8.9 Anexo I: Detalhamento de Pilares e Carregamentos.

Tabela 28: Planta de Pilares.

Pilar					
Nome	Seção (cm)	X (cm)	Y (cm)	Carga Máx. (tf)	Carga Mín. (tf)
P1	18x25	4421,48	2062,50	7,3	2,7
P2	18x25	1718,47	2010,00	14,6	0,2
P3	18x25	2501,47	2010,00	11,2	2,6
P4	18x25	2658,47	2010,00	11,1	0,4
P5	18x25	3461,47	2010,00	7,5	5,6
P6	18x25	3618,46	2010,00	8,7	3,6
P7	18x25	1471,47	1870,00	2,1	1,4
P8	18x25	1718,47	1870,00	15,4	5,9
P9	18x25	2501,47	1870,00	8,9	1,1
P10	18x25	2658,47	1870,00	12,3	1,6
P11	18x25	3461,47	1870,00	7,2	5,2
P12	18x25	3618,46	1870,00	8,8	3,9
P13	20x45	4417,50	1800,00	6,3	3,0
P14	20x45	4741,00	1800,00	4,1	-1,6
P15	20x45	4417,50	1610,00	23,7	14,3
P16	20x45	4741,00	1610,00	9,9	2,9
P17	18x25	1471,46	1543,50	2,0	1,3
P18	18x25	1718,47	1543,50	15,1	4,2
P19	18x25	2501,47	1543,50	12,3	1,9
P20	18x25	2658,47	1543,50	11,6	-0,2
P21	18x25	3458,97	1543,50	9,5	6,6
P22	18x25	3618,47	1543,50	7,1	1,9
P23	18x25	1718,47	1395,00	16,5	1,0
P24	18x25	2501,47	1395,00	9,7	0,3
P25	18x25	2658,47	1395,00	13,4	1,6
P26	18x25	3458,97	1395,00	4,1	2,9
P27	18x25	3618,47	1395,00	14,5	8,0
P28	20x45	22,50	1205,00	24,6	11,6
P29	20x45	490,00	1205,00	29,8	26,6
P44	20x45	8670,00	1205,00	30,5	27,2
P45	20x45	9137,50	1205,00	25,4	13,1
P46	20x45	955,00	1187,50	24,4	15,8
P47	20x45	1420,00	1187,50	15,2	12,8

P48	20x45	1885,00	1187,50	24,3	16,2
P49	20x45	2350,00	1187,50	15,0	12,5
P50	20x45	2815,00	1187,50	23,3	15,7
P51	20x45	3280,00	1187,50	21,9	14,0
P54	20x45	4115,00	1187,50	31,7	24,9
P55	20x45	5045,00	1187,50	32,3	24,3
P58	20x45	5880,00	1187,50	26,9	18,2
P59	20x45	6345,00	1187,50	28,5	19,5
P60	20x45	6810,00	1187,50	15,4	12,7
P61	20x45	7275,00	1187,50	23,8	15,8
P62	20x45	7740,00	1187,50	20,9	14,5
P63	20x45	8205,00	1187,50	29,2	19,6
P64	20x45	25,00	887,50	34,4	24,4
P65	20x45	490,00	887,50	51,3	42,7
P66	20x45	955,00	887,50	46,7	38,2
P67	20x45	1420,00	887,50	46,5	38,4
P68	20x45	1885,00	887,50	46,6	37,9
P69	20x45	2350,00	887,50	46,8	38,6
P70	20x45	2815,00	887,50	43,4	35,3
P71	20x45	3280,00	887,50	49,2	42,9
P74	20x45	4115,00	887,50	50,7	44,1
P75	20x45	4580,00	887,50	46,7	38,7
P76	20x45	5045,00	887,50	52,1	45,2
P79	20x45	5880,00	887,50	46,7	41,2
P80	20x45	6345,00	887,50	42,8	34,8
P81	20x45	6810,00	887,50	48,6	40,4
P82	20x45	7275,00	887,50	45,6	37,1
P83	20x45	7740,00	887,50	49,8	39,0
P84	20x45	8205,00	887,50	44,5	35,7
P85	20x45	8670,00	887,50	46,5	38,1
P86	20x45	9135,00	887,50	34,4	25,2
P87	20x45	22,50	450,00	37,9	32,6
P88	20x45	952,50	450,00	58,3	47,3
P89	20x45	1882,50	450,00	52,6	42,0
P90	20x45	2812,50	450,00	48,3	38,7
P91	20x45	3280,00	450,00	66,3	57,2
P94	20x45	4112,50	450,00	72,2	62,8
P95	20x45	5047,50	450,00	67,5	57,5
P98	20x45	5877,50	450,00	61,2	52,4
P99	20x45	6342,50	450,00	54,1	44,4
P100	20x45	7272,50	450,00	52,6	42,4

P101	20x45	8202,50	450,00	54,1	43,7
P102	20x45	9137,50	450,00	37,5	31,9
P103	20x45	25,00	12,50	28,4	21,2
P104	20x45	490,00	12,50	39,3	34,0
P105	20x45	955,00	12,50	46,9	36,8
P106	20x45	1420,00	12,50	33,2	28,1
P107	20x45	1885,00	12,50	45,1	35,2
P108	20x45	2350,00	12,50	32,5	27,5
P109	20x45	2815,00	12,50	45,8	36,7
P110	20x45	4580,00	12,50	41,5	35,4
P111	20x45	6345,00	12,50	46,4	37,6
P112	20x45	6810,00	12,50	32,0	27,0
P113	20x45	7275,00	12,50	45,2	35,7
P114	20x45	7739,97	12,50	33,6	28,6
P115	20x45	8205,00	12,50	45,7	36,0
P116	20x45	8669,98	12,50	35,9	30,6
P117	20x45	9135,00	12,50	27,8	20,5
P122	20x45	3280,00	-82,50	36,9	30,6
P123	20x45	4115,00	-82,50	38,7	33,1
P124	20x45	5045,00	-82,50	38,7	31,8
P125	20x45	5880,00	-82,50	36,0	29,6
P52+P53	20x45	3697,50	1175,00	28,3	8,0
P56+P57	20x45	5462,50	1175,00	30,3	6,9
P72+P73	20x45	3697,50	875,00	56,3	43,5
P77+P78	20x45	5462,50	875,00	57,1	43,6
P92+P93	20x45	3697,50	450,00	70,3	61,6
P96+P97	20x45	5462,50	450,00	67,5	58,5
P118+P119	20x45	3697,50	-65,00	48,6	37,9
P120+P121	20x45	5462,50	-65,00	47,9	37,8

Fonte: Secic, (2019).