

## ANÁLISE DE FUNDAÇÃO EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR NA CIDADE DE CASCAVEL - PARANÁ: ESTUDO DE CASO

WEIDMAN, Rhichard H. R.<sup>1</sup>

BRESSAN, Rodrigo T.<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este artigo apresentou a análise de fundações profundas em um edifício multifamiliar localizado no centro da cidade de Cascavel, Paraná, com ênfase no uso de estacas do tipo hélice contínua. O objetivo principal foi verificar a conformidade do dimensionamento com os critérios estabelecidos pela NBR 6122:2022, utilizando os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, e comparar os resultados obtidos com o projeto estrutural executado. A pesquisa foi desenvolvida como estudo de caso, utilizando relatórios de sondagem SPT e o projeto estrutural da edificação, sendo os cálculos realizados em planilhas específicas e os desenhos produzidos no software *AutoCAD*. Os resultados mostraram que o método Aoki-Velloso tende a apresentar soluções mais conservadoras, resultando em maiores profundidades e maior consumo de concreto, enquanto o método Décourt-Quaresma apresentou, na maior parte dos casos, soluções mais econômicas, com reduções significativas no volume total de concreto e profundidades menores, mantendo a segurança geotécnica exigida. A comparação com o projeto original indicou que o método de Décourt-Quaresma é o que mais se aproxima do dimensionamento adotado, embora o projeto executado apresente margens de segurança superiores em pontos críticos. O redimensionamento proposto demonstrou uma economia aproximada de 14,9% no consumo de concreto, evidenciando viabilidade técnica e econômica na otimização das estacas. Conclui-se que ambos os métodos são aplicáveis às condições geotécnicas locais, porém o método Décourt-Quaresma mostrou desempenho global superior, constituindo-se como a alternativa mais eficiente para o caso estudado.

**Palavras-chave:** Fundações, Estaca hélice contínua, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, SPT.

### 1. INTRODUÇÃO

A engenharia das fundações tem apresentado grandes evoluções no que diz respeito a sua agilidade e segurança. É possível identificar diversos modelos de execução e escavação de fundações, sendo elas rasas ou profundas, diretas ou indiretas, respectivamente. O modelo escolhido varia a depender de algumas características como as resistências do solo, conhecimento geral do substrato das camadas do solo, presença de lençol freático e capacidades de suporte de cargas do solo.

---

<sup>1</sup>Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: rhrweidman@minha.fag.edu.br.

<sup>2</sup> Docente, Mestre, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.

A investigação geotécnica é fundamental para o conhecimento do solo, sendo o primeiro passo para a definição do tipo de fundação que melhor se encaixa em alguma estrutura. Para Schubert (2020), a investigação geotécnica é principalmente conhecer o solo no qual será executada uma edificação, e assim saber se o solo suportará as cargas aplicadas a ele pela fundação. É essencial conhecer as diversas camadas do solo, para então diminuir as incertezas e aumentar a segurança dos projetos.

Segundo Marangon (2018), as fundações profundas (indiretas) são elementos que transferem as cargas de uma estrutura ao solo, seja pela ponta (resistência de ponta), pela superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação de ambas.

A escolha da fundação em estacas do tipo hélice contínua para a execução do edifício foi baseada na recomendação técnica emitida pela empresa responsável pela sondagem do solo. Além disso, foram consideradas as vantagens específicas desse tipo de fundação, especialmente sua adequação ao ambiente urbano, como é o caso da área onde a edificação foi implantada.

A NBR 6122 (ABNT, 2022), descreve o modelo de fundação em estaca hélice contínua como um tipo de estaca de concreto moldado *in loco*, executada mediante a introdução, por rotação, de um trado helicoidal contínuo ao solo. O lançamento do concreto é realizado pela própria haste oca do trado, simultaneamente à retirada do solo, e a armadura da estaca é introduzida apenas após a concretagem.

Para Velloso e Lopes (2010), estacas do tipo hélice contínua com escavações de solo permitem execução com diâmetros de fuste de 30 cm a 100 cm e comprimentos de 15 a 30 metros, com os equipamentos mais comumente utilizados.

A execução desta pesquisa tem o intuito de aprofundar os conhecimentos sobre fundações, em específico as fundações profundas, executadas em grandes estruturas de concreto armado, aliando bibliografias a um estudo de caso em um edifício multifamiliar da cidade de Cascavel, Paraná.

A utilização de estacas hélice contínua na cidade de Cascavel, Paraná, é bastante comum pelo fato do crescimento acelerado da cidade e da grande quantidade de novos empreendimentos verticalizados em meio urbano, tornando a estaca hélice contínua uma ótima opção pelas suas características favoráveis ao espaço urbano.

O projeto de fundações executado com estacas hélice contínua apresenta compatibilidade com os resultados obtidos pelos métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, considerando os critérios da NBR 6122 (ABNT, 2022)?

O estudo estará limitado à fundação executada em estaca hélice contínua em um edifício multifamiliar, localizado no centro da cidade de Cascavel, Paraná. A coleta de dados foi feita com base na análise de relatórios de sondagem e projetos específicos.

Com base nas informações anteriormente expostas, este estudo teve como objetivo geral apresentar o dimensionamento da fundação pelos métodos de Décourt-Quaresma e Aoki-Velloso comparando com o projeto existente e propondo um projeto de fundações redimensionado, de acordo com os critérios da NBR 6122 (ABNT, 2022).

Para que este estudo tenha pleno êxito, os seguintes objetivos específicos serão propostos:

- a. Dimensionar a fundação com base no método de Décourt-Quaresma;
- b. Dimensionar a fundação com base no método de Aoki-Velloso;
- c. Apresentar o projeto de fundação de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os assuntos necessários para a obtenção dos objetivos e para o entendimento dos conceitos e técnicas que serão utilizados no estudo.

### 2.1 Investigação geotécnica com *Standard Penetration Test* (SPT)

Benetti (2016), define o *Standard Penetration Test* (SPT) como a ferramenta de investigação geotécnica mais rotineira, econômica e popular ao redor do mundo. O método de ensaio foi normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1980, recebendo o nome de NBR 6484, e foi revisada e republicada até sua versão mais recente, em 2020.

O método consiste na perfuração do solo com cravação dinâmica de um amostrador-padrão, realizada a cada metro de profundidade. A cravação é feita por meio da queda livre de um peso padronizado de 65 kg, a partir de uma altura de 75 cm. Esse procedimento permite

determinar o tipo de solo, o índice de resistência à penetração (NSPT) e o nível do lençol freático dentro do furo de sondagem, conforme estabelece a NBR 6484 (ABNT, 2020). O equipamento básico utilizado é composto por um tripé com roldana e sistema de levantamento do peso.

Brito (2018), explica que o primeiro metro de perfuração deve ser desprezado para garantir maior precisão nos resultados de resistência do solo. A perfuração do terreno é iniciada com o uso de uma cavadeira manual ou trado-concha. A cada metro perfurado, realiza-se o ensaio de penetração dinâmica e coletam-se amostras dos primeiros 45 centímetros de solo, divididos em três segmentos de 15 centímetros cada. No entanto, os primeiros 15 centímetros dessas amostras são desconsiderados na fase de análise dos dados. Em seguida, a perfuração é aprofundada até completar o metro de solo analisado. Esse processo é repetido sucessivamente até que se atinja o critério de parada, normalmente relacionado a um valor mínimo de resistência do solo.

### 2.1.1 Interpretação do ensaio de sondagem SPT

A classificação do tipo de solo obtido pela sondagem é feita através de identificação tátil-visual, observando a granulometria, plasticidade, cor e origem do solo analisado (BENETTI, 2016). A NBR 6484 (ABNT, 2020), apresenta o estado de compactidade e consistência dos solos, correlacionando o índice de resistência à penetração do solo (NSPT) com a designação dos solos arenosos e argilosos apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estado de compactidade e consistência.

| Solo                       | Índice de resistência à penetração N | Designação               |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Areias e siltes arenosos   | $\leq 4$                             | Fofa(o)                  |
|                            | 5 a 8                                | Pouco compacta(o)        |
|                            | 9 a 18                               | Medianamente compacta(o) |
|                            | 19 a 40                              | Compacta(o)              |
|                            | $> 40$                               | Muito compacta(o)        |
| Argilas e siltes argilosos | $\leq 2$                             | Muito mole               |
|                            | 3 a 5                                | Mole                     |
|                            | 6 a 10                               | Média(o)                 |
|                            | 11 a 19                              | Rija(o)                  |

| Solo                       | Índice de resistência à penetração N | Designação               |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Argilas e siltes argilosos | 20 a 30<br>> 30                      | Muito rija(o)<br>Dura(o) |

Fonte: Adaptado da NBR 6484 (ABNT 2020).

## 2.2 Estaca hélice contínua

A NBR 6122 (ABNT, 2022), especifica os requisitos a serem observados no projeto e execução de fundação de todas as estruturas da engenharia civil, apenas não sendo inserido os tipos de fundação que têm aplicação restrita (sapatas estaqueadas, radier estaqueados, estacas de compactação, melhoramento do solo, entre outros) e os métodos que se encontram em desuso (caixões pneumáticos, entre outros). Os modelos de fundações que não são previstos em norma podem ser utilizados com adaptações necessárias com base nos tipos apresentados pela norma.

Conforme Antunes e Tarozzo (2019), as estacas do tipo hélice contínua foram introduzidas no Brasil em 1987 com a utilização de equipamentos adaptados, porém, com o passar dos anos chamaram atenção pelas vantagens e facilidades exigidas pelo processo construtivo.

As estacas do tipo hélice contínua são estacas moldadas *in loco*, executadas por meio da introdução de um trado helicoidal contínuo de diâmetro constante no terreno, através de rotação. A concretagem é realizada simultaneamente à retirada do solo, por meio da haste central vazada do trado, que permite a passagem do concreto. A armadura é posicionada apenas após a conclusão da concretagem da estaca, conforme a NBR 6122 (ABNT, 2022).

Danziger (2012) *apud* Benetti (2016), justifica a grande utilização das estacas hélice contínua ao avanço tecnológico do seu método de execução, relacionando à sua baixa interferência a edificações vizinhas, devido à ausência de vibrações e ruídos durante a execução.

## 2.3 Métodos semiempíricos para previsão de capacidade de carga

Barbosa e Albertini (2022), explicam que para estimar a capacidade de carga de uma fundação, são utilizadas fórmulas teóricas, nas quais auxiliam as verificações, porém quando elas não são suficientemente confiáveis para as previsões de cargas de fundações por estacas,

muitos autores propõem métodos que se baseiam em correlações empíricas com resultados de ensaio *in loco* e ajustados em prova de carga.

Dentre os métodos, alguns que se destacam são: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978), Teixeira (1996), Lobo (2005), entre outros. Sendo neste estudo abordados os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

### 2.3.1 Método Aoki-Velloso

Para Souza (2021), o método brasileiro semiempírico Aoki-Velloso foi desenvolvido inicialmente para utilizar resultados de ensaios CPT (*Cone Penetration Test*) em solos brasileiros, tendo como forma original a tensão limite de ruptura e a tensão de atrito lateral. Os comportamentos da estaca e do cone são ajustados a partir de coeficientes presentes nas fórmulas de tensão limite de ruptura e tensão de atrito lateral.

Sendo o ensaio CPT escasso no Brasil e o mais utilizado sendo o ensaio SPT, o método Aoki-Velloso prevê ajustes em suas equações para atender os parâmetros do ensaio SPT.

Ao longo dos anos, outros autores incorporaram contribuições ao método Aoki-Velloso (1975), como Laprovitera (1988) e Monteiro (1997), sendo este último o que se destacou ao aprimorar o método e atribuir novos valores para coeficientes, adicionando novos tipos de estacas, como a hélice contínua apresentada neste estudo.

### 2.3.2 Método Décourt-Quaresma

Amann (2010), descreve em sua tese que o método Décourt-Quaresma foi inicialmente desenvolvido para contemplar estacas do tipo pré-moldadas de concreto cravadas, que foi considerada estaca de referência. O autor também ressalva que o método Décourt-Quaresma foi contemporâneo ao de Aoki-Velloso, sendo ambos muito utilizados na engenharia brasileira.

Diferente do método de Aoki-Velloso (1975), o método Décourt-Quaresma (1978), foi desenvolvido com o intuito de contemplar um processo expedito para estimar a carga de ruptura baseado exclusivamente em ensaios SPT (CARVALHO, 2023).

Décourt (1996), apresentou uma nova versão para cálculos, adicionando coeficientes de tipo de estacas e de solos,  $\alpha$  e  $\beta$ , para corrigir resistências de ponta e de atrito lateral, aumentando o escopo do método para outros tipos de fundações profundas. O autor ainda alerta que os

valores tabelados dos coeficientes só devem ser utilizados em ausência dos dados locais da execução.

### 3. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia adotada no desenvolvimento do estudo de caso consistiu na análise de dados provenientes de artigos científicos, normas técnicas, projetos estruturais e relatórios de ensaio de sondagem à percussão (SPT).

#### 3.1 Tipo de análise e local de pesquisa

Trata-se de um estudo de caso de uma fundação em estaca hélice contínua, executada em um edifício multifamiliar, localizado no centro da cidade de Cascavel.

O estudo foi realizado por meio da análise dos dados obtidos a partir do projeto estrutural (cargas e locação) e dos relatórios de ensaio de sondagem, com o objetivo de realizar os dimensionamentos da fundação utilizando os métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, comparando os resultados e adotando o método mais eficiente, tomando como base a quantidade de estacas, profundidade, fatores de segurança iguais a 2 ( $FS = 2$ ), relação geotécnica entre solo e estrutura e consumo de material. Os dados foram aplicados em planilhas de dimensionamento desenvolvidas no programa *Microsoft Excel*.

O estudo apresentou algumas limitações metodológicas. Não foram considerados os recalques máximo e diferencial, conforme recomendado pela NBR 6122 para avaliação em Estado Limite de Serviço. As combinações de ações utilizadas no projeto estrutural não foram demonstradas, embora tenham sido mencionadas. A análise restringiu-se à capacidade geotécnica das estacas, não abrangendo a verificação da capacidade estrutural conforme o item 7.7 da NBR 6122. Além disso, não foram avaliados o espaçamento mínimo entre estacas, exigido pela norma, nem os efeitos de grupo em blocos com múltiplas estacas.

As cargas foram utilizadas tal como fornecidas no projeto estrutural, presumindo-se que já contemplam as combinações normativas previstas pela NBR 6118:2023.

### 3.2 Caracterização da amostra

O estudo de caso foi realizado na fundação de um edifício multifamiliar localizado no centro da cidade de Cascavel, Paraná, como representado na Figura 3. O edifício conta com 21 pavimentos e área total construída de 12.050,77 m<sup>2</sup>. **Figura 1:** Localização do edifício.



Fonte: Adaptado de Google *Earth* (2025).

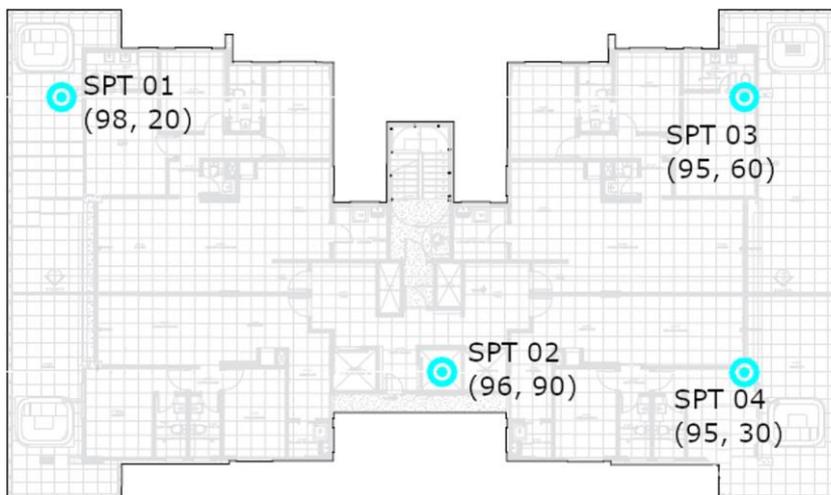
### 3.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada por meio da utilização do projeto estrutural fornecido pela empresa e dos relatórios de sondagem apresentados nos Anexos 1, 2, 3 e 4, que serviram de base para a elaboração das planilhas de dimensionamento da fundação, com base nos métodos e na comparação dos resultados obtidos. A Figura 4 apresenta a disposição dos ensaios de sondagem, representados sobre a planta esquemática do projeto arquitetônico.

Com base nos relatórios de sondagem obtidos, identificaram-se características do substrato do solo, como a presença de camadas de aterro, argilas colapsáveis com consistências variáveis e um lençol freático superficial. Diante dessas condições geotécnicas, a empresa

responsável pelos ensaios recomendou a adoção de fundações indiretas, e então optou-se pela utilização de estacas do tipo hélice contínua na execução do edifício.

**Figura 2:** Disposição dos ensaios de sondagem realizados.



Fonte: Adaptado do laudo de sondagem SPT083122 (LORENZI, 2022).

Dentre as ferramentas que foram utilizadas para o desenvolvimento do dimensionamento do sistema de fundação, destacaram-se os programas *Microsoft Excel*, aplicado ao cálculo das estacas, e *Autodesk AutoCAD*, utilizado para a elaboração e adequação dos desenhos e detalhamentos ao objetivo proposto.

### 3.3.1 Dimensionamento de estacas pelo método de Aoki-Velloso

O dimensionamento pelo método de Aoki-Velloso foi realizado por meio de uma planilha no programa *Microsoft Excel*, conforme demonstrado nas Figuras 3 e 4 e então organizadas em uma outra planilha para facilitação das análises. Os dados utilizados foram obtidos a partir do projeto estrutural e dos relatórios de sondagem, correspondendo, respectivamente, às cargas dos pilares e às características das camadas de solo, como suas respectivas resistências. Os critérios de determinação dos diâmetros e profundidades das estacas foram estabelecidos por meio de um processo iterativo, visando a otimização técnica e econômica da solução de fundação.

**Figura 3:** Planilha de cálculo de fundação (dados iniciais).

| SONDAGEM         |      |                      |      |                 | DADOS DA ESTACA |                 |               |                   |
|------------------|------|----------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------|
| Profundidade (m) | NSPT | Composição da Camada | N.A. | FUSTE DA ESTACA | Moldagem        | Tipo            | Diâmetro (cm) | Cota de apoio (m) |
| 1                |      |                      | 5    | 1               | Moldada In-Loco | Hélice Contínua |               |                   |
| 2                |      |                      |      | 2               |                 |                 |               |                   |
| 3                |      |                      |      | 3               |                 |                 |               |                   |
| 4                |      |                      |      | 4               |                 |                 |               |                   |
| 5                |      |                      |      | 5               |                 |                 |               |                   |
| 6                |      |                      |      | 6               |                 |                 |               |                   |
| 7                |      |                      |      | 7               |                 |                 |               |                   |
| 8                |      |                      |      | 8               |                 |                 |               |                   |
| 9                |      |                      |      | 9               |                 |                 |               |                   |
| 10               |      |                      |      | 10              |                 |                 |               |                   |
| 11               |      |                      |      | 11              |                 |                 |               |                   |
| 12               |      |                      |      | 12              |                 |                 |               |                   |
| 13               |      |                      |      | 13              |                 |                 |               |                   |
| 14               |      |                      |      | 14              |                 |                 |               |                   |
| 15               |      |                      |      | 15              |                 |                 |               |                   |

| Método de Cálculo       |                         |                         |                |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| Apenas se tipo Metálica | Apenas se tipo Metálica | Área (cm <sup>2</sup> ) | Perímetro (cm) |
|                         |                         | 0,00                    | 0,00           |

Fonte: Fundações sem Complicações Instituto de Engenharia e Pós-Graduação (LORENZI, 2025).

**Figura 4:** Planilha de cálculo pelo método Aoki-Velloso (determinação de estacas).

| MÉTODO AOKI VELLOSO (1975) |                 |                           |                 |              |                               |                   |                   |                      |            |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------|
| DADOS DE CÁLCULO           |                 |                           |                 |              |                               |                   |                   |                      |            |
| Estaca                     | Tipo            | Diâmetro (cm)             | Comprimento (m) | F.S (Global) |                               |                   |                   |                      |            |
| Moldada In-Loco            | Hélice Contínua | 0                         | 0               | 2            |                               |                   |                   |                      |            |
| % Resistência de Ponta     |                 | % Resistência lateral (β) |                 |              |                               |                   |                   |                      |            |
| 100                        |                 | 100                       |                 |              |                               |                   |                   |                      |            |
| RESULTADOS                 |                 |                           |                 |              |                               |                   |                   |                      |            |
| Profundidade (m)           | K (kPa)         | α                         | F1              | F2           | R <sub>p</sub> na camada (kN) | RL por metro (kN) | RL acumulada (kN) | R Total do solo (kN) | P Adm (kN) |
| 1                          | #VALOR!         | #VALOR!                   | 2               | 4            | #VALOR!                       | #VALOR!           | #VALOR!           | #VALOR!              | #VALOR!    |

Fonte: Fundações sem Complicações Instituto de Engenharia e Pós-Graduação (LORENZI, 2025).

A inserção dos dados foi realizada manualmente nas planilhas, sendo as células destacadas em verde os campos destinados ao preenchimento. Inicialmente, foram informados os dados do solo, conforme os relatórios de sondagem correspondentes a cada área do terreno. Com base nessas informações, identificaram-se os valores de NSPT e o tipo de solo, necessários para a definição dos fatores  $F_1$  e  $F_2$ , do coeficiente  $K$  e da razão de atrito  $\alpha$ . Em seguida, foram definidas a profundidade e o diâmetro da estaca, os quais puderam ser ajustados durante o processo de dimensionamento com o objetivo de otimizar a execução e a economia de materiais.

Monteiro (1997), propôs novos valores para os coeficientes  $F_1$ ,  $F_2$ , conforme apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$ .

| Tipo de estaca          | F1   | F2  |
|-------------------------|------|-----|
| Franki de fuste apilado | 2,3  | 3,0 |
| Franki de fuste vibrado | 2,3  | 3,2 |
| Metálica                | 1,75 | 3,5 |

| <b>Tipo de estaca</b>                         | <b>F1</b> | <b>F2</b> |
|---|-----------|-----------|
| Pré-moldada de concreto cravada a percussão   | 2,5       | 3,5       |
| Pré-moldada de concreto cravada por prensagem | 1,2       | 2,3       |
| Escavada com lama bentonítica                 | 3,5       | 4,5       |
| Raiz  | 2,2       | 2,4       |
| Strauss                                       | 4,2       | 3,9       |
| Hélice contínua                               | 3,0       | 3,8       |

Fonte: Adaptado de Monteiro (1997).

Além dos fatores de correção apresentados, foi necessário considerar também as propriedades do solo em que a estaca está inserida. A seguir, a Tabela 3 apresenta os valores do coeficiente de reação do solo ( $K$ ) e da razão de atrito lateral ( $\alpha$ ) para diferentes tipos de solo (MONTEIRO, 1997).

**Tabela 3:** Coeficiente  $K$  e razão de atrito  $\alpha$ .

| <b>Solo</b>          | <b>K (MPa)</b> | <b><math>\alpha</math> (%)</b> |
|----------------------|----------------|--------------------------------|
| Areia                | 0,73           | 2,1                            |
| Areia siltosa        | 0,68           | 2,3                            |
| Areia silto-argilosa | 0,63           | 2,4                            |
| Areia argilo-siltosa | 0,57           | 2,9                            |
| Areia argilosa       | 0,54           | 2,8                            |
| Silte arenoso        | 0,5            | 3,0                            |
| Silte areno-argiloso | 0,45           | 3,2                            |
| Silte                | 0,48           | 3,2                            |
| Silte argilo-arenoso | 0,4            | 3,3                            |
| Silte argiloso       | 0,32           | 3,6                            |
| Argila arenosa       | 0,44           | 4,0                            |
| Argila areno-siltosa | 0,3            | 4,5                            |
| Argila silto-arenosa | 0,33           | 5,0                            |
| Argila siltosa       | 0,26           | 5,5                            |
| Argila               | 0,25           | 6,0                            |

Fonte: Adaptado de Monteiro (1997).

Para definir a resistência de ponta ( $R_p$ ) da estaca, foi necessário o uso dos dados do coeficiente  $K$  e o NSPT referente a camada de solo em que se apoia a estaca, ou seja, a camada de solo ligeiramente abaixo da estaca. Também entra na conta a área da base da estaca ( $A_p$ ) e o fator de segurança  $F_1$ , que reduz o valor final para garantir maior segurança no projeto. A equação referente a resistência de ponta está expressa de acordo com a Equação 1:

$$R_p = \frac{K \cdot NSPT}{F_1} \cdot A_p \quad (1)$$

Já a resistência lateral ( $R_l$ ) considera cada camada de solo ao longo do fuste da estaca. Para isso, eram utilizados a razão de atrito ( $\alpha$ ), o mesmo coeficiente  $K$ , a média dos valores de NSPT da camada ( $NSPT_m$ ), o perímetro da estaca ( $U$ ), a altura da camada ( $A_l$ ) e o fator de segurança  $F_2$ . A equação de resistência lateral está apresentada na Equação 2:

$$R_l = \sum_1^n \left( \frac{\alpha \cdot K \cdot NSPT_m \cdot U}{F_2} \cdot A_l \right) \quad (2)$$

Para a definição do número de estacas por pilar, deve-se considerar a carga atuante no pilar e a capacidade de carga admissível da estaca, obtida pela soma das resistências de ponta ( $R_p$ ) e lateral ( $R_l$ ), divididas pelo fator de segurança ( $FS$ ), com valor característico igual a 2, como demonstrado abaixo. O número de estacas é determinado pela divisão da carga do pilar pela resistência admissível  $R$  da estaca. Deve-se observar a combinação de cargas das estruturas de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2023).

$$R = \frac{R_p + R_l}{FS} \quad (3)$$

### 3.3.2 Dimensionamento de estacas pelo método de Décourt-Quaresma

O dimensionamento das estacas pelo método de Décourt-Quaresma foi feito com base em uma planilha do programa *Microsoft Excel*, como mostrado nas Figuras 7 e 8 e então organizados em outra planilha para facilitar o entendimento dos resultados. A planilha utilizada foi adquirida da Fundações sem Complicações Instituto de Engenharia e Pós-Graduação.

**Figura 5:** Planilha de cálculo de fundação (dados iniciais).

| SONDAGEM         |           |                      |      |                 | DADOS DA ESTACA |                 |               |                   |
|------------------|-----------|----------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------|
| Profundidade (m) | $N_{SPT}$ | Composição da Camada | N.A. | FUSTE DA ESTACA | Moldagem        | Tipo            | Diâmetro (cm) | Cota de apoio (m) |
| 1                |           |                      | 5    | 1               | Moldada In-Loco | Hélice Contínua |               |                   |
| 2                |           |                      |      | 2               |                 |                 |               |                   |
| 3                |           |                      |      | 3               |                 |                 |               |                   |
| 4                |           |                      |      | 4               |                 |                 |               |                   |
| 5                |           |                      |      | 5               |                 |                 |               |                   |
| 6                |           |                      |      | 6               |                 |                 |               |                   |
| 7                |           |                      |      | 7               |                 |                 |               |                   |
| 8                |           |                      |      | 8               |                 |                 |               |                   |
| 9                |           |                      |      | 9               |                 |                 |               |                   |
| 10               |           |                      |      | 10              |                 |                 |               |                   |
| 11               |           |                      |      | 11              |                 |                 |               |                   |
| 12               |           |                      |      | 12              |                 |                 |               |                   |
| 13               |           |                      |      | 13              |                 |                 |               |                   |
| 14               |           |                      |      | 14              |                 |                 |               |                   |
| 15               |           |                      |      | 15              |                 |                 |               |                   |

| Método de Cálculo       |                         |                                |                |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|
| Apenas se tipo Metálica | Apenas se tipo Metálica | $A_{seção}$ (cm <sup>2</sup> ) | Perímetro (cm) |
|                         |                         | 0,00                           | 0,00           |

Fonte: Fundações sem Complicações Instituto de Engenharia e Pós-Graduação (LORENZI, 2025).

**Figura 6:** Tabela de cálculo para o método de Décourt-Quaresma (dados calculados).

| MÉTODO DECÓURT QUARESMA (1978)              |                 |               |                         |                                     |                 |                      |                  |                                   |      |                           |             |
|---|-----------------|---------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|------|---------------------------|-------------|
| DADOS DE CÁLCULO                            |                 |               |                         |                                     |                 |                      |                  |                                   |      |                           |             |
| Estaca                                      | Tipo            | Diâmetro (cm) | $A_p$ (m <sup>2</sup> ) | U (m)                               | Comprimento (m) |                      |                  |                                   |      |                           |             |
| Moldada In-Loco                             | Hélice Contínua | 0             | 0,0000                  | 0,000                               | 0               |                      |                  |                                   |      |                           |             |
| AJUSTES DO MÉTODO DECÓURT-QUARESMA          |                 |               |                         |                                     |                 |                      |                  |                                   |      |                           |             |
| Coeficiente do Solo (kPa)                   |                 |               |                         | % Resistência de ponta ( $\alpha$ ) |                 |                      |                  | % Resistência lateral ( $\beta$ ) |      |                           |             |
| Variável de acordo com o Solo tipo do Solo* |                 |               |                         | 60                                  |                 |                      |                  | 65                                |      |                           |             |
| RESULTADOS                                  |                 |               |                         |                                     |                 |                      |                  |                                   |      |                           |             |
| Profundidade (m)                            | $N_p$           | $N_L$         | Coef. Solo              | $R_p$ (kN)                          | $R_L$ (kN)      | $R_L$ acumulada (kN) | $R_{Total}$ (kN) | $P_{Adm}$ (kN)                    | R/2  | ( $R_L/1,3$ )+( $R_p/4$ ) | VERIFICAÇÃO |
| 1   |                 | 3,00          | #N/D                    | #N/D                                | 0,00            | 0,00                 | #N/D             | #N/D                              | #N/D | #N/D                      | #N/D        |

Fonte: Fundações sem Complicações Instituto de Engenharia e Pós-Graduação (LORENZI, 2025).

Para utilizar a planilha de cálculo, foi necessário inserir os dados obtidos nos ensaios SPT para cada metro do solo investigado. Além disso, foram informados os dados de identificação de cada pilar analisado, que foram separados por arquivos de planilhas diferentes, juntamente com as cargas incidentes sobre cada um. Para a facilitação da análise, os arquivos foram renomeados expressando a identificação do pilar analisado na planilha, o esforço vertical aplicado a ele e o ensaio SPT realizado mais próximo dele.

Outros dados essenciais para a realização dos cálculos incluem: o diâmetro da estaca ( $D$ ), sua profundidade ( $L$ ), os parâmetros de resistência do solo (conforme apresentado na Tabela 4), e os valores médios de  $N_p$  e  $N_e$ .

O  $N_p$  médio corresponde à média dos valores de NSPT na camada de apoio da ponta da estaca, considerando também 1 metro da camada logo acima e 1 metro da camada logo abaixo – totalizando assim uma faixa de 3 metros de solo. Já o  $N_e$  médio representa a média dos valores de NSPT das camadas situadas acima da região considerada para o  $N_p$ .

**Tabela 4:** Parâmetro  $C$  do solo.

| Tipo de Solo   | $C$ (kPa) |
|----------------|-----------|
| Areia          | 400       |
| Silte Arenoso  | 250       |
| Silte Argiloso | 200       |
| Argila         | 120       |

Fonte: Adaptado de Décourt (1996).

A carga de ruptura é apresentada na equação por  $P_R$ , ela foi calculada pela soma das resistências laterais e de ponta, conforme exposto na expressão:

$$P_R = R_p + R_l \quad (4)$$

$R_p$  é a representação da resistência de ponta da estaca, ela foi calculada pela equação:

$$R_p = \alpha \cdot A_p \cdot (C \cdot N_{p\ med}) \quad (5)$$

$R_l$  é a representação da resistência lateral da estaca, sendo calculada pela expressão:

$$R_l = \beta \cdot S_l \cdot \left[ 10 \cdot \left( \frac{N_{e\ med}}{3} + 1 \right) \right] \quad (6)$$

Onde  $S_l$  é referente a área lateral da estaca.

As cargas admissíveis, representadas por  $P_{adm1}$  e  $P_{adm2}$  foram consideradas pelo menor valor entre  $\frac{P_R}{2}$  e  $\frac{R_l}{1,3} + \frac{R_p}{4}$ .

A definição da quantidade de estacas necessárias para cada pilar é dada pela divisão da carga aplicada ao pilar pela carga de ruptura da estaca.

Para a obtenção de  $\alpha$  e  $\beta$ , são utilizados os valores de correção apresentadas por Décourt (1996), conforme indicado na Tabela 5.

**Tabela 5:** Valores de correção  $\alpha$  e  $\beta$ .

| Tipo de solo         |          | Estacas Escavadas | Estacas Escavadas (c/ bentonita) | Estaca Hélice Contínua | Estaca Raíz | Injetadas sob alta pressão |
|----------------------|----------|-------------------|----------------------------------|------------------------|-------------|----------------------------|
| Areia                | $\alpha$ | 0,85              | 0,85                             | 0,3                    | 0,85        | 1,0                        |
|                      | $\beta$  | 0,8               | 0,9                              | 1,0                    | 1,5         | 3,0                        |
| Solos Intermediários | $\alpha$ | 0,6               | 0,6                              | 0,3                    | 0,6         | 1,0                        |
|                      | $\beta$  | 0,65              | 0,75                             | 1,0                    | 1,5         | 3,0                        |
| Argila               | $\alpha$ | 0,5               | 0,5                              | 0,3                    | 0,5         | 1,0                        |
|                      | $\beta$  | 0,5               | 0,6                              | 1,0                    | 1,5         | 3,0                        |

Fonte: Adaptado de Décourt (1996).

### 3.4 Análise dos dados

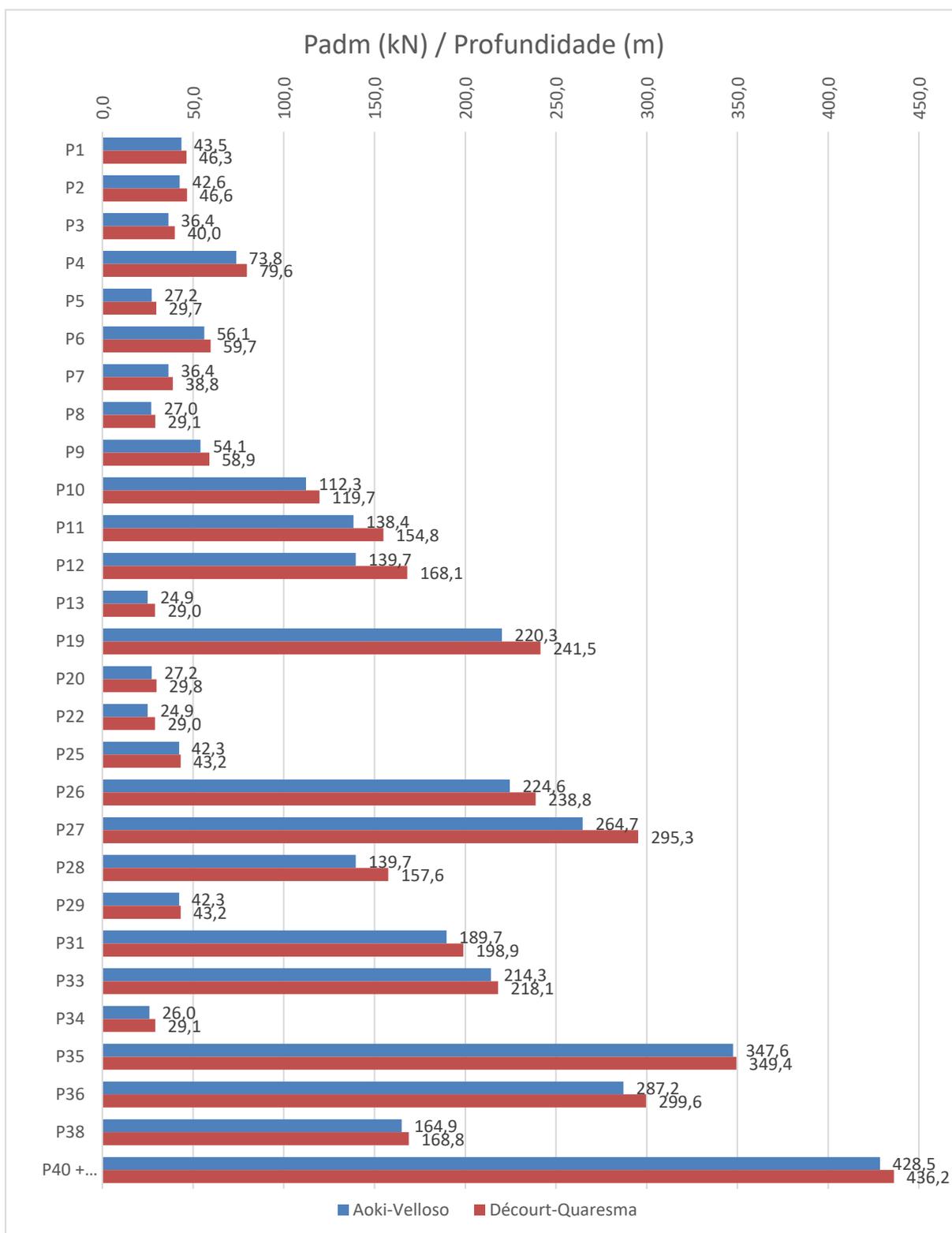
Após o dimensionamento da fundação pelos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, por meio da revisão bibliográfica, foi possível identificar qual dos dois métodos se mostrou mais adequado para a execução da fundação, considerando critérios como eficiência estrutural e economia de materiais. A comparação foi feita com base na capacidade de carga estimada por cada método, no número e nas dimensões das estacas necessárias, e no desempenho técnico das soluções propostas. A partir dessa análise, foi possível propor um novo projeto de fundações com melhor aproveitamento técnico.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Apresentação dos dados

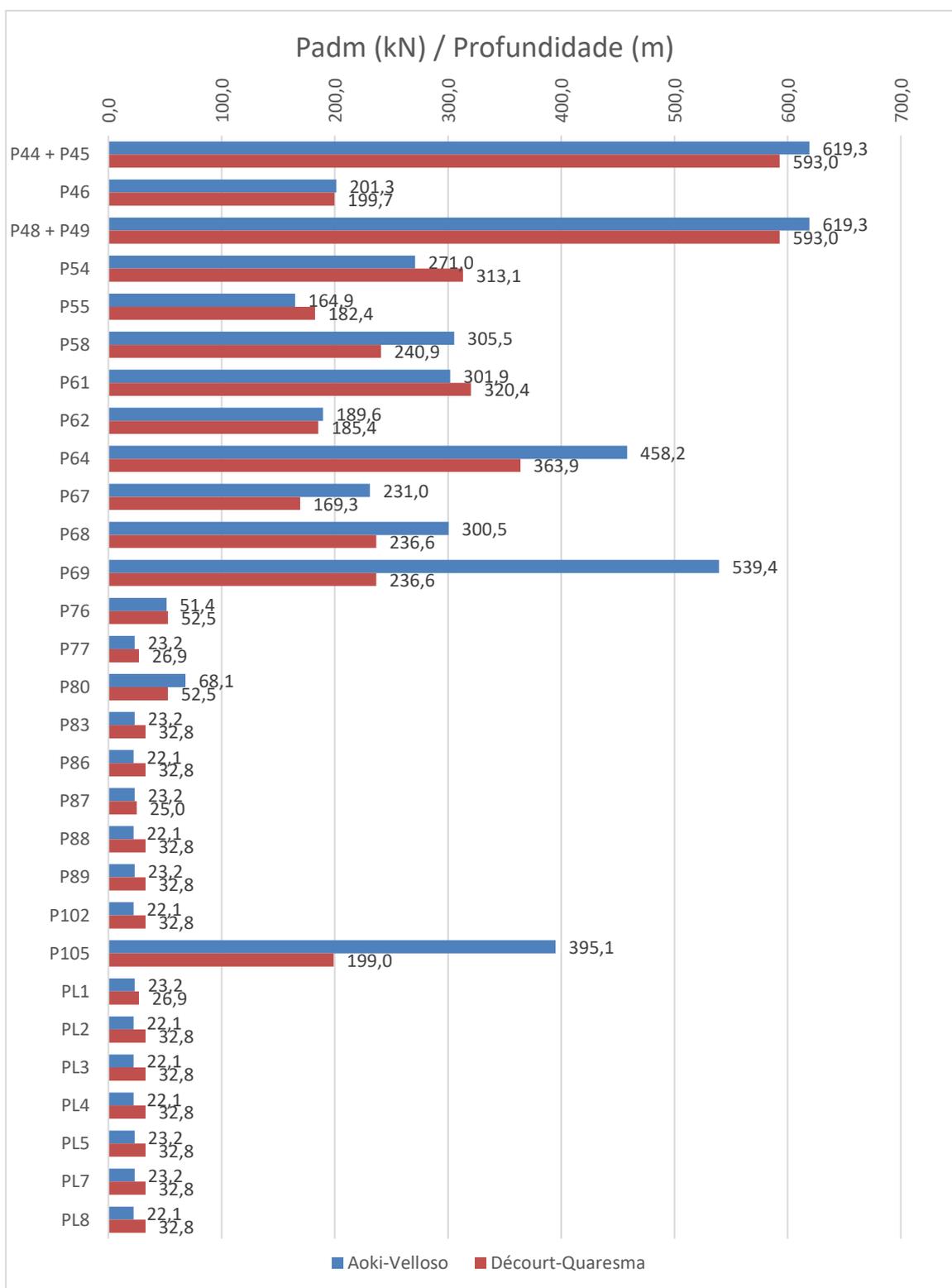
Para facilitar a observação dos resultados, eles foram organizados em uma planilha única, que uniram todas as 57 análises realizadas, e então organizadas em um gráfico, demonstrando a tensão admitida no dimensionamento dividida pela profundidade da estaca, para a visualização do desempenho de cada método, isso é observado nas Figuras 9 e 10.

**Figura 7:** Desempenho - Métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma (1/2) [kN/m].



Fonte: Autor (2025).

**Figura 8:** Desempenho - Métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma (2/2) [kN/m].



Os resultados obtidos nos dimensionamentos mostraram diferenças significativas entre os métodos analisados. De maneira geral, o método de Décourt-Quaresma apresentou soluções mais econômicas na maior parte dos casos, com menor consumo de concreto e profundidades mais reduzidas, sem comprometer a segurança exigida pela NBR 6122 (ABNT, 2022).

Porém, ao analisar os resultados provenientes dos cálculos envolvendo especificadamente o ensaio SPT 1, observou-se que o método de Décourt-Quaresma apresentou resultados iguais ou ligeiramente inferiores ao de Aoki-Velloso.

No geral, verificou-se que o método de Décourt-Quaresma resultou em um consumo total de concreto aproximadamente 4,04 m<sup>3</sup> superior ao obtido com o método de Aoki-Velloso, consequência direta do desempenho menos favorável no SPT 1. Ainda assim, a escolha pelo método de Décourt-Quaresma se manteve devido à sua maior eficiência global nos demais pontos de sondagem e sua resistência média 1,7% maior, sendo na maioria das vezes com profundidades menores.

#### 4.2 Comparação entre os métodos

A análise mostrou de forma consolidada que o método de Décourt-Quaresma apresentou na maior parte dos casos um melhor desempenho, garantindo menores comprimentos médios e maior economia de materiais, sendo superada pelo método de Aoki-Velloso apenas no caso da sondagem SPT 1.

Enquanto isso, o método de Aoki-Velloso apresentou um dimensionamento mais conservador, uma vez que utiliza fatores de correção ( $F1$  e  $F2$ ) mais elevados, reduzindo a resistência de cálculo e, consequentemente, aumentando as profundidades médias e consumo de materiais. Esse comportamento resulta em fundações com maior margem de segurança, proporcionando maior confiabilidade em situações críticas.

Essa divergência está associada às características particulares do perfil de solo encontrado no SPT 1, em que o método de Aoki-Velloso se mostrou mais sensível às variações dos índices de resistência à penetração (NSPT), fornecendo maior segurança estrutural nesse ponto específico.

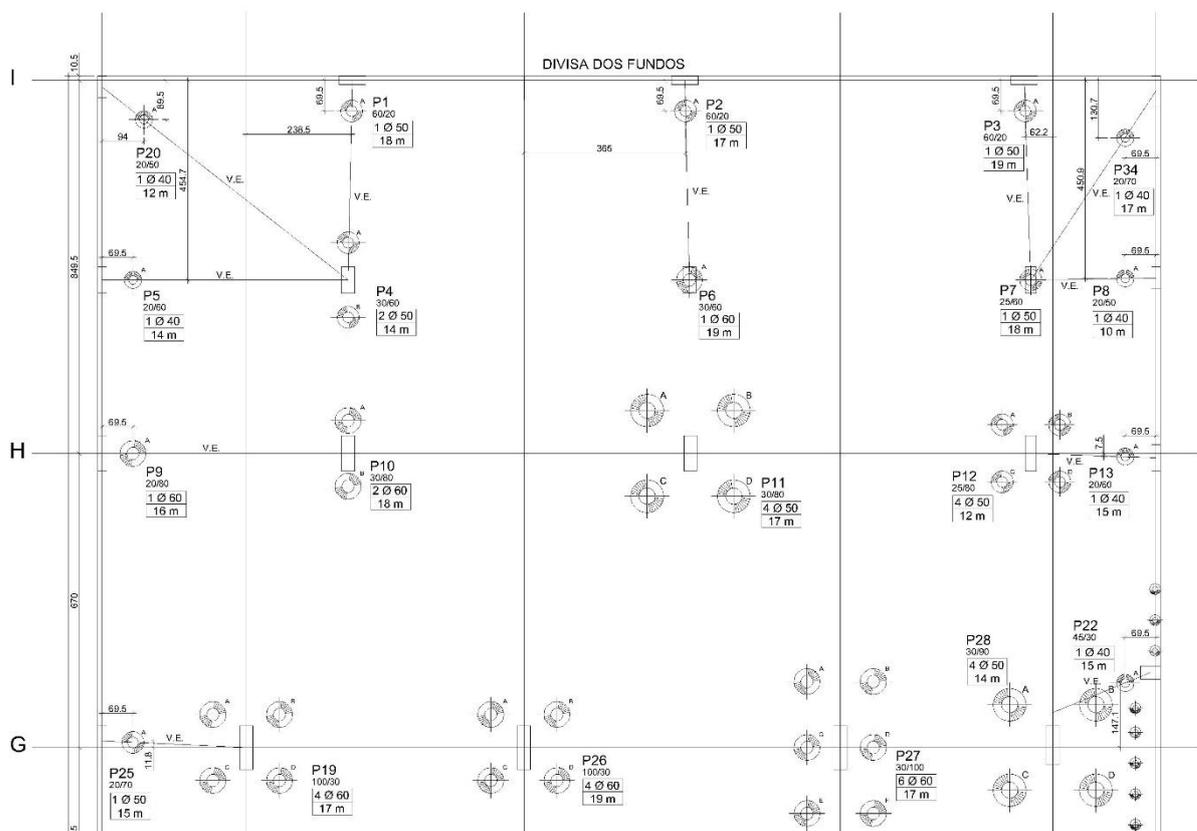
Apesar do resultado final do método de Décourt-Quaresma ter apresentado um consumo ligeiramente maior de concreto em relação ao Aoki-Velloso, devido ao desempenho inferior no

SPT 1, optou-se por adotá-lo como referência principal do projeto. Essa escolha foi justificada pela maior eficiência global observada nas demais sondagens, que garantiu racionalização no número e comprimento das estacas, conciliando segurança estrutural.

#### 4.3 Apresentação do projeto com os resultados obtidos

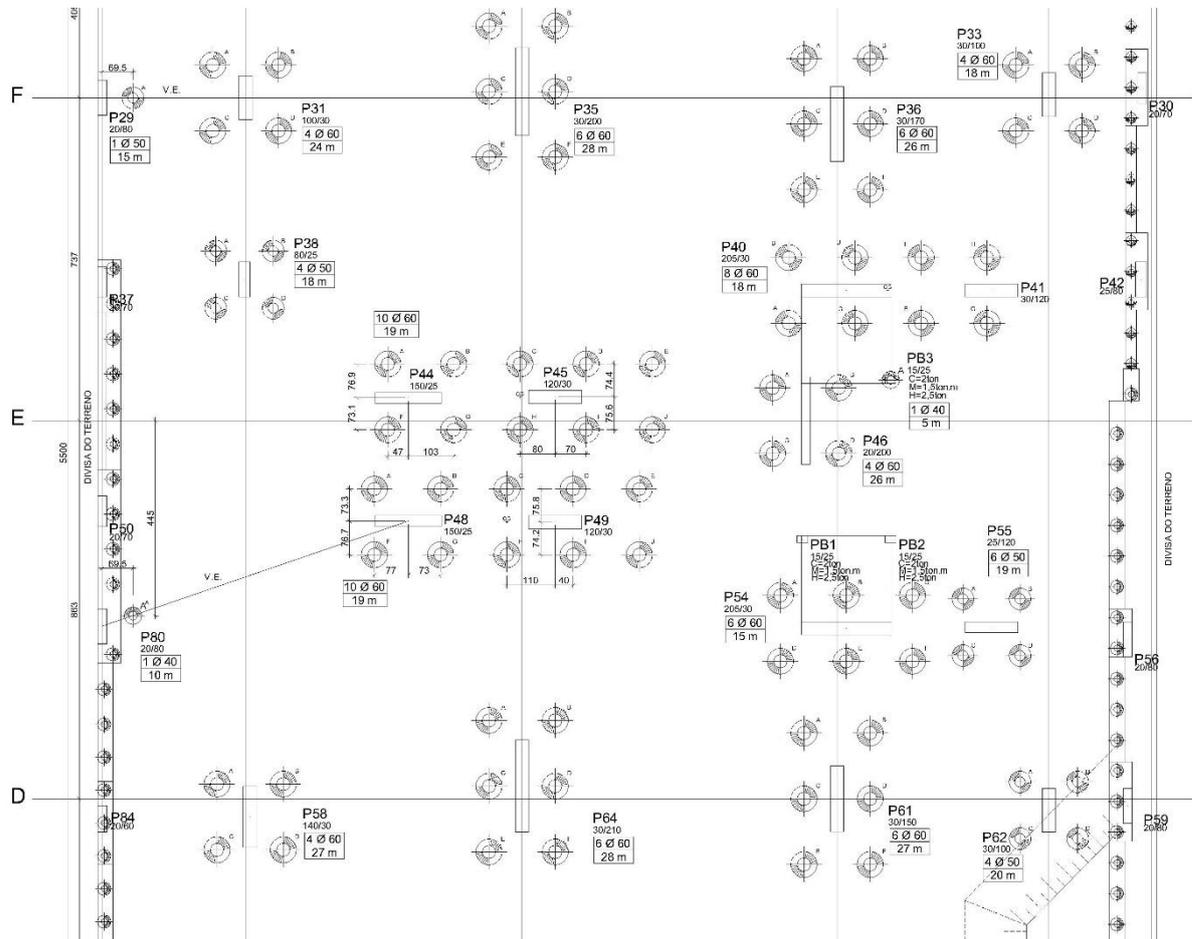
Utilizando o método de Décourt-Quaresma, foi desenvolvido um novo projeto no programa *Autodesk AutoCAD*, como apresentado nas Figura 11, 12 e 13, tomando como referência o projeto original. A comparação entre ambos evidenciou uma redução de 135,58 m<sup>3</sup> no consumo de concreto, o que representa uma economia de 14,93% em relação ao método anteriormente empregado, sem comprometer a segurança exigida pela NBR 6122 (ABNT, 2022). Cabe destacar que os recalques não foram avaliados, embora sua verificação seja recomendada pela NBR 6122:2022.

**Figura 9: Projeto redimensionado (1/3).**



Fonte: Autor (2025).

**Figura 10: Projeto redimensionado (2/3).**



Fonte: Autor (2025).

Figura 11: Projeto redimensionado (3/3).



Fonte: Autor (2025).

A execução teórica da fundação redimensionada representa uma redução de custos, abrangendo tanto os aspectos de execução quanto o tempo total de obra. Segundo Caldas e Sposto (2017), as emissões de dióxido de carbono associadas ao transporte de materiais de construção podem representar parcela significativa do total emitido, aumentando proporcionalmente à distância percorrida entre a fábrica e o canteiro de obras. Assim, a otimização logística e a redução no número de viagens de transporte contribuem diretamente para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>. Observa-se também uma diminuição nos custos de armação e no volume total de concreto empregado.

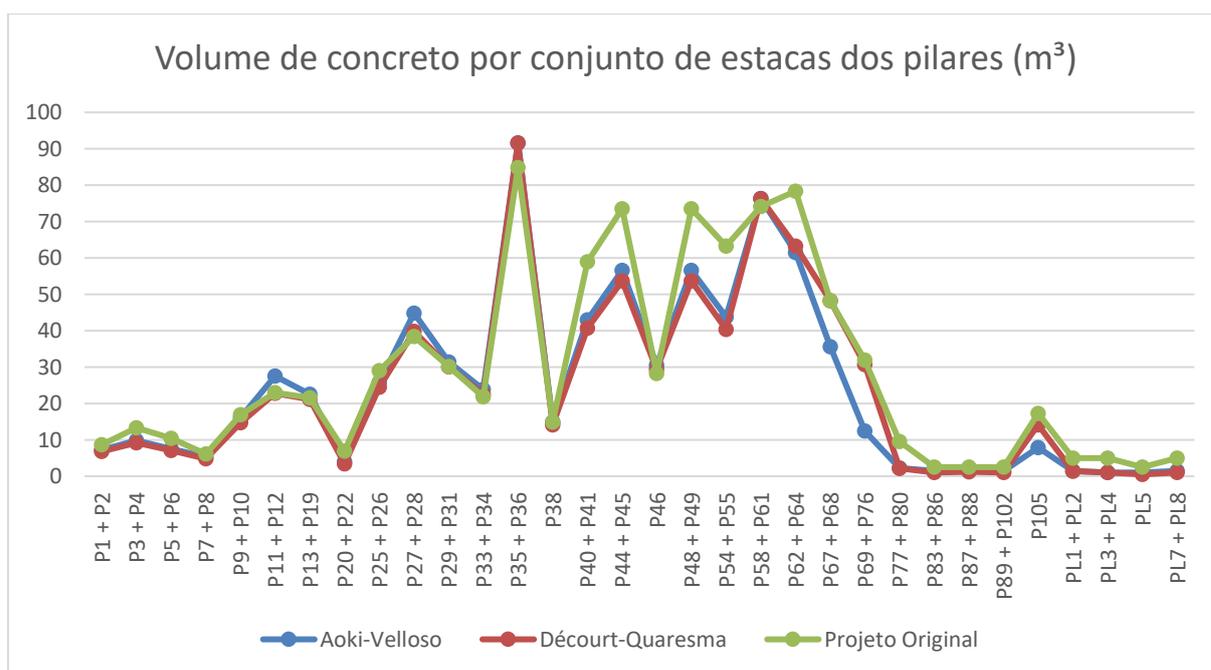
#### 4.4 Discussões dos resultados

Os dois métodos apresentaram resultados coerentes e viáveis à execução da fundação. O método de Aoki-Velloso mostrou comportamento mais conservador, com maiores consumos de materiais, enquanto o método de Décourt-Quaresma se destacou pela maior racionalidade e economia, mantendo a segurança exigida pela NBR 6122 (ABNT, 2022).

A diferença observada no SPT 1 explica o consumo ligeiramente maior de concreto obtido pelo método de Décourt-Quaresma no acumulado geral, porém sua eficiência global nas demais sondagens sustentou sua adoção como referência do projeto redimensionado.

Também se verificou que o projeto original apresenta margens de segurança superiores às obtidas pelos dois métodos analisados, o que é compatível com edificações de grande altura e submetidas a esforços horizontais. A comparação indicada na Figura 12 sugere que o método original se aproxima do de Décourt-Quaresma, porém com maior conservadorismo em pontos críticos da estrutura.

**Figura 12: Comparação do volume de concreto dos métodos analisados com o projeto original.**



Fonte: Autor (2025).

Com o gráfico observa-se o possível método utilizado para o dimensionamento original da fundação se assemelha ao método de Décourt-Quaresma, porém com uma margem de segurança superior em ponto mais críticos da estrutura.

## 5. CONCLUSÃO

As análises realizadas permitiram avaliar o desempenho dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma no dimensionamento das estacas hélice contínua utilizadas na fundação do edifício multifamiliar estudado, situado no centro de Cascavel-PR. A partir dos dados obtidos nos ensaios SPT e das cargas provenientes do projeto estrutural, verificou-se que ambos os métodos apresentaram resultados tecnicamente coerentes e compatíveis com as diretrizes da NBR 6122 (ABNT, 2022), confirmando a viabilidade de aplicação de cada um deles nas condições geotécnicas locais.

O método Aoki-Velloso demonstrou comportamento mais conservador, resultando, na maior parte dos casos, em maiores profundidades de estacas e em maior consumo de concreto e aço, o que se justifica pela sua formulação e pelos coeficientes de correção utilizados. Já o método Décourt-Quaresma apresentou desempenho globalmente mais eficiente, com capacidades de carga superiores e menores comprimentos de estacas na maior parte dos perfis de solo analisados, evidenciando maior racionalidade técnica e econômica.

A comparação com o projeto de fundações executado mostrou que o dimensionamento original apresenta margens de segurança superiores aos dois métodos utilizados, especialmente em pontos críticos da fundação. Ainda assim, observou-se forte compatibilidade entre o projeto original e o método Décourt-Quaresma, sugerindo que este método, ou metodologia semelhante, pode ter sido empregado pelo projetista.

O redimensionamento proposto, baseado no método de Décourt-Quaresma, indicou uma economia aproximada de 14,93% no volume total de concreto, sem comprometer a segurança geotécnica, demonstrando o potencial de otimização do sistema de fundações. Ressalta-se, contudo, que análises adicionais como verificação de recalques, efeitos de grupo, espaçamentos mínimos e capacidade estrutural das estacas devem complementar o estudo, conforme determina a NBR 6122 (ABNT, 2022).

Conclui-se que ambos os métodos se mostraram aplicáveis e tecnicamente adequados, mas o método Décourt–Quaresma destacou-se pela maior eficiência no caso analisado. O estudo enfatiza a importância da comparação entre metodologias de dimensionamento na fase de projeto, contribuindo para construções mais seguras, econômicas e coerentes com o comportamento geotécnico do solo local.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ, 2023.

\_\_\_\_\_. **NBR 6122: Projeto E Execução De Fundações**. Rio de Janeiro – RJ, 2022.

\_\_\_\_\_. **NBR 6484: Solo – Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT — Método de Ensaio**. Rio de Janeiro – RJ, 2020.

AMANN, K. A. P. **Metodologia semiempírica unificada para estimativa da capacidade de carga de estaca**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2010.

ANTUNES, W. R.; TAROZZO, H. **Execução de fundações profundas: estacas tipo hélice contínua**. Fundações: teoria e prática. 3. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BARBOSA, A. I. M.; ALBERTINI, M. M. **Análise comparativa de estimativa de capacidade de cargas de estacas profundas – métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma**. 2022. Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação, São Paulo – SP, 2022.

BENETTI, L. B. **Estacas Hélice Contínua Executadas Em Solos Da Formação Guabirotuba: Estudo Do Comportamento e Reavaliação De Métodos Semiempíricos De Previsão Da Capacidade De Carga**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2016.

BRITO, L. V. **Fundação Em Estaca Hélice Contínua: Estudo De Caso Em Obra De Edifício Residencial De Seis Pavimentos em Balsas-MA**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, Balsas – MA, 2018.

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. **Emissões de CO2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto**. 2017. Ambiente Construído – Porto Alegre – RS, 2017.

CARVALHO, A. F. O. **Avaliação de provas de carga estáticas em estacas a partir de métodos semiempíricos de previsão da capacidade de carga de ruptura geotécnica**. 2023.



Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto Politécnico – UFRJ/Macaé, Macaé – RJ, 2023.

DÉCOURT, L. **Análise e Projeto de Fundações Profundas – Estacas**. 1996. Fundações: Teoria e prática, São Paulo – SP, 1996.

LORENZI, G. A. **Planilha de dimensionamento de estacas**. 2025. Fundações sem Complicações Instituto de Engenharia e Pós-Graduação, Cascavel-PR, 2025.

LORENZI, G. A. **Relatório de sondagem SPT083122**. 2022. Relatório de sondagem Fungeo, Cascavel – PR, 2022.

MARANGON, M. **Geotecnia de Fundações**. 2018. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora – MG, 2018.

MONTEIRO, P. F. **ESTACAS ESCAVADAS COM HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA**. 1997. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP, 1997.

OLIVEIRA, J. V. F. **Ensaio SPT: a importância de estudar o terreno para garantir a segurança da sua residência (e da sua família!)**. 2021. EESC Jr. Disponível em <<https://eescjr.com.br/blog/ensaio-spt/>>. Acesso em: 18 maio 2025.

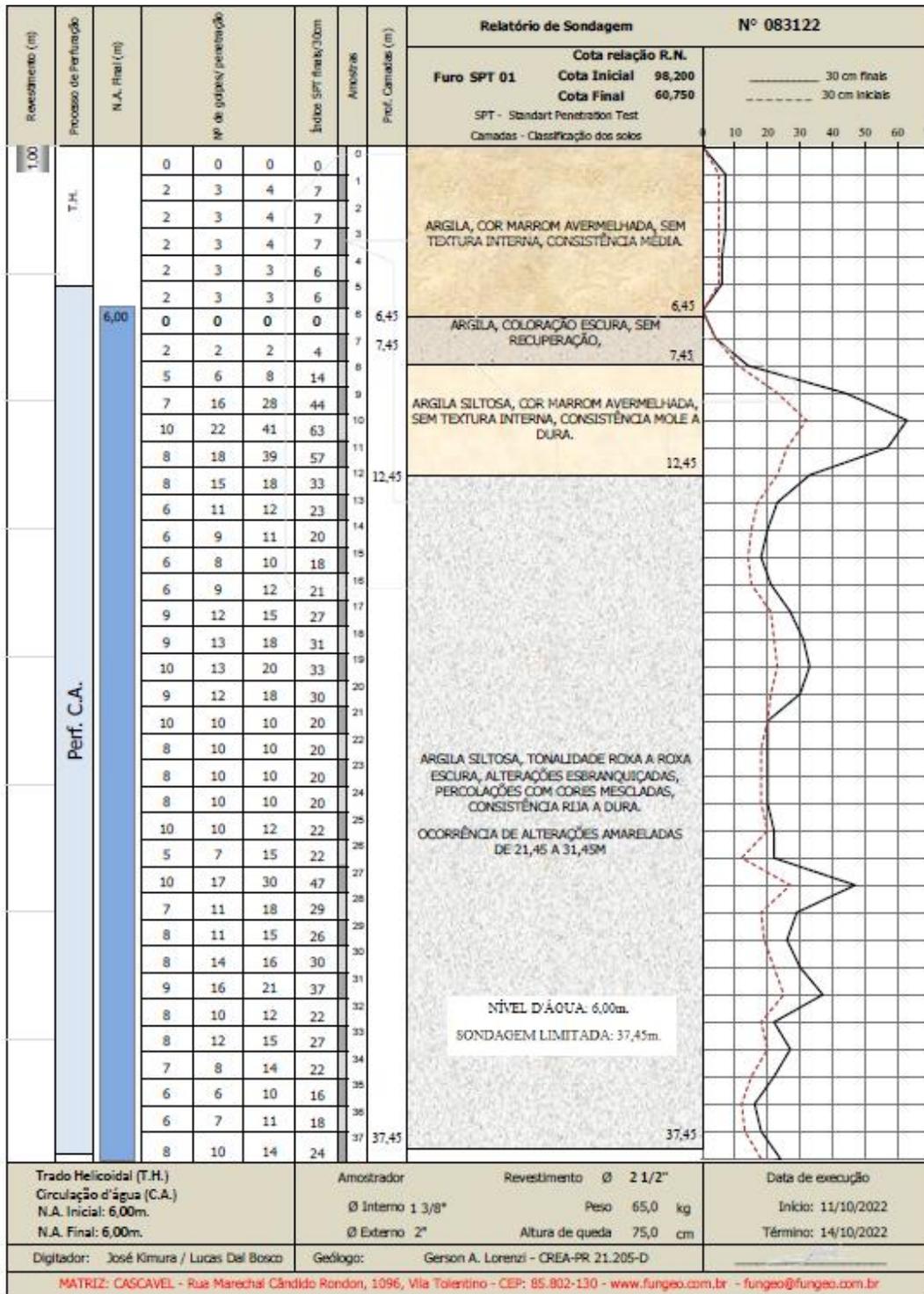
SCHUBERT, T. F. **Fundações e Obra de Terra**. 2020. Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI, Indaial – SC, 2020.

SOUZA, M. F. **Comparação de métodos semiempíricos de previsão da capacidade de carga a partir de ensaios SPT e resultados de provas de carga**. 2021. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2021.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

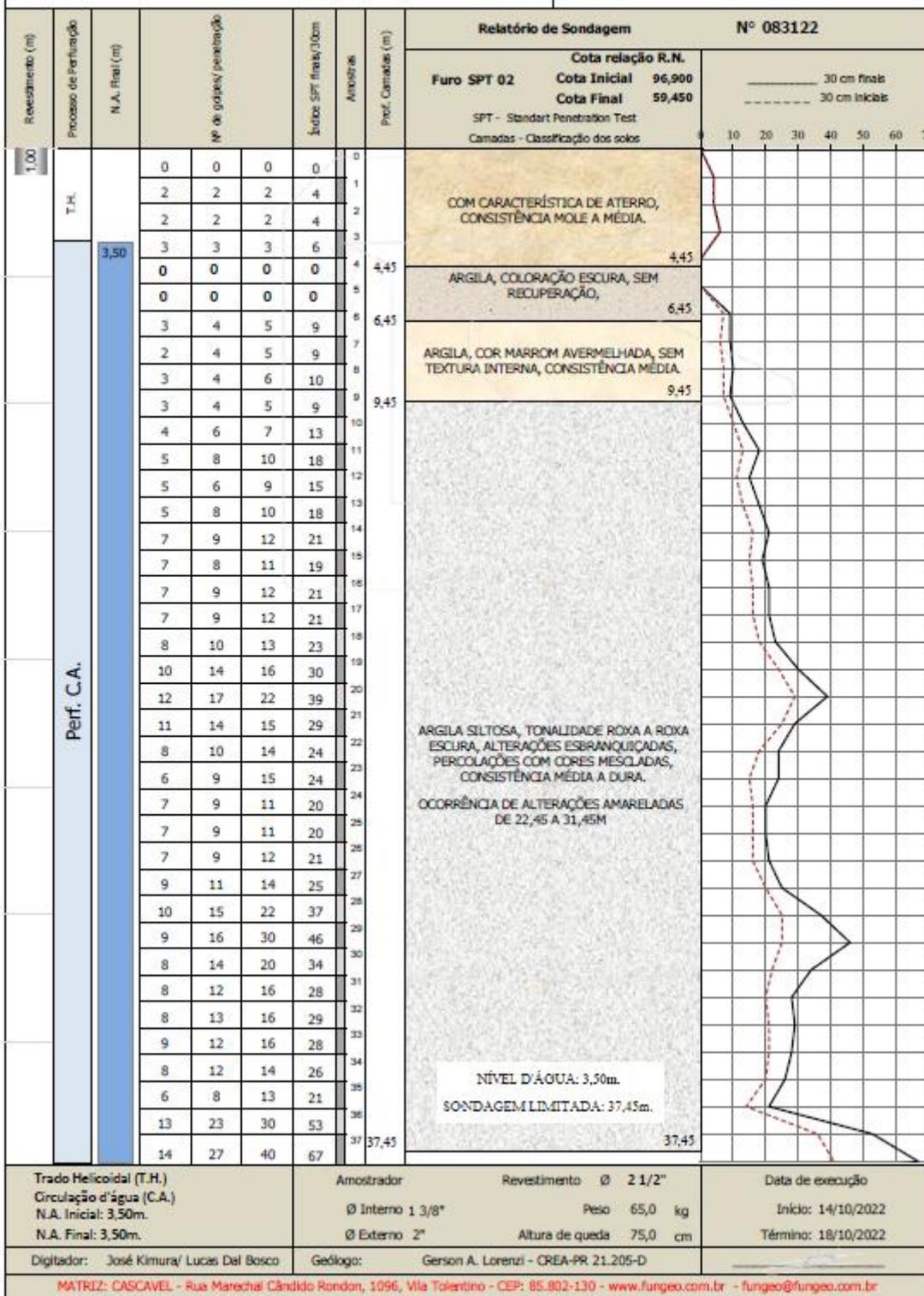
**ANEXOS**

**Anexo 1:** Laudo de sondagem geotécnica SPT-01.



Fonte: Adaptado do laudo de sondagem SPT083122 (LORENZI, 2022).

**Anexo 2:** Laudo de sondagem geotécnica SPT-02.



Fonte: Adaptado do laudo de sondagem SPT083122 (LORENZI, 2022).



