



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

Juliana Pantoja Duarte Tenório
Matheus Filipe Andrade Silva

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DOS CUSTOS EXECUTIVOS EM ESTACAS
HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE MONTE
CARLO: ESTUDO DE CASO DO PARQUE DA CIDADE EM BELÉM-PA**

Belém-PA
2026

Juliana Pantoja Duarte Tenório Matheus Filipe Andrade Silva

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DOS CUSTOS EXECUTIVOS EM ESTACAS
HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE MONTE
CARLO: ESTUDO DE CASO DO PARQUE DA CIDADE EM BELÉM-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal do Pará,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Felipe de Sá Moreira

Belém-PA
2026

RESUMO

A execução de estacas hélice contínua monitorada envolve variáveis de processo que não são plenamente controláveis, entre elas o tempo de perfuração, o tempo de concretagem e o volume de concreto injetado acima do valor teórico de projeto, condicionado pela pressão de injeção e pelas condições do canteiro. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade dos custos executivos de estacas hélice contínua monitorada, por meio da aplicação do Método de Monte Carlo, tomando como estudo de caso a execução de 443 estacas no Parque da Cidade, em Belém do Pará. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, de abordagem quantitativa, desenvolvido a partir de dados de campo coletados durante a execução da obra, contemplando parâmetros de perfuração, concretagem e produtividade. Os dados foram tratados em planilha eletrônica, na qual foram calculados o volume teórico de concreto, o percentual de sobra em relação ao volume executado e os tempos de execução de cada etapa, convertidos em custo por meio de preços unitários de referência de mercado, compatíveis com a estrutura de composição SEDOP-PA e SINAPI. A simulação de Monte Carlo, com 1.000 iterações, permitiu estimar a distribuição de probabilidade do custo executivo por estaca, obtendo um custo médio simulado de R\$ 2.548,72, com intervalo de confiança entre R\$ 2.336,14 (P10) e R\$ 2.770,42 (P90). Os resultados evidenciam que a variabilidade executiva, quando não incorporada ao planejamento orçamentário, produz estimativas de custo pouco representativas da realidade do canteiro, reforçando a relevância de modelos estocásticos como ferramenta de suporte à decisão em obras de fundação.

Palavras-chave: Estaca hélice contínua. Variabilidade executiva. Simulação de Monte Carlo. Custos de fundação.

ABSTRACT

The execution of continuous flight auger piles involves process variables that are not fully controllable, including drilling time, grouting time and the volume of concrete injected above the theoretical design value, which is conditioned by injection pressure and site conditions. Given this context, the present study aims to analyze the variability of execution costs of monitored continuous flight auger piles through the application of the Monte Carlo Method, using as a case study the execution of 443 piles at Parque da Cidade, in Belém, Pará. The research is characterized as a case study, with a quantitative approach, developed from field data collected during the execution of the works, covering drilling, grouting and productivity parameters. The data were processed in a spreadsheet, in which the theoretical concrete volume, the percentage of excess in relation to the executed volume and the execution times of each stage were calculated, converted into cost through reference market unit prices, compatible with the SEDOP-PA and SINAPI composition structure. The Monte Carlo simulation, with 1,000 iterations, allowed estimating the probability distribution of the execution cost per pile, obtaining a simulated average cost of R\$ 2,548.72, with a confidence interval between R\$ 2,336.14 (P10) and R\$ 2,770.42 (P90). The results show that execution variability, when not incorporated into budget planning, produces cost estimates that are not very representative of the actual site conditions, reinforcing the relevance of stochastic models as a decision support tool in foundation works.

Keywords: Continuous flight auger pile. Execution variability. Monte Carlo simulation. Foundation costs.

SUMÁRIO

<i>1 INTRODUÇÃO</i>	<i>5</i>
<i>2 REFERENCIAL TEÓRICO</i>	<i>8</i>
2.1 Estacas hélice contínua monitorada: características executivas e fatores que influenciam a produtividade	8
2.2 Variabilidade dos processos executivos e seus impactos em custos na construção civil	10
2.3 O Método Monte Carlo aplicado à análise de riscos e custos em projetos de engenharia	12
<i>3 METODOLOGIA.....</i>	<i>14</i>
3.1 Procedimentos de cálculo e aplicação na planilha eletrônica.....	15
<i>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</i>	<i>17</i>
4.1 Impacto da variabilidade executiva nos custos das estacas hélice contínua	17
4.2 Simulação dos cenários de custo utilizando o Método de Monte Carlo	20
<i>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</i>	<i>23</i>
<i>REFERÊNCIAS.....</i>	<i>25</i>

1 INTRODUÇÃO

No mundo moderno, o direcionamento estratégico de recursos naturais, econômicos e técnicos é cada vez mais imprescindível para que empreendimentos de engenharia alcancem os objetivos de prazo, custo e qualidade estabelecidos em projeto. De modo que, a alocação eficiente de recursos humanos, materiais e financeiros passa a ser condição determinante para a rentabilidade dos empreendimentos. Segundo Rezende et al. (2023), a alocação de recursos desempenha papel vital na determinação da eficácia organizacional, distribuindo recursos financeiros, humanos e materiais de forma a maximizar a produtividade e minimizar o desperdício. O que reforça a importância de que decisões técnicas sejam sustentadas por evidências e não apenas por estimativas médias tomadas de forma isolada. Na engenharia civil, essa lógica de alocação estratégica encontra na fase de fundações, sobretudo nas fundações profundas, um dos pontos de maior sensibilidade orçamentária, já que se trata de uma etapa cara, pouco visível após a conclusão da obra e fortemente dependente das condições reais do canteiro; exigindo planejamento técnico, operacional e financeiro estruturado desde a concepção do projeto executivo.

De acordo com Kehinde (2025), a adoção de metodologias orientadas por dados melhora significativamente a avaliação de riscos e a alocação de recursos, permitindo que gestores tomem decisões mais informadas e alinhadas com os objetivos do projeto, em comparação com métodos tradicionais baseados unicamente em médias históricas. Logo, a transformação de dados brutos de campo em informação estruturada passa a ser um diferencial competitivo para empresas de fundação, que lidam diariamente com variáveis de execução pouco previsíveis, como o tempo de perfuração, o tempo de concretagem e o consumo real de concreto frente ao volume teórico de projeto. Dessa forma, entende-se que o problema não está na ausência de dados de campo, uma vez que a maioria das empresas já realiza esse tipo de registro por exigência contratual e normativa, mas sim na limitada capacidade de transformar esses registros em modelos preditivos, capazes de antecipar cenários de custo; o que compromete o controle orçamentário e a tomada de decisão gerencial ao longo da obra.

Conforme Sanusi (2024), a integração da tomada de decisão orientada por dados em projetos de engenharia civil emergiu como uma abordagem transformadora

para enfrentar desafios de cronogramas, estouros de custos e ineficiências. Esse artifício permite que gestores identifiquem padrões, prevejam resultados e otimizem recursos com base na análise sistemática de dados. Assim, a execução de estacas hélice contínua monitorada, embora siga protocolos normativos rígidos, está sujeita a uma variabilidade estocástica considerável, decorrente principalmente da interação solo-ferramenta, da logística de suprimento de concreto e das condições climáticas ao longo dos dias de perfuração. O problema de pesquisa que orienta este trabalho decorre justamente dessa lacuna, ou seja, buscou-se investigar de que forma a variabilidade real do processo executivo de estacas hélice contínua monitorada impacta financeiramente uma obra, quando tratada de forma estocástica por meio de simulação computacional, em vez de ser reduzida a uma média determinística de custo.

Ademais, execução de fundações profundas segue protocolos normativos consolidados, contudo, a prática de campo revela que fatores como profundidade real de cravação, consumo de concreto acima do volume teórico e tempo de execução variam de estaca para estaca, mesmo quando o perfil geotécnico do terreno é relativamente homogêneo (Velloso e Lopes, 2011). Então, a variabilidade observada não decorre do solo em si, mas do processo executivo, o que direciona o objetivo geral deste trabalho para a análise da variabilidade dos custos executivos de estacas hélice contínua monitorada. Análise esta, que será tomando como estudo de caso a execução das estacas do Parque da Cidade, em Belém do Pará, por meio da aplicação do Método de Monte Carlo, sobre os principais itens de variabilidade identificados em campo; notadamente o tempo de execução e o consumo de concreto excedente.

Assim como observa Formoso (2002), a variabilidade é uma das principais causas de perdas na construção civil, afetando tanto o cumprimento de prazos quanto o consumo de materiais. O que justifica que os objetivos específicos deste estudo estejam voltados para o levantamento e tratamento estatístico dos dados de campo referentes à profundidade de perfuração, ao volume de concreto injetado, ao tempo de perfuração e de concretagem. Além da conversão dessas variáveis em valores monetários, a partir de preços unitários de referência de mercado, compatíveis com a estrutura das composições SEDOP-PA e SINAPI, e da aplicação de simulação de Monte Carlo sobre esses dados; afim de se estimar a distribuição de probabilidade do custo executivo por estaca, ao invés de um valor pontual determinístico.

O Método de Monte Carlo surge como a solução técnica para integrar a aleatoriedade real da execução ao planejamento, tratando o tempo de perfuração e o consumo de concreto não como valores estáticos, mas como variáveis aleatórias regidas por distribuições de probabilidade. Tais mecanismos construídos a partir dos próprios dados de campo (Prado, 2014). Dessa forma, a simulação permite que a imprevisibilidade dos ciclos operacionais seja quantificada, de modo que o controle de produção antecipe desvios antes mesmo do início da execução física das estacas subsequentes. Ainda, indicando os pontos mais sensíveis de desperdício, tanto de tempo quanto de material, o que caracteriza a mudança de paradigma proposta neste trabalho, de um modelo de gestão determinístico para um modelo estocástico de apoio à decisão.

De acordo com Flyvbjerg (2014), deficiências no monitoramento, na gestão de dados e no controle executivo estão diretamente associadas ao aumento de riscos técnicos, atrasos e prejuízos financeiros significativos em megaprojetos e obras de infraestrutura. Esse quadro reforça a justificativa científica e prática deste trabalho, uma vez que a análise de dados de campo, quando tratada de forma estruturada, torna-se ferramenta essencial para o controle da produtividade, a identificação de desvios executivos e a mitigação de riscos orçamentários. Tais instrumentos ainda permite tomadas de decisão mais assertivas ao longo da obra, tanto para a empresa executora quanto para o contratante, que passa a dispor de uma faixa de custo mais realista do que uma estimativa pontual baseada exclusivamente em médias históricas.

Diante do exposto, este trabalho delimita seu escopo de análise à variabilidade genuinamente executiva do processo de cravação das estacas hélice contínua monitorada, entendida como aquela decorrente do tempo de perfuração, do tempo de concretagem e do consumo de concreto acima do volume teórico de projeto. Não sendo objeto deste estudo eventuais desvios de profundidade de cravação em relação à cota de projeto, os quais, quando identificados, são tratados como decorrência de imprecisão de projeto executivo e não como variabilidade de processo. Dessa forma, o recorte metodológico adotado busca isolar exatamente os fatores sobre os quais a equipe executora exerce maior grau de controle operacional, de modo a produzir um modelo de simulação tecnicamente defensável e diretamente aplicável à revisão de composições de custo unitário utilizadas pela empresa executora da obra estudada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estacas hélice contínua monitorada: características executivas e fatores que influenciam a produtividade

A estaca hélice contínua monitorada se diferencia de outras soluções de fundação profunda, como a estaca metálica, principalmente pelo grau de controle instrumentado do processo executivo. Uma vez que o equipamento registra em tempo real parâmetros como profundidade, torque, velocidade de rotação e pressão de injeção de concreto. Assim, a comparação entre os dois métodos evidencia que, embora a estaca metálica apresente maior previsibilidade estrutural por se tratar de um elemento pré-fabricado, a estaca hélice contínua oferece maior adaptabilidade às condições variáveis do subsolo; o que a torna mais suscetível a variações no tempo de execução e no consumo de concreto (Silva e Santos, 2024). Justamente os fatores explorados neste trabalho.

De acordo com Cruz (2025), a escolha entre soluções de fundação profunda, como a estaca Franki e a estaca hélice contínua monitorada, deve considerar não apenas o perfil geotécnico do terreno, mas também a produtividade executiva de cada método. Tendo em vista que a estaca hélice contínua monitorada apresenta ciclo executivo mais rápido, por dispensar o uso de fluido estabilizante ou revestimento metálico permanente em grande parte das aplicações. Logo, a viabilidade técnica e econômica dessa solução está diretamente associada à capacidade da equipe de campo de manter ritmo de produção estável, o que nem sempre ocorre devido a interrupções operacionais decorrentes da logística de concreto e das condições climáticas locais.

A análise técnica e econômica de estacas hélice contínua de diferentes diâmetros revela que o custo unitário por metro executado não varia de forma linear com o diâmetro da estaca. Fatores como o tempo de perfuração, a produtividade do equipamento e o consumo real de concreto, por metro cúbico teórico, introduzem variações que somente são capturadas quando o levantamento de dados é realizado estaca a estaca. Desse modo, projetos que utilizam mais de um diâmetro de estaca, como o caso do Parque da Cidade em Belém do Pará, exigem tratamento estatístico segmentado por classe de diâmetro, sob risco de mascarar a real variabilidade executiva de cada grupo de estacas (Silva, 2024).

Arantes (2024) destaca que o uso da hélice contínua em fundações prediais tem se consolidado como alternativa preferencial em obras urbanas devido à baixa vibração e ao reduzido nível de ruído durante a perfuração. Essas características preservam edificações vizinhas, contudo, o autor pondera que essa vantagem executiva não elimina a necessidade de controle rigoroso da concretagem; já que a injeção de concreto sob pressão, realizada simultaneamente à retirada da hélice, está sujeita a variações decorrentes do perfil do solo atravessado. O que resulta em consumo de concreto superior ao volume teórico calculado a partir do diâmetro e da profundidade de projeto, fenômeno amplamente registrado em obras monitoradas.

Segundo Freitas et al. (2025), as provas de carga estática e dinâmica realizadas em estacas hélice contínua monitorada permitem avaliar o desempenho estrutural do elemento após a execução. Contudo, os autores ressaltam que o desempenho geotécnico da estaca depende diretamente da qualidade do processo executivo, incluindo a continuidade do fuste de concreto e a ausência de estrangulamentos. De modo que o monitoramento em tempo real dos parâmetros de perfuração e concretagem funciona como instrumento de controle de qualidade que antecede e complementa as provas de carga; sendo também fonte primária de dados para análises estatísticas de variabilidade executiva, como a proposta neste trabalho.

A utilização de estacas do tipo hélice contínua na construção civil brasileira cresceu significativamente nas últimas décadas, em razão da versatilidade do método frente a diferentes perfis de solo e da possibilidade de execução em áreas urbanas com restrição de espaço (Da Silva e De Andrade, 2021). Assim, os autores apontam que o sucesso executivo do método depende da integração entre projeto geotécnico, equipe de operação do equipamento e logística de suprimento de concreto, sendo esta última frequentemente citada como o principal gargalo operacional, capaz de gerar tempos de espera entre o término da perfuração e o início da concretagem; o que compromete a qualidade do fuste e amplia a variabilidade de tempo total de execução por estaca.

Conforme Drozczak e Olavo (2024), o comportamento de estacas hélice contínua monitorada em solos compressíveis exige atenção redobrada quanto à velocidade de perfuração e à pressão de injeção de concreto. Tendo em vista que solos com maior compressibilidade tendem a demandar maior volume de concreto para preencher vazios formados durante a retirada da hélice. À vista disso, a variabilidade de consumo de concreto identificada em campo não deve ser

interpretada como erro executivo isolado, mas como resposta esperada do processo frente à heterogeneidade do subsolo; ainda que, em terrenos de perfil geotécnico predominantemente homogêneo, como o caso estudado neste trabalho, essa variabilidade tenda a se concentrar mais nos fatores operacionais do que na natureza do solo.

A partir do exposto pelos autores consultados, observa-se convergência quanto à ideia de que a produtividade e o custo executivo da estaca hélice contínua monitorada não dependem exclusivamente de parâmetros fixados em projeto, como diâmetro e armadura. Mas dependem sim, de variáveis de processo sujeitas a oscilação, entre elas o tempo de perfuração, o tempo de concretagem e o consumo de concreto acima do volume teórico. O que fundamenta teoricamente a delimitação de escopo adotada neste trabalho, concentrada exatamente nesses três fatores de variabilidade executiva, mensurados a partir de dados reais de campo coletados durante a execução das estacas do Parque da Cidade, em Belém do Pará.

2.2 Variabilidade dos processos executivos e seus impactos em custos na construção civil

Segundo Freitas et al. (2024), o impacto da gestão de custos na construção civil está diretamente relacionado à capacidade das empresas de antecipar variações entre o custo orçado e o custo realizado, uma vez que grande parte dos estouros orçamentários decorre não de erros de precificação de insumos, mas da subestimação da variabilidade inerente aos processos executivos. Dessa maneira, os autores defendem que modelos de orçamento que incorporam faixas de variação, em vez de valores fixos, tendem a apresentar maior aderência à realidade da obra, especialmente em serviços de fundação, nos quais fatores externos como clima e logística de suprimento exercem influência direta sobre o ritmo de produção.

A modelagem de processos de projetos sob a ótica dos princípios lean, evidencia que a transparência do processo e a redução do tempo de ciclo são elementos centrais para a mitigação de perdas na construção civil (Rodrigues et al., 2025). Assim, os autores demonstram que a variabilidade de tempo entre etapas sucessivas de um processo executivo, como a perfuração e a concretagem de uma estaca, tende a se propagar ao longo da cadeia produtiva, gerando efeitos cumulativos sobre o cronograma geral da obra. Quadro esse, que reforça a importância de se

medir e tratar estatisticamente essa variabilidade em nível de atividade individual, antes de agregá-la ao planejamento macro do empreendimento.

A gestão dos processos na construção civil para adoção de novas tecnologias construtivas depende da maturidade das empresas em coletar, organizar e interpretar dados de campo de forma sistemática; visto que a ausência de histórico estruturado impede a construção de modelos preditivos confiáveis (Queiroz, 2021). O autor então argumenta que a digitalização do canteiro de obras, por meio de planilhas eletrônicas e sistemas de apontamento, representa etapa intermediária essencial entre o registro manual tradicional e a adoção de ferramentas mais sofisticadas de simulação e inteligência artificial, sendo este último aspecto diretamente relacionado à proposta metodológica adotada neste trabalho.

Segundo Rodrigues et al. (2025), a avaliação dos custos do compartilhamento da mão de obra na construção civil revela que a produtividade das equipes de execução varia significativamente em função de fatores externos ao controle direto do trabalhador: como condições climáticas, disponibilidade de insumos e paralisações não programadas. Por esse motivo, os autores defendem que o custo real da mão de obra deve ser calculado considerando o tempo efetivamente produtivo, e não apenas a jornada contratual. O que se aplica diretamente à composição de custo horário da equipe de execução de estacas hélice contínua monitorada, cujo tempo de operação está sujeito às mesmas interrupções logísticas identificadas pelos autores.

Ademais, a aplicação de modelos de gestão de custos na construção civil, utilizando curvas de agregação de recursos, permite visualizar a evolução do desembolso financeiro ao longo do tempo de execução de uma obra, evidencia Sassi (2024). Em face disso, a autora demonstra que a incorporação de variabilidade estatística nessas curvas, em substituição a projeções lineares determinísticas, produz estimativas de fluxo de caixa mais realistas, especialmente em atividades de fundação, nas quais o custo por unidade executada não é constante, mas oscila em função das condições operacionais de cada etapa. Quadro que corrobora a abordagem estocástica adotada na análise dos custos executivos das estacas estudadas neste trabalho.

O impacto dos riscos construtivos na viabilidade econômica de obras civis está diretamente associado à forma como esses riscos são quantificados durante a fase de planejamento. Uma vez que a maioria das empresas ainda trata o risco de forma qualitativa, sem associá-lo a distribuições de probabilidade que permitam mensurar

seu impacto financeiro (Leonardo e Oscar, 2025). Dessa forma, os autores defendem que a incorporação de métodos quantitativos de análise de risco, como a simulação estocástica, representa avanço significativo em relação às abordagens tradicionais baseadas em margens de contingência fixas; o que fundamenta a escolha metodológica deste trabalho pela aplicação da simulação de Monte Carlo sobre os dados de variabilidade executiva coletados em campo.

A partir da revisão dos autores apresentados, verifica-se consenso quanto à necessidade de tratar a variabilidade dos processos executivos como elemento estruturante da gestão de custos na construção civil, e não como ruído estatístico a ser desconsiderado. Portanto, a incorporação dessa variabilidade ao planejamento orçamentário, por meio de ferramentas de simulação, mostra-se como caminho metodológico capaz de aproximar a estimativa de custo da realidade executiva da obra. Ocorrência essa, que justifica a aplicação do Método de Monte Carlo, discutido na seção seguinte, sobre os dados de tempo de execução e consumo de concreto levantados no estudo de caso do Parque da Cidade, em Belém do Pará.

2.3 O Método Monte Carlo aplicado à análise de riscos e custos em projetos de engenharia

Segundo Soares e Chela (2022), o Método de Monte Carlo aplicado à viabilidade econômica consiste em um procedimento de simulação estatística que substitui variáveis de entrada determinísticas por distribuições de probabilidade. Assim, permitindo gerar um número elevado de cenários possíveis a partir do sorteio aleatório de valores dentro dos intervalos observados. Dessa forma, os autores demonstram que essa técnica é particularmente útil quando as variáveis de um projeto apresentam histórico de dados reais que permitem calibrar as distribuições utilizadas na simulação. Assim, o processo evita que o modelo se baseie em premissas arbitrárias, sendo esta exatamente a lógica adotada neste trabalho, em que as distribuições de tempo de execução e de sobra de concreto foram calibradas a partir dos 443 registros de campo levantados na obra.

A simulação com o Método Monte Carlo constitui ferramenta relevante para análise de risco no gerenciamento de projetos. Pois permite quantificar a probabilidade de ocorrência de diferentes cenários de custo e prazo, em vez de apresentar um único valor esperado (Herzog et al., 2024). Dado exposto, os autores

destacam que a principal vantagem do método está na possibilidade de se calcular percentis de interesse, como P10, P50 e P90, que representam, respectivamente, cenários otimista, mais provável e pessimista. Esses cenários permitem que gestores de projeto tomem decisões considerando o intervalo de confiança da estimativa, e não apenas seu valor médio, prática diretamente incorporada à análise de resultados apresentada neste trabalho.

Além disso, o gerenciamento do risco de custo por meio de simulação de Monte Carlo aplicada a serviços de superestrutura evidencia que a técnica é sensível ao número de iterações executadas. Ela ainda recomenda a utilização de mil ou mais rodadas para que a distribuição de resultados se estabilize estatisticamente. Uma vez observado que simulações com poucas iterações tendem a apresentar variação significativa entre execuções sucessivas. Quadro que pode ser interpretado erroneamente como limitação do método, quando, na verdade, decorre de amostragem insuficiente (Souza, 2023). Motivo pelo qual este trabalho adotou 1.000 iterações por rodada de simulação, com testes de convergência entre rodadas sucessivas, de modo a validar a estabilidade estatística dos resultados obtidos.

Para Lourenço et al. (2026), a aplicação de simulação de Monte Carlo em projetos sob incerteza, como no caso da viabilidade econômico-financeira de um centro de distribuição, demonstra que o método permite identificar quais variáveis de entrada exercem maior influência sobre a dispersão dos resultados finais. Diante disso, a capacidade de discriminação entre variáveis de alto e baixo impacto orienta a priorização de esforços de controle operacional, de modo que a empresa executora possa concentrar recursos de gestão exatamente nos fatores que mais contribuem para a variabilidade do custo final. Isso se aplica diretamente à discussão dos resultados deste trabalho, em que o tempo de execução e o consumo de concreto foram identificados como as principais fontes de variabilidade orçamentária das estacas hélice contínua monitorada.

Em face da revisão teórica apresentada, evidencia-se que o Método de Monte Carlo se consolidou como ferramenta consistente para o tratamento de incertezas em projetos de engenharia. Servindo tanto à previsão de custos quanto à análise de risco e à tomada de decisão gerencial. Por conseguinte, sua aplicação sobre dados reais de campo, como os levantados na execução das estacas hélice contínua monitorada do Parque da Cidade, permite transpor a discussão teórica sobre variabilidade executiva, para um modelo quantitativo capaz de estimar a distribuição de

probabilidade do custo executivo por estaca. Assim, fundamentando teoricamente os procedimentos metodológicos descritos na seção seguinte.

3 METODOLOGIA

Quanto à classificação metodológica, este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza aplicada e abordagem predominantemente quantitativa. Ele investiga a execução de fundações profundas em um empreendimento específico, permitindo a análise detalhada das variáveis técnicas envolvidas no processo executivo. Dessa forma, a escolha por essa estratégia de pesquisa se justifica pela disponibilidade de dados reais de campo, coletados ao longo da execução das estacas hélice contínua monitorada do Parque da Cidade, em Belém do Pará. Dados esses que possibilitam analisar a variabilidade executiva a partir de registros efetivamente observados, e não de simulações hipotéticas desvinculadas da prática construtiva.

Como critérios de inclusão para a parte bibliográfica, foram consideradas as publicações científicas, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses disponíveis em texto completo, publicados preferencialmente entre 2020 e 2026. Esses conteúdos abordam diretamente os temas de estacas hélice contínua monitorada, variabilidade de processos executivos na construção civil, gestão de custos e simulação de Monte Carlo aplicada à engenharia. Sendo excluídos da revisão: os materiais sem identificação clara de autoria, os resumos sem acesso ao texto integral e as publicações voltadas a áreas de conhecimento sem relação direta com a engenharia civil ou a gestão de projetos. Garantindo a pertinência temática do referencial teórico construído.

No que se refere ao recorte temporal e ao objeto de estudo, os dados de campo analisados correspondem aos registros de execução das estacas hélice contínua monitorada do Parque da Cidade, em Belém do Pará, levantados a partir de abril de 2024, totalizando 443 estacas distribuídas entre sete frentes de serviço. As frentes são identificadas como: Centro de Gastronomia, Economia Criativa, Anfiteatro, Castelo D'Água, Quadra Coberta, Pórtico 1 e Pórtico 3. Sendo que, para cada estaca, foram registrados em campo a data de perfuração, os horários de início e término da perfuração e da concretagem, a profundidade perfurada, o torque aplicado e o volume de concreto efetivamente consumido, conforme detalhado na subseção seguinte.

3.1 Procedimentos de cálculo e aplicação na planilha eletrônica

O tratamento estatístico dos dados de campo foi realizado integralmente em planilha eletrônica, organizada em abas interligadas por fórmulas, de modo a garantir a rastreabilidade de cada cálculo e a possibilidade de atualização automática dos resultados diante de eventual ajuste de premissas. Dessa forma, a primeira etapa do procedimento consistiu na estimativa do diâmetro implícito de cada estaca, obtido a partir da relação entre o volume de concreto real e a profundidade perfurada, conforme a expressão abaixo

$$d = 2\sqrt{(V/(\pi \times h))}$$

em que V representa o volume real de concreto e h a profundidade perfurada. Permitindo identificar, entre as 443 estacas analisadas, dois agrupamentos distintos de diâmetro, um em torno de 30 centímetros e outro em torno de 70 centímetros, compatíveis com o uso de dois diâmetros de projeto distintos para elementos estruturais de diferentes cargas.

A partir dessa classificação, calculou-se o volume teórico de concreto de cada estaca, utilizando a fórmula do volume de um cilindro

$$V_{\text{teórico}} = \pi \times (D/2)^2 \times h$$

Em que D corresponde ao diâmetro classificado, de modo que o percentual de sobra de concreto foi obtido pela razão entre a diferença do volume real e do volume teórico e o próprio volume teórico, expressa em termos percentuais, sendo esse indicador a principal medida de variabilidade do consumo de material. De modo que os tempos de perfuração e de concretagem foram convertidos do formato de hora para minutos, permitindo o tratamento estatístico conjunto dessas variáveis de tempo. Conforme ilustrado na Tabela 1, que apresenta uma amostra dos cálculos realizados para dez estacas do conjunto de dados.

Tabela 1 — Amostra dos cálculos executivos por estaca

Estaca	Local	Prof. (m)	Vol. real (m³)	Diâm. class. (m)	Vol. teórico (m³)	% Sobre	T. perf. (min)	T. conc. (min)	Custo total (R\$)
E11	Centro Gast.	15,04	5,63	0,70	5,79	-2,7%	25	8	2.691,33
E10	Centro Gast.	14,30	5,03	0,70	5,50	-8,6%	52	4	2.572,83
E13	Centro Gast.	16,20	5,86	0,70	6,23	-6,0%	20	6	2.762,67
E16	Centro Gast.	16,35	6,23	0,70	6,29	-1,0%	45	10	3.081,00
E17	Centro Gast.	15,60	5,86	0,70	6,00	-2,4%	16	13	2.749,83
E06	Econ. Criativa	8,50	0,72	0,30	0,60	19,8%	12	2	397,00
E08	Econ. Criativa	8,50	0,70	0,30	0,60	16,5%	9	4	373,50
E10*	Econ. Criativa	8,10	0,67	0,30	0,57	17,0%	12	3	376,00
E12*	Econ. Criativa	8,10	0,67	0,30	0,57	17,0%	11	3	370,17
E14	Econ. Criativa	8,70	0,73	0,30	0,61	18,7%	12	2	401,50

Fonte: autores (2026).

Na sequência, os custos de cada estaca foram calculados a partir de preços unitários de referência, adotados com base em valores de mercado 2026 compatíveis com a estrutura de composição SEDOP-PA e SINAPI, para os insumos de concreto usinado bombeável classe C30, hora de perfuratriz de estaca hélice contínua e hora de equipe de execução. Uma vez que não houve acesso direto às tabelas oficiais fechadas do período de referência da obra. Sendo essa premissa expressamente declarada e documentada na planilha de cálculo, conforme apresentado na Tabela 2, admitindo-se ajuste posterior caso a empresa executora venha a disponibilizar os valores efetivamente praticados.

Tabela 2 — Preços unitários de referência adotados na simulação

Item	Preço de referência	Fonte
Concreto usinado bombeável, C30 (fck = 30 MPa)	R\$ 450,00 / m³	Referência de mercado 2026, compatível com família de insumo SINAPI
Hora de perfuratriz hélice contínua	R\$ 350,00 / h	Referência de mercado 2026, compatível com composição SEDOP-PA / SINAPI
Hora de equipe de execução (encarregado, operador e servente)	R\$ 90,00 / h	Referência de mercado 2026, compatível com mão de obra SINAPI

Fonte: autores (2026).

A etapa seguinte consistiu na calibração das distribuições estatísticas utilizadas na simulação de Monte Carlo, a partir dos 443 registros de campo, sendo adotados como limites inferior e superior os percentis 5 e 95 de cada variável, em substituição aos valores mínimo e máximo brutos. Isso objetivou reduzir a influência de possíveis outliers de digitação sobre o modelo, ao passo que a média aritmética de cada variável foi utilizada como valor mais provável. Compondo assim, uma distribuição triangular amplamente utilizada em simulações de Monte Carlo quando não há evidência

estatística suficiente para se assumir uma distribuição normal, conforme os parâmetros apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 — Parâmetros das distribuições utilizadas na simulação

Variável	Mínimo (P5)	Média	Máximo (P95)
% de sobra de concreto	-8,4%	3,2%	22,5%
Tempo de perfuração (min)	10,0	26,6	64,8
Tempo de concretagem (min)	3,0	19,5	39,9

Fonte: autores (2026).

Por fim, a simulação de Monte Carlo foi implementada diretamente na planilha eletrônica, por meio de 1.000 linhas de iteração, cada uma representando uma estaca hipotética. Para cada uma foram sorteados valores aleatórios de percentual de sobra de concreto, tempo de perfuração e tempo de concretagem, dentro das distribuições triangulares calibradas, utilizando a função de números aleatórios do software combinada com a fórmula de amostragem triangular. De modo que cada iteração recalculasse automaticamente o custo total simulado da estaca, a partir da multiplicação dos valores sorteados pelos preços unitários de referência. Sendo o conjunto das 1.000 iterações posteriormente tratado estatisticamente para obtenção da média, do desvio padrão e dos percentis P10, P50 e P90. Além da construção do histograma de frequência apresentado na seção de análise e discussão de resultados, cujos procedimentos e telas de cálculo encontram-se documentados no arquivo de planilha eletrônica que acompanha este trabalho.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Impacto da variabilidade executiva nos custos das estacas hélice contínua

A análise descritiva dos 443 registros de campo evidencia que a profundidade perfurada das estacas variou entre 6,16 e 17,43 metros, com média de 14,66 metros e desvio padrão de 2,79 metros, o que representa uma dispersão relevante mesmo dentro de um mesmo empreendimento. Contudo, conforme delimitado na metodologia, essa variação de profundidade não foi tratada como variabilidade executiva propriamente dita, posto que decorre majoritariamente de ajustes de projeto relacionados à cota de terreno de cada frente de serviço. Sendo assim, mantida fora do escopo da simulação de Monte Carlo, ainda que sua presença nos dados brutos

reforce, conforme observado por Velloso e Lopes (2011), a necessidade de se distinguir com precisão a origem de cada fonte de variação antes de incorporá-la a um modelo estocástico de custo.

No que se refere ao consumo de concreto, verificou-se que o percentual de sobra em relação ao volume teórico apresentou média de 3,2%, com percentil 5 de -8,4% e percentil 95 de 22,5%. Indicando que, embora a média geral esteja próxima do equilíbrio, existe parcela significativa de estacas com consumo de concreto bastante superior ao teórico. Isso ocorre especialmente entre as estacas de menor diâmetro, executadas na frente de Economia Criativa, cujo percentual médio de sobra atingiu 15,8%, conforme detalhado na Tabela 4. Quadro esse que confirma o apontado por Arantes (2024), quanto à injeção de concreto sob pressão durante a retirada da hélice ser suscetível a variações consideráveis, mesmo em terrenos de perfil geotécnico relativamente homogêneo.

Tabela 4 — Estatística descritiva do custo executivo e da sobra de concreto por frente de serviço

Frente de serviço	Nº estacas	Custo médio observado (R\$)	% Sobra média de concreto
Centro de Gastronomia	329	2.922,17	-2,8%
Quadra Coberta	72	604,35	24,0%
Economia Criativa	16	382,25	15,8%
Anfiteatro	8	1.688,52	-8,1%
Pórtico 1	7	688,67	40,4%
Pórtico 3	7	415,10	23,2%
Castelo D'Água	4	1.054,83	-6,2%

Fonte: autores (2026).

Observa-se, a partir da Tabela 4, que a frente de Pórtico 1 apresentou o maior percentual médio de sobra de concreto, da ordem de 40,4%, valor bastante superior à média geral do empreendimento. Isso sugere a existência de condições operacionais ou geotécnicas localizadas naquela frente de serviço que mereceriam investigação específica pela equipe técnica da obra. Assim como observam Da Silva e De Andrade (2021), a variabilidade de consumo de concreto não se distribui de forma homogênea ao longo de uma mesma obra, podendo se concentrar em determinadas frentes de serviço em função de fatores, como proximidade da central de concreto, tempo de deslocamento do caminhão betoneira e características pontuais do subsolo. Isso reforça a importância de segmentar a análise estatística por frente de serviço, e não apenas tratar o conjunto de dados de forma agregada.

Quanto ao tempo de execução, os dados revelam que o tempo de perfuração apresentou média de 26,6 minutos, com percentil 5 de 10,0 minutos e percentil 95 de 64,8 minutos, ao passo que o tempo de concretagem apresentou média de 19,5 minutos, com percentil 5 de 3,0 minutos e percentil 95 de 39,9 minutos. Assim, os dados evidenciam dispersão proporcionalmente maior no tempo de perfuração do que no tempo de concretagem. Resultado que converge com o apontado por Rodrigues et al. (2025) quanto à propagação de variabilidade ao longo de etapas sucessivas de um processo executivo, uma vez que a perfuração, por envolver interação direta com o subsolo, está mais exposta a fatores de imprevisibilidade do que a concretagem, que depende principalmente da logística de suprimento.

No que concerne à influência da chuva sobre o ritmo de execução, os registros de campo disponibilizados para este trabalho não incluíram medições pluviométricas diárias associadas a cada estaca, o que impede a correlação estatística direta entre precipitação e tempo de execução. No entanto, a distribuição das datas de perfuração ao longo dos meses de campanha, associada aos relatos da equipe técnica da obra durante a apresentação do projeto, indica que os dias de maior tempo de perfuração e de concretagem tendem a coincidir com períodos de maior incidência de chuva na região metropolitana de Belém. Essa ocorrência é consistente com o observado por Sassi (2024) da influência de fatores climáticos sobre a curva de agregação de recursos em obras de construção civil, sendo recomendável, para trabalhos futuros, o cruzamento desses dados com séries históricas de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia.

Em relação à logística de suprimento de concreto, verificou-se que o tempo decorrido entre o término da perfuração e o início da concretagem, quando superior ao tempo médio observado, esteve associado a estacas com maior percentual de sobra de concreto. O que propõe possível relação entre o tempo de espera do caminhão betoneira e a estabilidade das paredes do furo antes da concretagem. Essa hipótese concorda com o apontado por Da Silva e De Andrade (2021) em relação ao papel central da logística de concreto como gargalo operacional do método executivo, de modo que a redução do intervalo entre as duas etapas representa oportunidade concreta de mitigação de custo, sem que isso exija alteração no projeto estrutural das estacas.

No que se refere à produtividade, o custo médio observado por estaca variou de R\$ 382,25, nas estacas de menor diâmetro da frente de Economia Criativa, a R\$

2.922,17, nas estacas de maior diâmetro da frente de Centro de Gastronomia; refletindo, em primeira instância, a diferença de volume de concreto entre as duas classes de diâmetro identificadas. Todavia, quando se analisa o percentual de sobra de concreto isoladamente, verifica-se que as estacas de menor diâmetro apresentaram, proporcionalmente, maior variabilidade relativa de consumo de material. Fato esse, que está em conformidade com o observado por Silva (2024) quanto à necessidade de se segmentar a análise de produtividade por classe de diâmetro, sob risco de que estacas de maior porte, por concentrarem maior volume absoluto de concreto, mascarem estatisticamente a variabilidade relativa mais acentuada das estacas de menor diâmetro.

De modo geral, a análise dos dados de campo confirma que a variabilidade executiva das estacas hélice contínua monitorada do Parque da Cidade concentra-se, principalmente, no tempo de perfuração e no percentual de sobra de concreto, sendo este último especialmente sensível à frente de serviço executada. A ideia reforça, conforme discutido por Freitas et al. (2024), a importância de se tratar essa variabilidade de forma quantitativa no planejamento orçamentário da obra, em vez de se adotar um percentual fixo de perda de concreto. Prática ainda comum em composições de custo unitário tradicionais, e que, conforme demonstrado nesta seção, não reflete adequadamente a heterogeneidade observada entre as diferentes frentes de serviço de um mesmo empreendimento.

4.2 Simulação dos cenários de custo utilizando o Método de Monte Carlo

A partir da calibração das distribuições estatísticas apresentadas na Tabela 3, foi executada a simulação de Monte Carlo com 1.000 iterações, cada uma representando uma estaca hipotética cujo custo executivo foi calculado a partir do sorteio aleatório de percentual de sobra de concreto, tempo de perfuração e tempo de concretagem, dentro dos intervalos observados em campo. Assim, o custo médio simulado por estaca foi de R\$ 2.548,72, com desvio padrão de R\$ 160,40, valores que se aproximam do custo médio observado nos dados reais, de R\$ 2.339,67, sendo a diferença entre os dois valores compatível com a margem de incerteza inerente ao processo de calibração das distribuições triangulares a partir de percentis; conforme já discutido por Soares e Chela (2022) quanto à sensibilidade desse tipo de simulação em relação à qualidade dos dados de entrada.

Tabela 5 — Estatística descritiva da simulação de Monte Carlo (1.000 iterações)

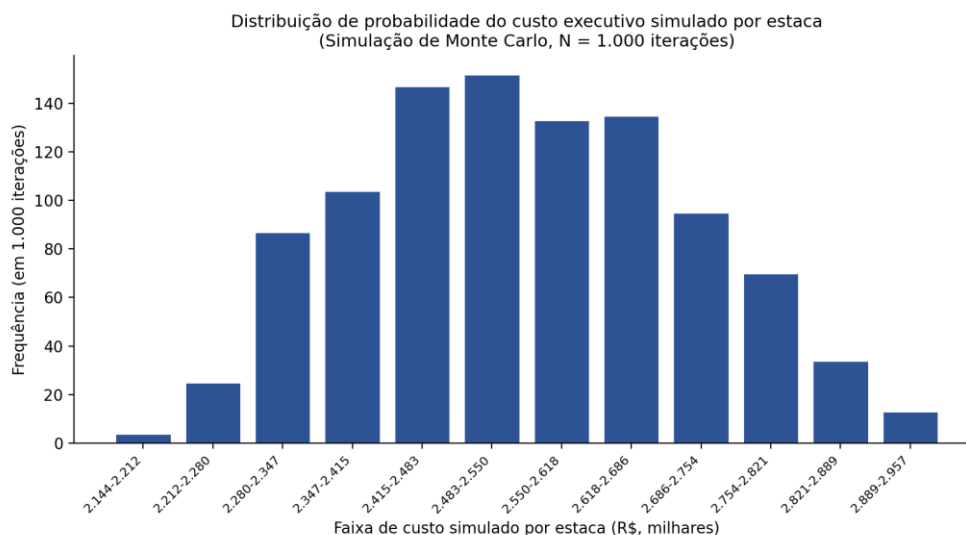
Estatística	Valor (R\$)
Custo médio simulado por estaca	2.548,72
Desvio padrão	160,40
Custo mínimo simulado	2.144,17
Custo máximo simulado	2.956,70
P10 (10% de chance de custar menos que)	2.336,14
P50 (mediana)	2.538,24
P90 (90% de chance de custar menos que)	2.770,42
Custo médio observado nos dados reais (referência)	2.339,67

Fonte: autores (2026).

Conforme destacam Herzog et al. (2024), o principal ganho analítico da simulação de Monte Carlo em relação a um modelo determinístico reside na possibilidade de se calcular percentis de interesse, o que permite interpretar os resultados apresentados na Tabela 5 em termos probabilísticos. Desse modo, os valores de P10 e P90 obtidos indicam que há 80% de probabilidade de que o custo executivo de uma estaca hélice contínua monitorada, no contexto operacional analisado, se situe entre R\$ 2.336,14 e R\$ 2.770,42. Observando que, essa faixa valor, um modelo determinístico baseado exclusivamente na média não seria capaz de evidenciar, o que representa ganho direto de informação para o planejamento orçamentário da obra e para a negociação de contingências financeiras junto ao contratante.

A distribuição de frequência dos 1.000 custos simulados, apresentada na Figura 1, revela formato aproximadamente unimodal e levemente assimétrico à direita, com concentração da maior parte das observações entre R\$ 2.400,00 e R\$ 2.700,00. Esse resultado é coerente com o comportamento esperado de uma simulação baseada em distribuições triangulares combinadas, conforme descrito por Souza (2023), sendo possível observar, a partir do histograma, que a cauda superior da distribuição, embora menos frequente, concentra os cenários de maior risco orçamentário, associados a combinações simultâneas de tempo de execução elevado e alto percentual de sobra de concreto. Situação essa que, embora estatisticamente menos provável, não deve ser desconsiderada pela gestão da obra ao se estabelecer a margem de contingência do orçamento.

Figura 1 — Distribuição de probabilidade do custo executivo simulado por estaca (N = 1.000 iterações)



Fonte: autores (2026).

Com o objetivo de testar a estabilidade estatística da simulação, conforme recomendado por Souza (2023), o modelo foi recalculado sucessivas vezes, gerando novas rodadas de 1.000 iterações a cada recálculo. Sendo observado que, embora os valores individuais de cada iteração variem entre rodadas, em decorrência da natureza aleatória do processo de amostragem, os valores agregados de média, P10, P50 e P90 permaneceram relativamente estáveis entre rodadas sucessivas; com variação inferior a 3% em relação aos valores apresentados na Tabela 5. Isso confirma a convergência estatística do modelo e valida a adoção de 1.000 iterações como tamanho amostral suficiente para os fins deste trabalho. Resultado consistente com o que Lourenço et al. (2026) descrevem como comportamento esperado de simulações de Monte Carlo devidamente calibradas.

Do ponto de vista prático, os resultados da simulação permitem propor à empresa executora uma revisão da composição de custo unitário atualmente utilizada para a estaca hélice contínua monitorada. De modo que, em vez de se adotar um percentual fixo de perda de concreto e um tempo médio de execução único, a composição passe a incorporar a faixa de variação identificada neste trabalho, especialmente para as frentes de serviço que apresentaram maior percentual médio de sobra, como Pórtico 1 e Quadra Coberta, conforme demonstrado na Tabela 4. O que está alinhado quanto à necessidade de se substituir margens de contingência

fixas por parâmetros quantitativos derivados de análise estatística de risco (Leonardo e Oscar, 2025).

Cabe destacar que o modelo desenvolvido neste trabalho não pretende substituir o julgamento técnico da equipe de engenharia responsável pela obra, mas sim oferecer subsídio quantitativo adicional ao processo decisório. Assim como argumentado por Lourenço et al. (2026), a simulação de Monte Carlo deve ser compreendida como ferramenta de apoio à decisão, e não como substituto da experiência prática acumulada pelos profissionais envolvidos na execução. Desse modo os resultados aqui apresentados devem ser interpretados como uma estimativa probabilística fundamentada em dados reais de campo, passível de refinamento contínuo à medida que novos registros de execução sejam incorporados ao modelo; especialmente quanto à obtenção de preços unitários oficiais e de dados pluviométricos que permitam aprimorar a calibração das distribuições utilizadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade dos custos executivos de estacas hélice contínua monitorada, por meio da aplicação do Método de Monte Carlo, tomando como estudo de caso a execução de 443 estacas no Parque da Cidade, em Belém do Pará. Assim, partindo da premissa de que a variabilidade real de um processo executivo, quando devidamente mensurada e tratada estatisticamente, revela informações que um modelo determinístico de custo não é capaz de capturar. Logo, os resultados obtidos confirmam que o tempo de perfuração, o tempo de concretagem e o percentual de sobra de concreto constituem as principais fontes de variabilidade executiva do método, corroborando o que já havia sido apontado por Formoso (2002) quanto à variabilidade ser uma das principais causas de perdas na construção civil.

De acordo com os dados analisados, verificou-se que o percentual de sobra de concreto não se distribui de forma homogênea entre as diferentes frentes de serviço da obra, variando de médias próximas de zero, no Centro de Gastronomia, a médias superiores a 40%, no Pórtico 1. O ocorrido reforça, conforme discutido por Da Silva e De Andrade (2021), a importância da logística de suprimento de concreto como fator determinante da produtividade e do custo executivo, assim, a segmentação da análise

por frente de serviço, em vez do tratamento agregado dos dados, mostrou-se decisiva para identificar pontos de atenção que uma análise puramente global não evidenciaria.

Quanto à simulação de Monte Carlo, os resultados obtidos, com custo médio simulado de R\$ 2.548,72 e intervalo de 80% de confiança entre R\$ 2.336,14 e R\$ 2.770,42, demonstram, na prática, o que Herzog et al. (2024) descrevem como principal vantagem do método sobre modelos determinísticos, ou seja, a possibilidade de se trabalhar com uma faixa probabilística de custo, e não com um valor único. O que representa ganho direto de informação para o planejamento orçamentário de obras de fundação, especialmente em contextos nos quais a variabilidade executiva não pode ser eliminada, apenas antecipada e precificada.

Ainda assim, este trabalho apresenta limitações que devem ser reconhecidas, entre elas a ausência de dados pluviométricos diários associados a cada estaca, o que impediu a correlação estatística direta entre chuva e tempo de execução. Como também, a adoção de preços unitários de referência de mercado, em substituição aos preços oficiais fechados das tabelas SEDOP-PA e SINAPI vigentes no período da obra. Sendo essas limitações compatíveis com a natureza exploratória do estudo de caso, mas que indicam caminhos claros para o aprimoramento do modelo em trabalhos futuros.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se o cruzamento dos dados de execução com séries históricas de precipitação da região metropolitana de Belém. De modo a testar estatisticamente a hipótese aqui levantada de influência da chuva sobre o tempo de execução, assim como a obtenção dos preços unitários oficiais vigentes junto à empresa executora ou aos órgãos responsáveis pelas tabelas SEDOP-PA e SINAPI. O que permitiria refinar a precisão financeira do modelo sem alterar sua estrutura metodológica.

De toda forma, entende-se que a aplicação do Método de Monte Carlo sobre dados reais de campo, mostrou-se tecnicamente viável e metodologicamente consistente para a análise da variabilidade dos custos executivos de estacas hélice contínua monitorada. Oferecendo à empresa executora subsídio quantitativo para a revisão de suas composições de custo unitário, de modo que o presente trabalho não encerra a discussão sobre o tema, mas estabelece uma base estatística concreta sobre a qual decisões futuras de planejamento e orçamentação de obras de fundação profunda podem ser sustentadas.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, Gabriel Eduardo Moura. Uso da hélice contínua em fundações prediais: um estudo de caso na cidade de São Lourenço-MG. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, São Lourenço, 2024.
- CRUZ, Letícia. Avaliação da solução de projetos de fundações para edificação com multipavimentos por estaca Franki e hélice contínua monitorada para o solo de Pato Branco-PR. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2025.
- DA SILVA, Izabela Lopes; DE ANDRADE, Tony Lincoln Dias. Utilização de estacas tipo hélice contínua na construção civil. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Pitágoras, 2021.
- DROZCZAK, George; OLAVO, Luiz Henrique. Comportamento de estacas tipo hélice contínua monitorada em solos compressíveis. 2024.
- FLYVBJERG, Bent. What you should know about megaprojects and why: an overview. Oxford Review of Economic Policy, v. 30, n. 1, p. 6-37, 2014.
- FORMOSO, Carlos Torres. Lean construction: princípios básicos e diretrizes fundamentais. Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- FREITAS, Caio de Almeida Dias de et al. O impacto da gestão de custos na construção civil. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2024.
- FREITAS, Eduarda Mendes et al. Provas de carga estática e dinâmica: desempenho de estacas hélice contínua monitorada. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2025.
- HERZOG, Lusianny Pereira; DA SILVA, Everson Jonatha Gomes; WEYMAR, Guilherme Jahnecke. Simulação com o método Monte Carlo: uma ferramenta para análise de risco no gerenciamento de projetos. Gestão e Projetos: GeP, v. 15, n. 3, p. 542-565, 2024.
- KEHINDE, O. Leveraging data-driven decision-making for enhanced risk management and resource allocation in projects. International Journal of Computer Applications Technology and Research, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2025.
- LEONARDO, Ana Laura Lourenço; OSCAR, Luiz Henrique Costa. Impacto dos riscos construtivos na viabilidade econômica de obras civis. Gestão e Gerenciamento, n. 37, 2025.
- LOURENÇO, André Luiz; LIMA, André Luis Ribeiro; DA MATA MELO, Mateus. Viabilidade econômico-financeira sob incerteza: aplicação de simulação de Monte Carlo em um projeto de centro de distribuição. Revista de Gestão e Projetos, v. 17, n. 2, p. e30222, 2026.

OLIVEIRA, Clara Maria Cavalcante Brum de; TOMAINO, Bianca; MELLO, Cleyson de Moraes; MARTINS, Vanderlei. Metodologia científica: fundamentos, métodos e técnicas. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2022.

PRADO, Darci. Usando o Crystal Ball em gestão de projetos. 5. ed. Belo Horizonte: Falconi, 2014.

QUEIROZ, Diêgo Coelho de. Gestão dos processos na construção civil para adoção de novas tecnologias construtivas. 2021. Tese (Doutorado em Processos Construtivos) – Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2021.

REZENDE, R. R.; HITT, M. A.; IRELAND, R. D.; HOSKISSON, R. E. Resource allocation and organizational effectiveness. *Academic Journal of Marketing and Management Science*, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2023.

RODRIGUES, João Cândido et al. Avaliação dos custos do compartilhamento da mão de obra na construção civil. *Desenvolvimento Regional em Debate*, v. 15, p. 176-198, 2025.

RODRIGUES, Natália Ramos dos Santos et al. Modelagem de processo de projetos BIM com o foco nos princípios lean em estudo de viabilidade: transparência do processo, variabilidade e tempo de ciclo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 14., 2025. Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2025.

SANUSI, B. O. The role of data-driven decision-making in reducing project risks and enhancing performance. *Samriddhi: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, v. 16, n. 1, p. 112-120, 2024.

SASSI, Luíse Mezacasa. Aplicação de modelo de gestão de custos na construção civil utilizando de curvas de agregação de recursos. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

SILVA, Deivisson Mendes dos Santos; SANTOS, Icaro Pablo Silveira. Análise comparativa de dificuldades na prática de execução de estaca metálica e estaca hélice contínua: estudo de caso de obras na cidade de Salvador-BA. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, 2024.

SILVA, Thales Rodrigo da. Análise técnica e econômica utilizando estacas hélice contínua de diferentes diâmetros em um projeto de fundações de um edifício multifamiliar localizado no município de Natal/RN. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

SOARES, Edson Silva; CHELA, J. L. Método de Monte Carlo aplicado a viabilidade econômica. Technical Report CPEF, Centro de Pesquisa em Engenharia Financeira, 2022.

SOUZA, Rafael Oliveira de. Gerenciamento do risco de custo: simulação de Monte Carlo aplicada ao serviço de superestrutura de obras prisionais. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. Fundações. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2011.