

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO – UNIBRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FÁBIO CESAR CABRAL
JAMILLE HELNI MENEZES CABRAL DA SILVA
JOSENILDO GOMES DO PRADO JÚNIOR

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DE
ESCORAMENTO METÁLICO: ESTUDO DE CASO NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM
PERNAMBUCO**

RECIFE/2025

**FÁBIO CESAR CABRAL
JAMILLE HELNI MENEZES CABRAL DA SILVA
JOSENILDO GOMES DO PRADO JÚNIOR**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DE
ESCORAMENTO METÁLICO: ESTUDO DE CASO NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM
PERNAMBUCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC I do Curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Brasileiro UNIBRA,
como parte dos requisitos para conclusão do
curso.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Carolina de Lima
França

RECIFE
2025

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Laís Cardoso, CRB-4/PE-1753/P.

C117a Cabral, Fábio Cesar.
Análise de desempenho e sustentabilidade de escoramento
metálico: estudo de caso na estação de tratamento de esgoto em
Pernambuco / Fábio Cesar Cabral, Jamille Helni Menezes Cabral da
Silva, Josenildo Gomes do Prado Júnior. - Recife: Edição do autor,
2025.
36 p. : il. color.

Orientador(a): Dra. Carolina de Lima França.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Brasileiro – Unibra. Bacharelado em Engenharia Civil,
2025.

Inclui Bibliografia.

Inclui Fotografia.

1. Escoamento metálico. 2. Construção civil. 3. Sustentabilidade.
4. Estruturas mistas. 5. Normas Técnicas. I. Silva, Jamille Helni
Menezes Cabral da. II. Prado Júnior, Josenildo Gomes do. III.
Centro Universitário Brasileiro - Unibra. VI. Título.

CDU: 624

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DE
ESCORAMENTO METÁLICO: ESTUDO DE CASO NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM
PERNAMBUCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC I do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Examinadores:

Orientador

Examinador 1

Examinador 2

Nota: _____

Data: _/_____/

Este trabalho é dedicado primeiramente às nossas famílias, pelo apoio incondicional, amor e paciência durante todos os anos de estudo e, especialmente, durante a elaboração deste projeto. Sem o seu incentivo, esta conquista não seria possível. De forma especial, dedicamos aos nossos orientadores, Prof. Me. Rodrigo Santos de Oliveira e Prof^a Dra. Carolina de Lima França, cuja sabedoria, disponibilidade e orientação foram fundamentais para a conclusão desta jornada. Por fim, um agradecimento à amizade e à parceria que nos fortaleceu mutuamente nos momentos de desafio e de celebração.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi um grande desafio, repleto de aprendizados, superações e conquistas. Este trabalho de conclusão de curso marca o encerramento uma marca fundamental da vida acadêmica, e não poderiam deixar de expressar nossa gratidão a todos que, de alguma forma, atribuíram dessa jornada.

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos conceder forças nos momentos de dificuldade e iluminar nossos caminhos.

Aos nossos professores, que foram verdadeiros mentores ao longo do curso de Engenharia. Cada aula, orientação e palavra de incentivo foi essencial para formação acadêmica e profissional. Em especial, agradeço a professora orientadora, por sua paciência, dedicação e valiosas contribuições durante a realização do trabalho.

Aos colegas e amigos que caminharam ao nosso lado durante anos, dividindo dúvidas, conhecimentos, noites sem dormir e momentos de descontração. A troca de experiências com vocês tornou essa trajetória mais leve e enriquecedora.

Às nossas famílias, nosso porto seguro, por todo amor, apoio incondicional e por acreditarem mesmo em momentos duvidosos. Sem vocês, nada seria possível.

E a todos que contribuíram diretamente e indiretamente, fizeram parte dessa caminhada, deixamos nosso maior agradecimento.

Muito obrigado!

"A função da engenharia é prever comportamento das estruturas antes que elas sejam construídas."
James Kip Finch

RESUMO

A crescente demanda por soluções construtivas mais seguras, eficientes e sustentáveis tem impulsionado a adoção de novas tecnologias na construção civil, especialmente em obras de infraestrutura sanitária. Nesse contexto, o escoramento metálico surge como uma alternativa promissora ao sistema convencional de madeira, oferecendo ganhos técnicos, operacionais e ambientais. Este trabalho teve como objetivo analisar a aplicação de escoramentos metálicos provisórios na construção civil, com foco em obras de infraestrutura sanitária, como estações de tratamento de esgoto. A pesquisa parte da necessidade de soluções mais seguras, sustentáveis e eficientes para o suporte temporário de estruturas de concreto, diante dos desafios impostos pelo uso tradicional de escoramentos em madeira, como baixa durabilidade, maior risco de acidentes e impacto ambiental negativo. A partir do estudo de caso, revisão teórica, análise normativa, o estudo explora os conceitos fundamentais de escoramento metálico, o comportamento do empuxo do concreto fresco sobre as fôrmas, a classificação dos sistemas metálicos disponíveis no mercado, e a importância do reescoramento durante o processo de cura, o custo e desempenho estrutural. Além dos aspectos técnicos, o estudo enfatizou o papel das normas regulatórias como a NBR 15696:2009, a NR-18 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos na garantia da segurança, eficiência e responsabilidade ambiental na execução do escoramento. A pesquisa conclui que o uso de escoramentos metálicos representa uma evolução significativa na engenharia de estruturas temporárias, contribuindo para a modernização dos canteiros de obras e para práticas construtivas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Escoramento metálico; construção civil; sustentabilidade; estruturas mistas; normas técnicas.

ABSTRACT

The growing demand for safer, more efficient, and sustainable construction solutions has driven the adoption of new technologies in civil construction, especially in sanitary infrastructure projects. In this context, metal shoring emerges as a promising alternative to conventional wood systems, offering technical, operational, and environmental benefits. This work aimed to analyze the application of temporary metal shoring in civil construction, focusing on sanitary infrastructure projects, such as sewage treatment plants. The research stems from the need for safer, more sustainable, and efficient solutions for the temporary support of concrete structures, given the challenges posed by the traditional use of wood shoring, such as low durability, higher risk of accidents, and negative environmental impact. Based on a theoretical review and normative analysis, the study explores the fundamental concepts of metal shoring, the behavior of fresh concrete pressure on forms, the classification of metal systems available on the market, and the importance of re-shoring during the curing process. It also addresses cost and structural performance. In addition to technical aspects, the study emphasized the role of regulatory standards such as NBR 15696:2009, NR-18, and the National Solid Waste Policy in ensuring safety, efficiency, and environmental responsibility in shoring execution. The research concludes that the use of metal shoring represents a significant evolution in temporary structure engineering, contributing to the modernization of construction sites and more sustainable construction practices.

Keywords: Metal shoring; civil construction; sustainability; mixed structures; technical standards.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Escoramento metálico S5.....	14
Figura 2 - Escoramento metálico para concretagem de laje de fundo do desarenador elemento estrutural da estação de tratamento de esgoto	16
Figura 3 - Escoramento metálico do projeto de escoramento para concretagem da laje de fundo do desarenador, elemento estrutural da estação de tratamento de esgoto	17
Figura 4 - Localização de Recife-PE	19
Figura 5 - Projeto de demonstração de montagem do sistema S5 para o tanque desarenador	19
Figura 6 - Projeto o sistema S5, adotado	20
Figura 7 - Perfil hidráulico da Ete Cordeiro	21
Figura 8 - Planta geral da estação de tratamento de esgoto	21
Figura 9 - Montagem do sistema de escoramento metálico na ETE, Cordeiro	22
Figura 10 - Montagem do sistema de escoramento metálico e de madeira na ETE, Cordeiro	23
Figura 11 - Avaliação comparativa dos resíduos provenientes de escoramentos de madeira e metálicos na Ete Cordeiro	23
Figura 12 - Sistema de escoramento metálico na ETE Cordeiro	24
Figura 13 - Torres modulares	25
Figura 14 - Projeto técnico do desarenador da ETE	26

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - informações da obra	19
Tabela 2 - Indicadores de desempenho do escoramento metálico na obra da ETE Cordeiro	25
Tabela 3 - Informações da obra	27
Tabela 4 - Comparativo técnico e perceptivo entre escoramento metálico e convencional	28
Tabela 5 - Percepção dos profissionais na obra da ETE Cordeiro	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
NR 18	Norma Regulamentadora sobre condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção
NBR 15696	Norma Brasileira sobre fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto
PNRS	Política Nacional de Resíduos sólidos
S5	Sistema de Escoramento Metálico
ACI	American Concrete Institute (Instituto americano de concreto)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normalização)
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

Sumário

1 Introdução	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
2 Referencial Teórico	13
2.1 Conceitos sobre o escoramento metálico	13
2.2 Empuxo do concreto	14
2.3 Classificação dos sistemas de escoramento metálico	14
2.4 Importância do reescoramento	15
2.5 Estruturas metálicas x concreto armado: integração com escoramentos	15
2.6 Aspectos normativos, legais e de segurança no escoramento metálico	16
2.7 Sustentabilidade e Uso das Escoras Metálicas	16
3 Método de Pesquisa	17
3.1 Estudo de caso.....	18
4 Resultado e Discussões	20
4.1 Benefícios ambientais e eficiência energética	21
4.2 Definição e tipos de escoramentos metálicos	23
4.3 Avaliação do desempenho estrutural do escoramento metálico	24
4.4 Conformidade normativa e segurança operacional	26
4.5 Soluções técnicas adotadas para superação dos desafios geotécnicos e logísticos específico do terreno da ETE Cordeiro	27
4.6 Percepção dos profissionais e impacto operacional	27
5 Conclusão	29
Referências.....	30
Anexo A- Projeto Estrutural da ETE Cordeiro do Escoramento Metálico	32
Anexo B- Projeto do Executivo, Planta de cobertura e detalhes do tanque desarenador.....	34
Anexo C- Projeto Arquitetônico da ETE Cordeiro. (Distribuição geral da estação, layout das unidades, acessos e organização funcional da instalação, representações gráficas da posição da ETE no terreno, vias de acesso e delimitação da área de intervenção)	35

1 Introdução

A construção civil é essencial para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil, impulsionando a funcionalidade urbana, a qualidade de vida e a economia regional^{1,2}. Nesse cenário, o saneamento básico é um segmento prioritário, e as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são cruciais para a saúde pública e a proteção ambiental^{3,4}. A promulgação do Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) estabeleceu diretrizes para o setor, visando a universalização da oferta dos serviços até o ano de 2033^{5,6}. O presente trabalho se insere neste panorama de modernização. A execução de obras complexas de infraestrutura sanitária exige a substituição de métodos construtivos tradicionais. O escoramento em madeira, embora amplamente empregado, apresenta desvantagens significativas, como: baixa vida útil, descarte frequente, resistência limitada à compressão e impacto ambiental negativo⁷⁻⁹. Em contraste, o escoramento metálico surge como uma alternativa técnica e ecológica superior, pois promove maior segurança, permite o reuso contínuo e contribui para a diminuição da quantidade de resíduos^{10,11}.

A proposta consiste em estudar a aplicação e o desempenho do escoramento metálico na construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cordeiro, localizada em Recife, Pernambuco. A ETE Cordeiro é um projeto de grande porte que envolve a execução de estruturas complexas de concreto armado, como gradeamento, desarenador e decantadores, em um ambiente desafiador devido ao alto nível do lençol freático e à localização urbana¹²⁻¹⁴. A principal questão que fundamenta esta pesquisa é a insuficiência de estudos que promovam a integração dos aspectos técnicos, normativos e de sustentabilidade no uso do escoramento metálico em obras de saneamento¹⁵. A literatura atual aborda esses elementos de forma isolada, não contemplando a complexidade dos projetos como as ETEs.

A importância deste estudo se manifesta na análise de soluções que atendem aos desafios técnicos e ambientais da obra. O sistema metálico adotado no canteiro, com torres ajustáveis do tipo S5¹⁶, permitiu que fossem aplicados controles rigorosos de execução. Por exemplo, a concretagem da laje de fundo do desarenador foi realizada com controle de pressão, utilizando uma velocidade específica de 1 m³/hora e seguindo as diretrizes da NBR 15696:2009. O monitoramento do processo demonstrou o rigor técnico, com a pressão máxima registrada de 8 kN/M² dentro dos limites esperados. O cumprimento dos requisitos normativos de segurança, incluindo a manutenção de 100% das escoras por 28 dias e a retirada após testes de resistência como a esclerometria¹⁸, e o seguimento das regras da NR-18:2020 com inspeções diárias²¹, reforçam a importância do desempenho estrutural.

Em termos de sustentabilidade, o estudo demonstra o potencial de modernização dos métodos construtivos, que ainda empregam tecnologias antigas¹⁹. O sistema metálico utilizado proporcionou uma diminuição de 85% na produção de lixo sólido em comparação com o uso de madeira para escoramento⁶. Essa redução, combinada com a criação de um programa de gerenciamento de resíduos de metal focado na reutilização e reciclagem¹⁰, alinha a obra às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos²⁰. Assim, o estudo fornece suporte técnico a engenheiros, gestores e tomadores de decisão, validando o uso de tecnologias que garantem alto desempenho técnico, segurança e responsabilidade ambiental na execução de grandes estruturas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral do presente trabalho, é demonstrar o desempenho técnico, estrutural e a viabilidade sustentável do sistema de escoramento metálico na construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETES), utilizando um estudo de caso em Pernambuco como referência para a modernização de obras da infraestrutura sanitária.

1.1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Informar vantagens e benefícios ambientais no uso de escoramento metálico;
- Apresentar alguns tipos de escoramentos metálicos e suas definições;
- Avaliar o desempenho estrutural do sistema de escoramento metálico;
- Verificar a conformidade normativa da aplicação do escoramento metálico e quantificar os benefícios ambientais do sistema metálico;
- Documentar as soluções técnicas adotadas para superação dos desafios geotécnicos e logísticos específicos do terreno da ETE Cordeiro;
- Propor diretrizes para aplicação otimizada de escoramentos metálicos em obras de saneamento.

2 Referencial Teórico

2.1 Conceitos sobre o escoramento metálico

O escoramento metálico é uma estrutura provisória utilizada na construção civil para sustentar formas, assoalhos e concreto fresco durante a execução de elementos estruturais, como lajes, vigas e pilares. Sua principal função é resistir e transmitir às bases de apoio todas as cargas atuantes permanentes (peso próprio da superestrutura) ou variáveis (peso das fôrmas e do concreto ainda não curado) até que a estrutura atinja resistência suficiente para se manter de forma autônoma^{22,23}. A Figura 1 ilustra um exemplo prático de escoramento metálico aplicado à concretagem de laje de fundo do desarenador, elemento estrutural da estação de tratamento de esgoto, evidenciando sua importância na sustentação temporária durante o processo construtivo. A eficácia do escoramento depende diretamente da preparação da base de apoio. Recalques ou deformações no solo que podem comprometer a estabilidade, sendo recomendada a utilização de pisos de concreto, pranchões ou peças de madeira para regularizar o terreno e distribuir as cargas. Nas bases reguláveis e hastes ajustáveis permitem correções finas de nível, assegurando o alinhamento adequado da estrutura escorada²⁴. Além da correta preparação da base, a escolha do material do escoramento é crucial para a eficiência e sustentabilidade da obra.

Conforme a NBR 15696:2009, as estruturas metálicas de escoramento devem priorizar a reutilização e a sustentabilidade, visando maior durabilidade e reaproveitamento quando comparadas às estruturas em madeira. Essa prática contribui para a redução de resíduos na construção civil e está alinhada com os princípios da engenharia sustentável¹⁷. Somado às vantagens ambientais, o escoramento metálico oferece ganhos significativos em segurança e produtividade. Do ponto de vista técnico, as escoras metálicas podem apresentar até oito vezes mais eficiência que as de madeira, além de dispensarem mão de obra altamente especializada²⁵. Outro benefício é a facilidade de armazenamento, visto que um espaço de três metros quadrados pode comportar até 500 unidades²⁶. Por serem mais resistentes e modulares, as escoras metálicas promovem melhor organização do canteiro de obras, diminuem os riscos de acidentes e podem reduzir em até cinco vezes o tempo de execução das atividades quando comparadas às estruturas de madeira. Estas últimas demandam maior tempo de montagem e desmontagem, apresentam baixa resistência nas emendas e sofrem deformações quando expostas a variações climáticas²⁷.

Figura 1- Escoramento metálico S5

Fonte: Autoria própria (2024).

O emprego de escoras metálicas em obras também colabora para a diminuição da extração de recursos naturais, como a madeira. Produzidas em aço carbono, um material de elevada resistência e vida útil, essas estruturas substituem a madeira, garantindo maior eficiência ambiental. Além disso, os resíduos resultantes de seu processo de fabricação recebem tratamento adequado antes do descarte, o que reduz impactos ambientais negativos²⁸.

2.2 Empuxo do concreto

O empuxo do concreto corresponde à pressão lateral exercida pelo concreto fresco sobre as fôrmas. Diferente da pressão hidrostática convencional, ele varia conforme a consistência do concreto, a velocidade de concretagem, a altura da peça, a vibração e a temperatura. Esses fatores, explicitamente considerados em normas como a NBR 15696, são as variáveis do controle tecnológico do concreto. Outras normas internacionais, como a DIN 18.218:2010 (Alemanha) e a ACI 347:2014 (EUA), empregam modelos matemáticos semelhantes, focados na relação entre a velocidade de concretagem (R ou V) e o tempo de pega (T_p) ou temperatura (T) do concreto, frequentemente introduzindo coeficientes de correção que abordam o uso de aditivos e o tipo de vibração. Embora o presente trabalho não se aprofunde nas fórmulas dessas normas, a menção serve para reforçar que o controle desses fatores é uma prática universalmente reconhecida para garantir a estabilidade e a segurança das fôrmas. Também fornecem métodos de cálculo, sempre com o objetivo de garantir o correto dimensionamento das fôrmas e escoramentos, evitando falhas estruturais^{17,29,30}. De forma complementar, as análises de sistemas estruturais examinam o comportamento de ligações viga-pilar em estruturas pré-moldadas com conectores metálicos embutidos e destacaram que o uso de sistemas metálicos modulados de escoramento contribui para maior segurança e desempenho estrutural. Assim, a integração entre controle tecnológico do concreto e soluções metálicas de escoramento garante maior confiabilidade à execução de obras^{31,32}.

2.3 Classificação dos sistemas de escoramento metálico

O escoramento metálico pode ser classificado em diferentes tipologias, escolhidas de acordo com a altura, a carga e a geometria da estrutura^{16,33}:

- Torres metálicas modulares: compostas por montantes, triângulos de reforço, diagonais, consoles e barras de ligação, permitem montagem rápida, contraventamento eficiente e ajustes de altura. São indicadas para grandes alturas e lajes extensas;

- Escoramento tubular convencional: formado por tubos metálicos conectados por braçadeiras, apresenta flexibilidade de uso, mas exige mais tempo de montagem. Muito aplicado em obras de pequeno e médio porte;
- Escoramento tubular ajustável: composto por tubos com regulagem de altura (roscados ou com macacos), é ideal em terrenos com variações de nível, pois permite ajustes precisos. Além desses, podem ser incluídos acessórios como bases fixas, bases reguláveis, cabeçais, forçados, perfis metálicos e elementos de travamento, que garantem maior estabilidade e segurança¹⁰. A Figura 2 apresenta essa versatilidade fácil manuseio em pequenas áreas para estocagem e rapidez na montagem.

Figura 2– Escoramento metálico para concretagem de laje de fundo do desarenador elemento estrutural da estação de tratamento de esgoto



Fonte: Autoria própria (2024).

2.4 Importância do reescoramento

O reescoramento consiste em manter parte da estrutura de apoio após a retirada das fôrmas, assegurando que o concreto recém-executado continue sustentado durante o processo de cura. Essa prática é essencial para evitar fissuras, deformações ou colapsos prematuros, principalmente em obras com grandes áreas de laje³⁴. Pesquisas recentes apontam que o reescoramento, quando planejado em conjunto com o ciclo de concretagem e com acompanhamento do engenheiro calculista, reduz manifestações patológicas estruturais e aumenta a vida útil da edificação. Portanto, o reescoramento é a etapa final crítica de um sistema de escoramento bem projetado, assegurando a transição segura da carga da estrutura provisória para a estrutura definitiva³⁴.

2.5 Estruturas metálicas x concreto armado: integração com escoramentos

O uso de estruturas metálicas traz vantagens como rapidez de execução, leveza e sustentabilidade. Já o concreto armado se destaca pelo custo reduzido e resistência ao fogo. A união entre esses materiais, frequentemente potencializada pelo uso de escoramentos metálicos, resulta em sistemas construtivos mais eficientes. Estudos recentes demonstram que a velocidade de concretagem influencia diretamente a pressão lateral sobre as fôrmas. Na comparação de vigas mistas aço-concreto em pontes ferroviárias,

demonstra que a associação dos dois materiais resulta em maior eficiência estrutural e redução de custos^{1,31}. De forma complementar, Kataoka e Novischi⁴¹, analisaram ligações viga-pilar em estruturas de concreto pré-moldado com conectores metálicos embutidos, comprovando que a integração entre aço e concreto gera maior rigidez e confiabilidade no conjunto estrutural^{32,33}. Quando associados ao escoramento metálico multidirecional, esses sistemas mistos permitem maior eficiência construtiva, redução de prazos e melhor desempenho estrutural, uma vez que o escoramento fornece a sustentação precisa e confiável necessária durante a fase de cura do concreto.

2.6 Aspectos normativos, legais e de segurança no escoramento metálico

A utilização segura e eficiente de sistemas de escoramento metálico na construção civil exige o cumprimento legal e normativo. Este conjunto de regras, que vai desde decretos federais até normas técnicas específicas, tem como objetivo primordial garantir a segurança dos trabalhadores, a estabilidade da estrutura em construção e a conformidade ambiental da obra.

No Âmbito de segurança do trabalho, a NR-18:2022 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção) é fundamental. Seu item 18.7.4.1, estabelece a obrigatoriedade de projeto específico para escoramentos com altura superior a 3,0 metros, definindo a sequência de retirada das escoras. Este projeto deve ser assinado por profissional legalmente habilitado, e a norma ainda prevê inspeções regulares e treinamento adequado para a mão de obra envolvida^{21,34,35}. A força de lei dessa norma é conferida pela portaria n.º 3.214:1978³⁵. Do ponto de vista do projeto e da execução, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) oferece ao projetista o direcionamento preciso por meio da NBR 15696:2009 (Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto, de projeto, dimensionamento e procedimentos executivos). Esta norma detalha os critérios para dimensionamento, seleção de materiais, métodos de montagem e desmontagem, e condições de carga, servindo como um guia indispensável para engenheiros e projetistas¹⁷. Do ponto de vista ambiental e legal a política nacional de resíduos sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010), regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022, estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos resíduos. Em conjunto com a NR-18:2022, prevê a elaboração de planos de gestão de resíduos sólidos, incluindo a gestão dos resíduos da construção civil.

Juntos, estes instrumentos legais incentivam a adoção de práticas que minimizem a geração de resíduos, a PNRS favorece a adoção do escoramento metálico em detrimento de soluções descartáveis, alinhando assim a atividade construtiva aos princípios da sustentabilidade^{36,37}. Portanto, a correta aplicação desse conjunto normativo que integra decretos, leis e normas técnicas assegura que o escoramento metálico cumpra sua função temporária não apenas com eficiência estrutural, mas também com total segurança operacional e responsabilidade ambiental.

2.7 Sustentabilidade e uso das escoras metálicas

Além de contribuírem para a sustentabilidade, as escoras metálicas oferecem diversos benefícios para os canteiros de obras, desempenhando o importante papel de apoiar provisoriamente a construção, até que a estrutura tenha resistência suficiente para se sustentar²⁴. O escoramento metálico é uma das opções mais sustentáveis para o meio ambiente. Seu uso pode reduzir significativamente a exploração de recursos naturais, como a madeira, pois utiliza materiais de alta durabilidade e vida útil extensa, como o aço carbono, substituindo, muitas vezes, a madeira. Outro ponto que as torna mais sustentáveis é a possibilidade de serem recicladas após o fim de sua vida útil, reaproveitando os materiais e reduzindo significativamente o desperdício. Os resíduos gerados no processo de fabricação são devidamente tratados antes do descarte, minimizando o impacto da produção na natureza³⁸. Essa eficiência pode ser observada na Figura 3, que ilustra o escoramento metálico utilizado na concretagem da laje de fundo do desarenador, elemento estrutural da estação de tratamento de esgoto.

Figura 3 – Escoramento metálico do projeto de escoramento para concretagem da laje de fundo do desarenador, elemento estrutural da estação de tratamento de esgoto



Fonte: Autoria própria (2024).

As escoras de madeira têm sido amplamente utilizadas na construção civil devido ao baixo custo e fácil obtenção, porém apresentam limitações relacionadas à durabilidade e à baixa capacidade de reutilização. A degradação acelerada, decorrente da exposição ao ambiente e ao desgaste natural, reduz sua vida útil e aumenta a necessidade de reposição. Além disso, a madeira empregada em escoramentos tende a gerar maior volume de resíduos, especialmente porque muitos elementos não podem ser reutilizados em múltiplos ciclos de execução.

Em contraste, os sistemas de escoramento metálico têm ganhado destaque na engenharia devido à sua durabilidade e maior capacidade de reaproveitamento. Fabricados em aço e desenvolvidos para suportar repetidos ciclos de montagem e desmontagem, esses sistemas apresentam vida útil prolongada e oferecem desempenho superior quanto à estabilidade e precisão dimensional. A uniformidade das peças metálicas proporciona melhor controle geométrico das estruturas durante as fases de concretagem e cura. Os sistemas metálicos também se caracterizam por serem projetados de forma padronizada, o que facilita o processo de montagem e garante confiabilidade no suporte às cargas temporárias. De modo geral, a maior durabilidade, a padronização dos componentes e a capacidade de reutilização associam o escoramento metálico às práticas contemporâneas de modernização e industrialização da construção civil.

3 Método da Pesquisa

A metodologia utilizada para realizar este trabalho foi uma combinação entre uma pesquisa bibliográfica e um estudo de caso, relacionado a uma análise teórica e prática sobre o uso de escoramento metálico temporário na construção civil. Teoricamente, utilizamos como base livros, normas técnicas, artigos e relatórios técnicos relacionados ao tema, como objetivo de apresentar os conceitos de desempenho estrutural, sustentabilidade e segurança aplicados em obras de saneamento. A pesquisa de campo, conduzida por meio de análise técnica da execução do escoramento metálico utilizado na construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cordeiro, em Recife-PE, executada pela empresa contratada. A metodologia mista possibilita compreender os aspectos teóricos e os resultados práticos para a análise do sistema, avaliando a conformidade com as normas vigentes e os benefícios obtidos em comparação com o sistema de escoramento convencional de madeira.

3.1 Estudo de caso

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cordeiro, localizada na Rua Luiz Carlos Guilherme, no bairro do Cordeiro, Recife–PE, constitui uma obra de infraestrutura sanitária destinada ao tratamento físico e biológico de efluentes urbanos. O sistema é composto por unidades de gradeamento, desarenador, reator, filtro biológico, decantador, tanque de contato e lançamento final, conforme ilustrado na Figura 4. A instalação ocupa uma área aproximada de 18.000 m² e é executada em estrutura de concreto armado, utilizando escoramentos metálicos temporários nas etapas de concretagem das lajes de fundo e de cobertura. A obra integra o Programa de Saneamento Ambiental de Pernambuco e é conduzida pelo Consórcio ETE Cordeiro composta por duas empresas uma responsável pela execução civil e a outra responsável pela rede coletora adjacente. Com início em 2023, a estação terá capacidade de atender cerca de 120 mil habitantes ao final de sua implantação, prevista para 2026.

No âmbito deste trabalho, a ETE Cordeiro foi selecionada como objeto do estudo de caso por apresentar desafios característicos da engenharia de saneamento, envolvendo a necessidade de soluções estruturais seguras, reutilizáveis e compatíveis com práticas sustentáveis em um contexto urbano de elevada complexidade. O método de estudo de caso mostra-se adequado por permitir a observação direta do fenômeno em seu ambiente real, possibilitando a compreensão do comportamento e do desempenho do sistema de escoramento metálico empregado. Segundo Gil⁽³⁸⁾, essa abordagem é indicada quando se pretende analisar processos influenciados por variáveis técnicas, ambientais e operacionais. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas visitas técnicas, registros fotográficos, levantamentos de dados e consultas a documentos fornecidos pela empresa de engenharia responsável, incluindo projetos estruturais, memoriais descritivos e relatórios de execução. As informações coletadas foram confrontadas com normas vigentes aplicáveis ao escoramento temporário, como a NBR 15696:2009, a NBR 6118:2014 e a NR-18:2022, que estabelece diretrizes de segurança para estruturas provisórias na construção civil. Os materiais empregados no sistema incluem elementos em aço carbono ASTM A36 e ASTM A572 Grau 50.

Entre as alternativas disponíveis no mercado, foi selecionado o sistema de Escoramento Metálico Modular tipo S5, cuja escolha baseou-se em três critérios principais:

- Alta capacidade de carga, necessária para suportar os grandes volumes de concreto fresco utilizados nos tanques, reatores e decantadores da ETE;
- Modularidade e sistema com ajuste de nível, fundamentais para atender geometrias complexas e variações de altura, permitindo ajustes precisos em elementos que exigem rigor dimensional;
- Eficiência operacional, uma vez que o sistema S5 possibilita montagem e desmontagem rápidas, reduzindo o tempo de execução e contribuindo para maior segurança, conforme a NR-18:2022.

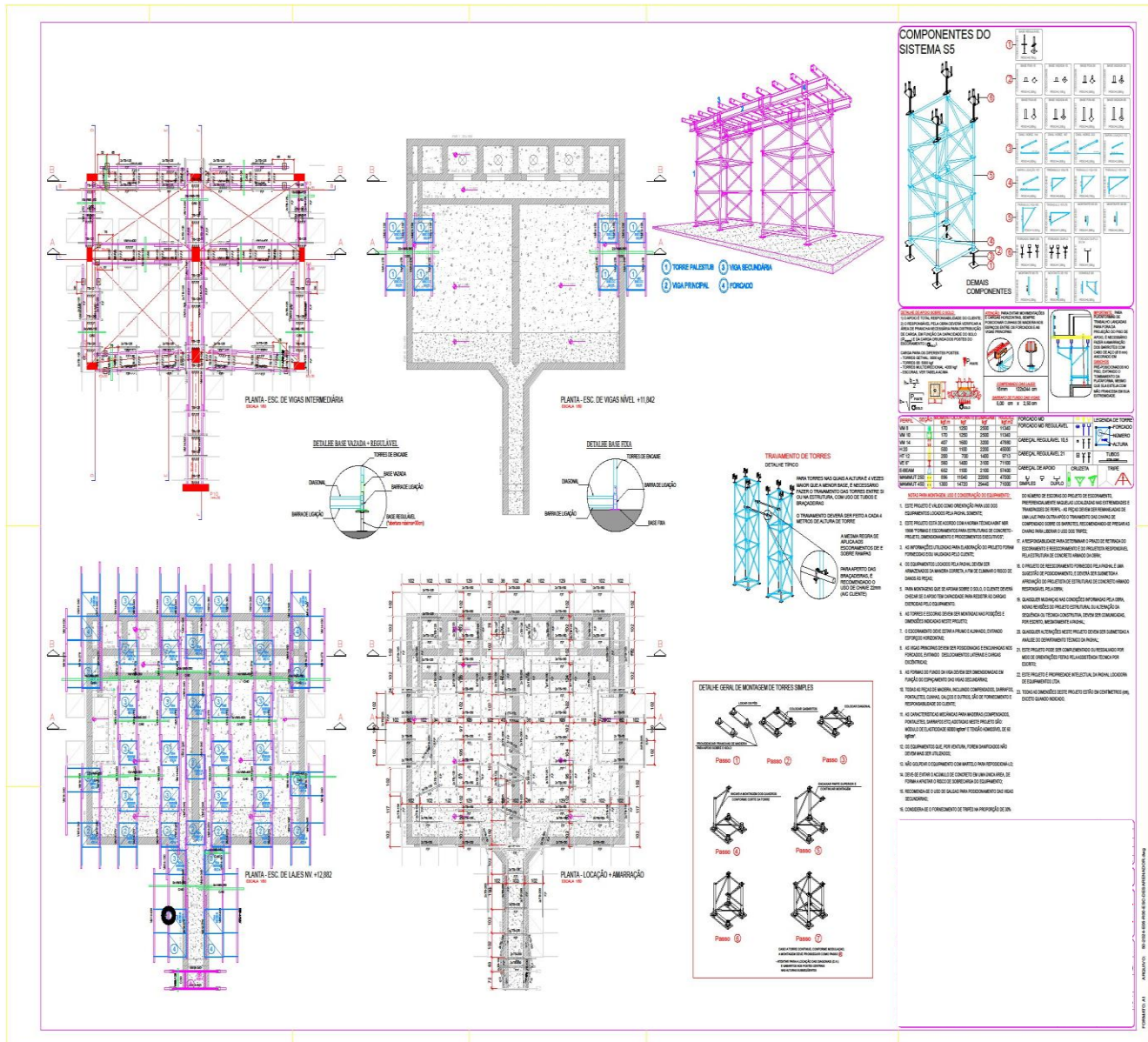
A Figura 5 apresenta o planejamento de montagem do sistema S5 no tanque de aeração, demonstrando a complexidade das estruturas temporárias necessárias e o rigor técnico adotado para garantir a segurança durante o controle de empuxos na concretagem. O estudo concentrou-se na avaliação do desempenho estrutural e da eficiência operacional do escoramento utilizado, considerando aspectos como empuxo do concreto fresco, estabilidade durante o lançamento, procedimentos de reescoramento, reaproveitamento dos componentes e impactos ambientais.

Condições geotécnicas adversas como lençol freático elevado e solos de baixa resistência foram tratadas com o uso de bases metálicas reguláveis e placas de apoio, garantindo estabilidade, nivelamento e segurança em todas as etapas de execução¹¹. A solução demonstrou elevada eficiência, atendendo às normas técnicas e contribuindo para a modernização e sustentabilidade do processo construtivo. A Figura 4 apresenta a planta geral da ETE, destacando as áreas onde o escoramento metálico temporário foi aplicado, especialmente nos tanques de aeração e nos decantadores circulares.

A escolha dessa obra possui características técnicas e ambientais complexas, envolvendo estruturas de grande porte, terreno com lençol freático elevado e condições urbanas restritas, fatores que exigiram soluções estruturais seguras e sustentáveis.

O escoramento metálico foi empregado em tanque de remoção de areia do efluente esse tanque é chamado de desarenador com dimensões de 12 m × 10 m e submetido a elevadas pressões de concretagem. Assim, como na Figura 6, em que o sistema adotado foi o sistema S5, permitindo controle preciso da pressão do concreto e estabilidade estrutural durante o processo construtivo e executivo.

Figura 6 – Projeto o sistema S5, adotado



Fonte: Empresa fornecedora (2023).

4 Resultado e Discussão

A Figura 7 apresenta a planta geral da ETE, com tanques circulares, unidades retangulares e edificações técnicas. Essa organização foi essencial para o planejamento da aplicação do escoramento metálico e a Figura 8 mostra processo de montagem.

reutilização dos componentes metálicos, que podem ser empregados em diversas etapas da construção ou em novos projetos, diferentemente da madeira, que possui vida útil limitada e gera uma grande quantidade de resíduos a cada ciclo de uso.

O sistema metálico adotado na obra permitiu a implantação de um programa de gestão de resíduos, com foco na reutilização e reciclagem de peças danificadas, alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Essa prática contribui para a economia circular e reduzindo a pressão sobre os aterros sanitários.

Outro ponto com a implantação do programa de gestão de resíduos a obra contribui de forma relevante com a diminuição da extração de recursos naturais, especialmente da madeira, cuja exploração excessiva compromete ecossistemas florestais. O aço utilizado nas escoras metálicas, além de possuir alta durabilidade, é 100% reciclável, o que amplia seu ciclo de vida útil e reduz os impactos ambientais associados à produção de novos materiais. A eficiência energética também foi observada no canteiro de obras. A montagem rápida e precisa do sistema metálico, com encaixes modulares, reduziu o uso de ferramentas elétricas e o tempo de operação de equipamentos, resultando em menor consumo de energia e emissão de gases de efeito estufa.

A obra demonstra uma redução de 85% na geração de resíduos sólidos em comparação ao sistema convencional de escoramento em madeira. Esse resultado se alinha com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que incentiva práticas construtivas sustentáveis e reutilizáveis. As Figura 9 e Figura 10 complementam essa análise ao detalhar sobre a média de reutilização dos componentes metálicos, evidenciando a eficiência do sistema modular em diferentes etapas da obra.

Essa eficiência operacional está diretamente relacionada à sustentabilidade do processo construtivo, pois reduz a pressão sobre aterros sanitários e o consumo de recursos naturais. Além disso, os resultados obtidos que indicam uma diminuição de até 85% na geração de resíduos em obras que adotam escoramento metálico. Reforçando a contribuição do sistema para práticas construtivas sustentáveis, especialmente em obras de infraestrutura sanitária, onde o impacto ambiental é significativo³⁵.

Por fim, o uso do escoramento metálico contribuiu para a conformidade com normas ambientais e de segurança, como a NBR 15696:2009 e a NR-18:2022, que exigem planejamento, controle de resíduos e segurança no trabalho. A adoção dessas práticas reforça o compromisso com a construção civil sustentável, promovendo não apenas ganhos ambientais, mas também sociais e econômicos.

Figura 9 – Montagem do sistema de escoramento metálico e de madeira na ETE, Cordeiro



Fonte: Empresa executora (2023).

Figura 10 – Avaliação comparativa dos resíduos provenientes de escoramentos de madeira e metálicos na Ete Cordeiro



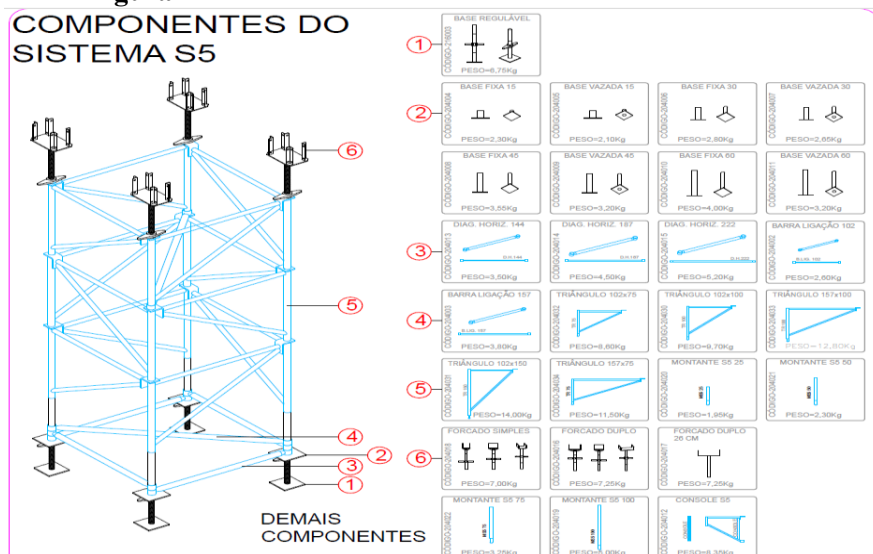
Fonte: Empresa executora (2023).

4.2 Definição e tipos de escoramentos metálicos

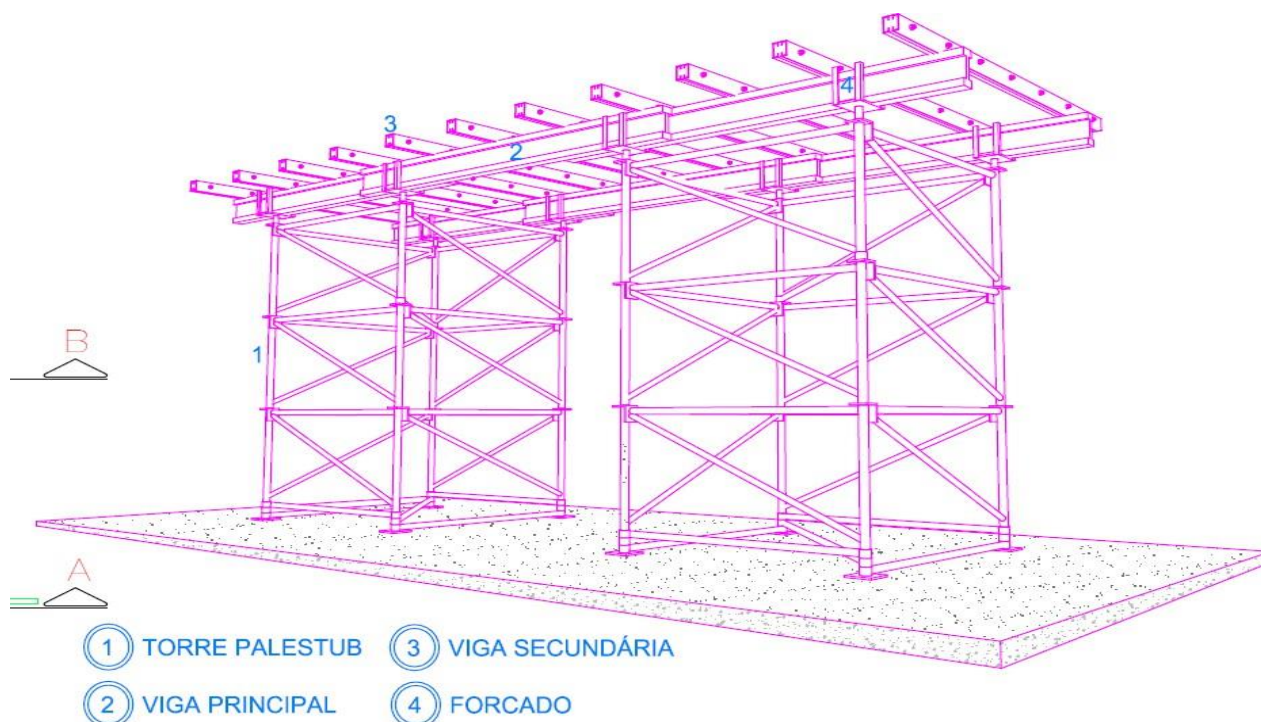
O escoramento metálico é uma estrutura provisória utilizada para sustentar formas e concreto fresco durante a execução estruturais, como lajes, vigas e pilares. Tem função de transmitir as cargas atuantes para as bases de apoio até que a estrutura definitiva atinja resistência suficiente para se manter sua autonomia. Diferente do escoramento em madeira, o sistema metálico apresenta maior resistência, durabilidade e reutilização, além de contribuir de forma significativa para a organização e segurança do canteiro de obras.

Na obra da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cordeiro, foram utilizados escoramentos metálicos do tipo torres modulares ajustáveis, compostas por montantes, diagonais, barras de ligação e bases reguláveis. Esse sistema permitiu montagem rápida, ajustes precisos de altura e contraventamento eficiente, sendo ideal para estruturas de grande porte e terrenos com desníveis ou baixa resistência superficial. As Figura 11 e 12 apresenta detalhes técnicos das torres utilizadas, evidenciando sua aplicação prática no projeto.

Figura 11 – Sistema de escoramento metálico na ETE Cordeiro



Fonte: Fornecedora do escoramento (2025).

Figura 12 – Torres modulares

Fonte: Fornecedora do escoramento (2025).

Além das torres modulares, o mercado possui outras tipologias, como o escoramento tubular convencional, formado por tubos metálicos conectados por bráçadeiras, e o escoramento tubular ajustável, com regulagem de altura por roscas ou macacos. Apesar de todos os sistemas metálicos possuir vantagens em relação à madeira, as torres modulares destacam-se pela eficiência em obras de infraestrutura sanitária, como a ETE Cordeiro. A comparação com o sistema convencional de madeira evidencia a superioridade técnica e operacional do escoramento metálico. Enquanto o escoramento em madeira apresenta baixa resistência nas emendas, maior tempo de montagem e desmontagem, e vida útil limitada a poucos ciclos, o sistema metálico utilizado na obra permitiu reutilização em mais de 80 ciclos, redução de até 85% na geração de resíduos sólidos, e estabilidade estrutural durante a concretagem.

4.3 Avaliação do desempenho do escoramento metálico

A análise do desempenho estrutural do escoramento metálico aplicado na ETE Cordeiro demonstrou resultados expressivos em termos de estabilidade, segurança e eficiência técnica. O sistema adotado, composto por torres metálicas modulares do tipo S5, foi projetado para suportar os esforços gerados durante a concretagem do desarenador com até 7,65 metros de altura e com vãos de 12m x 10m.

Durante a execução, a concretagem foi realizada com velocidade controlada de 1m³/h, conforme recomendações da NBR 15696:2009, o que permitiu o controle preciso do empuxo lateral do concreto fresco. A instrumentação instalada no canteiro registrou pressões de compressão máximas de 8 kN/m², valor compatível com os limites de segurança estabelecidos para esse tipo de escoramento do tipo S5. Esse controle foi fundamental para evitar deformações no escoramento e garantir a integridade da estrutura durante a cura.

Outro aspecto relevante foi o reescoramento da laje de fundo do desarenador, com vãos de até 12m x 10m metros. A manutenção de 100% das escoras por 28 dias, com liberação apenas após ensaios de resistência (esclerometria), demonstrou a preocupação com a segurança estrutural e a durabilidade da obra. Essa prática reduziu significativamente a ocorrência de fissuras por retração e garantiu o desempenho adequado da estrutura em ambientes agressivos. A escolha do sistema metálico também se mostrou eficiente em termos de montagem e desmontagem. A modularidade das torres permitiu ajustes milimétricos de altura, facilitando a adaptação às condições geotécnicas do terreno, como o lençol freático elevado e o solo de baixa resistência. O uso de bases metálicas reguláveis e placas de apoio contribuiu para o nivelamento e a estabilidade do conjunto, mesmo em áreas com restrições logísticas.

Além disso, o sistema atendeu plenamente às exigências da NR-18:2022, com inspeções diárias e monitoramento automatizado das torres por meio de estações topográficas, que registraram deslocamentos a cada duas horas durante a concretagem. Esses procedimentos garantiram a segurança dos trabalhadores e a confiabilidade do sistema estrutural temporário. A Figura 8 apresenta a etapa de montagem do sistema de escoramento metálico utilizado na ETE Cordeiro, evidenciando assim a eficiência das torres e a atuação da equipe técnica durante a execução da estrutura.

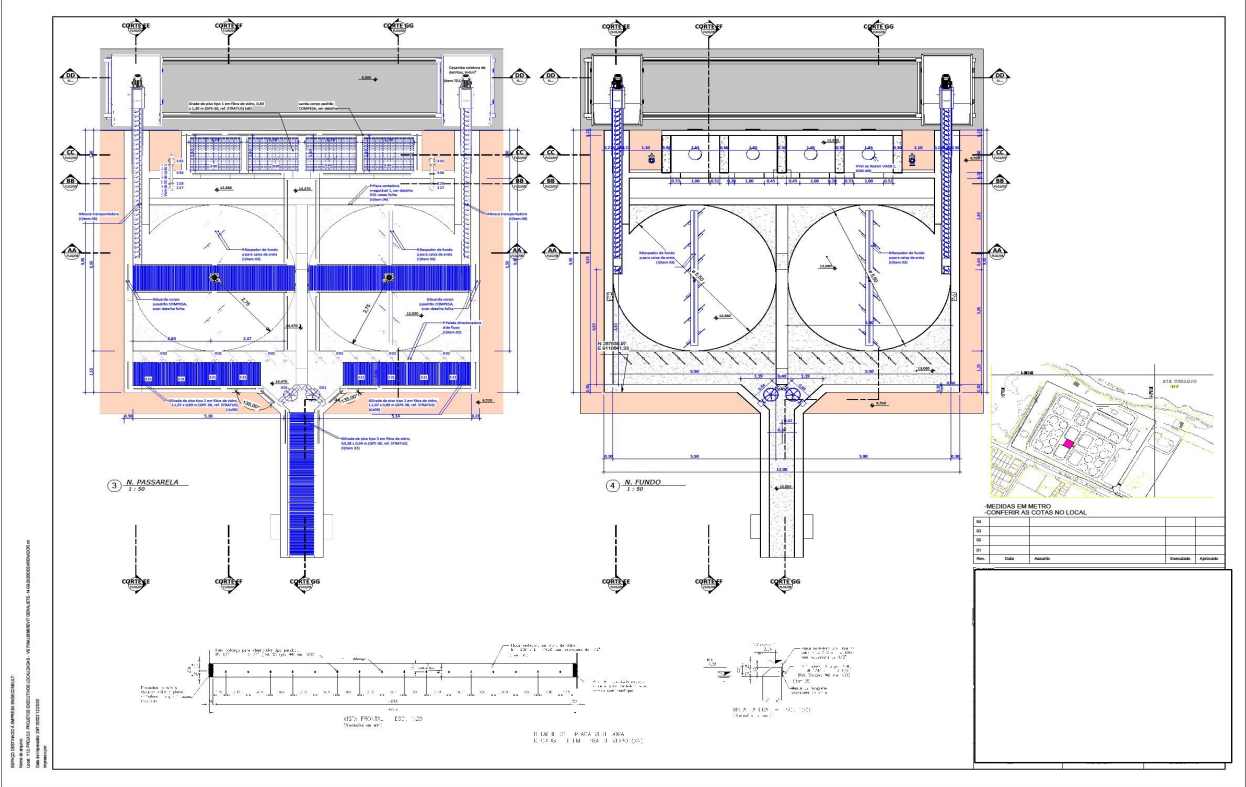
Os resultados obtidos, ilustrados na tabela 2, reúnem dados técnicos como pressão lateral, velocidade de concretagem e estabilidade estrutural, confirmando a conformidade com a NBR 15696:2009. A Figura 13 apresenta cortes e elevações dos decantadores circulares, evidenciando a aplicação do escoramento em estruturas de grande diâmetro. Reforçando que o escoramento metálico representa uma solução técnica robusta, segura e adaptável às exigências de obras complexas, como as de saneamento urbano.

Tabela 2 – Indicadores de desempenho do escoramento metálico na obra da ETE Cordeiro

Indicador	Escala de 0 a 100%
Redução de resíduos sólidos	85
Pressão máxima do concreto (KN/M²)	8
Tempo de escoramento	28
Reaproveitamento de escoras	60

Fonte: Instrumentação técnica da obra (2025).

Figura 13 – Projeto técnico do desarenador da ETE



Fonte: Projeto executivo - Desenho N° 01 (2018).

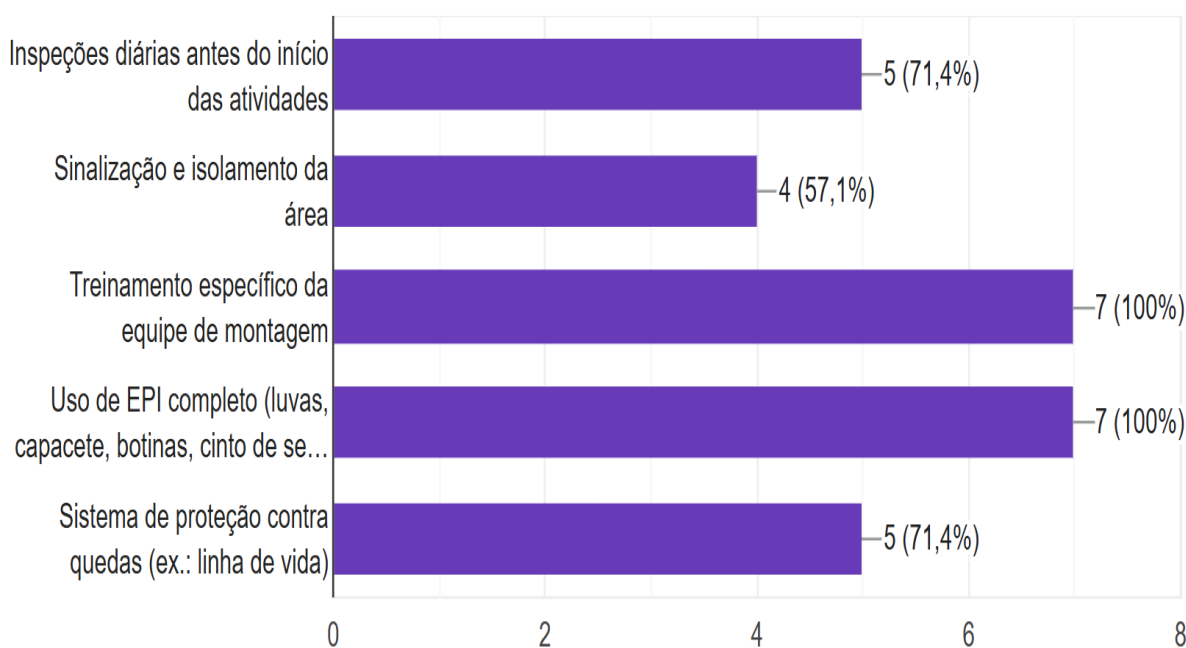
Os resultados obtidos na ETE Cordeiro demonstram que o escoramento metálico modular representa uma solução técnica eficiente, segura e sustentável. A conformidade com a NBR 15696:2009 e a NR-18 evidencia o controle da tensão de compressão de (8 kN/m²) exercido pelo peso concreto, a velocidade de concretagem (1 m³/h) e pela aplicação do reescoramento conforme os critérios normativos. Além disso, a redução de resíduos sólidos e a reutilização dos componentes metálicos reforçam a sustentabilidade do sistema. Esses achados estão alinhados com os estudos de Rocha & Mendes (2023)¹⁰, apontam uma redução de até 85% na geração de resíduos sólidos, e de Ribeiro & Martins (2022)¹², destacam a reutilização dos componentes em mais de 80 ciclos. Tais evidências confirmam que o escoramento metálico modular é superior aos sistemas convencionais de madeira, tanto em desempenho estrutural quanto em impacto ambiental.

4.4 Conformidade normativa e segurança operacional

A conformidade com as normas técnicas e de segurança foi um dos pilares da execução da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cordeiro. O projeto de escoramento foi elaborado por profissional legalmente habilitado, em atendimento às exigências da NR-18, enquanto o dimensionamento do empuxo lateral do concreto seguiu os critérios da NBR 15696:2009, assegurando estabilidade estrutural e adequação técnica durante as etapas de concretagem. Durante a execução da obra, foram adotadas medidas rigorosas de controle e prevenção, como inspeções estruturais diárias, uso obrigatório e completo de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), sinalização das áreas de risco e implantação de sistemas de proteção contra quedas. Essas ações garantiram a integridade física dos trabalhadores e a confiabilidade do sistema de escoramento, reforçando o alinhamento da obra aos padrões de segurança estabelecidos pela legislação brasileira.

Os dados apresentados na Figura 14 foram obtidos por meio de um questionário estruturado, aplicado presencialmente no canteiro durante a montagem do escoramento metálico. O instrumento foi composto por perguntas objetivas relacionadas às práticas de segurança previstas na NR-18:2022, permitindo avaliar o nível de conformidade dos procedimentos adotados pela equipe. A amostra foi formada por sete profissionais diretamente envolvidos nas atividades de montagem, supervisão e inspeção do escoramento, incluindo montadores, encarregados e o técnico de segurança da obra. Embora numericamente reduzida, a amostra possui alta representatividade técnica, pois engloba todos os trabalhadores que atuam de forma direta e contínua nas operações avaliadas. A Figura 14 apresenta os resultados consolidados do questionário. Observa-se que 100% dos respondentes confirmaram o uso completo de EPIs e a participação em treinamentos específicos para a montagem, demonstrando forte cultura de prevenção e capacitação. Além disso, 71,4% relataram a realização de inspeções diárias antes do início das atividades e a presença de sistemas de proteção contra quedas, como linhas de vida. Já a sinalização e o isolamento da área foram mencionados por 57,1% dos profissionais, indicando que, apesar de presentes, essas medidas ainda podem avançar em padronização e abrangência.

Figura 14- Procedimento de segurança adotados



Fonte: Autor próprio (2025).

Complementarmente, foi implementado um sistema de monitoramento automatizado das torres de escoramento, realizado por meio de estações topográficas. Esse sistema permitiu o acompanhamento contínuo dos deslocamentos durante a concretagem, com registros a cada duas horas, possibilitando intervenções imediatas em caso de variações fora dos parâmetros projetados. Essa abordagem reforça o compromisso com a segurança operacional e a confiabilidade do sistema estrutural temporário, consolidando boas práticas de engenharia em obras de infraestrutura sanitária.

4.5 Soluções técnicas adotadas para superação dos desafios geotécnicos e logísticos específico do terreno da ETE Cordeiro.

O terreno da ETE Cordeiro apresentar lençol freático elevado e baixa resistência, em que exigiu soluções técnicas específicas para garantir a estabilidade do escoramento. A utilização de bases metálicas reguláveis e placas de apoio permitiu a distribuição uniforme das cargas e o nivelamento preciso das torres, mesmo em áreas com desníveis ou instabilidade superficial. Em comparação, Melo e Cunha (2020)³⁶ relatam instabilidade em 18% das torres escoradas com pranchões de madeira em condições semelhantes, evidenciando a superioridade técnica do sistema metálico modular adotado. A tabela 3 apresentam dados coletados através de pesquisa realizada no canteiro da obra onde caracteriza-se sua praticidade de montagem, rapidez e redução de uso recursos naturais.

Tabela 3 - Informações da obra

Análise Comparativa de Sistemas Escoramento Metálico vs. Convencional 		
Comparativo de indicadores de sustentabilidade e desempenho		
Indicador	Sistema convencional	Sistema metálico
Tempo de montagem	Lento (ajustes manuais); médio a elevado	Rápido (modular, encaixe direto)
Consumo de energia elétrica	Até 30% maior	Reduzido (menos ferramentas)
Emissão de gases de efeito estufa	Elevada	Baixa
Necessidade de mão de obra	Alta	Otimizada
Avaliação dos profissionais	3,5 a 4,0 (escala 1-5)	4,9 (escala 1-5)
Reutilização	3 a 5 ciclos	80+ ciclos
Redução de resíduos	Até 60%	85%

Fonte: Autoria própria questionário aplicado na obra (2021).

Essa solução técnica demonstrar ser superior em relação aos sistemas convencionais, como os pranchões de madeira, que apresentam maior índice de instabilidade em condições semelhantes. Além da estabilidade estrutural, o sistema metálico adotado permitiu a reutilização dos componentes em diversos ciclos construtivos, evidenciando sua eficiência técnica e econômica. A modularidade das torres e a capacidade de regulação das bases foram fundamentais para adaptar o escoramento às variações do terreno, garantindo segurança e desempenho mesmo em áreas com restrições logísticas.

Esses resultados reforçam a importância do planejamento técnico e da escolha de soluções construtivas compatíveis com as características do solo, consolidando boas práticas de engenharia em obras de infraestrutura sanitária.

4.6 Percepção dos profissionais e impacto operacional

A percepção dos profissionais envolvidos na obra da ETE Cordeiro reforça os resultados técnicos obtidos e evidencia o impacto positivo do escoramento metálico na rotina do canteiro. Para avaliar essa percepção, foram coletados dados qualitativos e quantitativos por meio de um questionário estruturado, aplicado presencialmente aos trabalhadores diretamente envolvidos nas etapas de montagem, operação e inspeção do sistema de escoramento. O instrumento continha perguntas fechadas em escala Likert de 1 a 5, além de questões comparativas entre o escoramento metálico e o escoramento convencional em madeira.

As respostas foram obtidas junto a sete profissionais, incluindo montadores, encarregados e o técnico de segurança, garantindo representatividade dos agentes que vivenciam diariamente as atividades relacionadas ao sistema. As tabelas 4 e 5 apresentam a consolidação dessas avaliações, onde se observa média geral de 4,9 em uma escala de 1 a 5, evidenciando elevado grau de satisfação. Entre os benefícios mais citados pelos trabalhadores destacam-se, a maior segurança operacional, decorrente da estabilidade das torres metálicas e do menor risco de falhas, melhor qualidade final das estruturas, especialmente no controle de prumo e

nivelamento, redução de retrabalho, devido à maior precisão e padronização do sistema, montagem rápida e organizada, favorecida pela modularidade do escoramento metálico e a diminuição significativa de resíduos, quando comparado ao sistema de madeira.

Na comparação direta com o escoramento convencional de madeira, os profissionais apontaram desvantagens como maior esforço físico, menor organização de mão de obra e aumento do retrabalho. A percepção dos trabalhadores, portanto, confirma que o escoramento metálico se destaca não apenas pelo desempenho estrutural superior, mas também pela aceitação prática e operacional, reforçando a adequação do sistema às demandas contemporâneas da construção civil.

Tabela 4 – Comparativo técnico e perceptivo entre escoramento metálico e convencional

Análise Comparativa		
Escoramento metálico x Escoramento de madeira		
Principais Métricas	Escoramento metálico	Escoramento de madeira
Avaliação média 4,3 a 5.	X	
120% “Muito melhor.”	X	
Menor retrabalho e geração de resíduos.	X	
Alto impacto positivo		
Alto esforço na montagem / desmontagem		X
Baixo esforço na montagem / desmontagem	X	
Segurança e qualidade	X	
Baixo impacto / risco	X	
Comparativo de Desmontagem dos sistemas		
Processo lento		X
Desorganização e mão de obra específica para execução do serviço.		X

Fonte: Autor próprio questionário aplicado na obra ETE Cordeiro (2025).

Tabela 5 - Percepção dos profissionais na obra da ETE Cordeiro

Percepção dos profissionais na obra da ETE Cordeiro		
Escoramento metálico x Escoramento de madeira	Escoramento metálico	Escoramento de madeira
Pontos positivos:		
Maior segurança na execução	X	
Melhor qualidade final na estrutura	X	
Redução de retrabalho	X	
Agilidade na montagem e desmontagem	X	
Dificuldade encontrada:		
Resistência inicial a tecnologia	X	
Dificuldade de identificação das peças	X	
Principais conclusões:		
Sistema avaliado como muito melhor do que o de madeira	X	
Alta satisfação em relação a montagem (4,3 a 5)	X	
Sugestão e melhorias:		
Mais treinamentos para as equipes	X	
Criar sistemas com encaixes mais rápidos	X	
Treinar um colaborador para ser especialista	X	

Fonte: Autor próprio questionário aplicado na obra ETE Cordeiro (2025).

Os resultados obtidos neste trabalho alinham-se com evidências recentes da área, que indicam a superioridade do escoramento metálico em aspectos como segurança, produtividade e organização do canteiro de obras. Da mesma forma, há um consenso na literatura sobre a alta aceitação deste sistema por parte de profissionais da construção civil, especialmente em projetos que demandam maior precisão técnica. No presente estudo, essa aceitação foi confirmada pelos dados do questionário aplicado em obra²⁸.

Ademais, pesquisas sobre o uso de escoramentos convencionais de madeira em terrenos com lençol freático elevado relatam problemas de instabilidade em parte das estruturas, evidenciando as limitações desse método. Em contrapartida, na ETE Cordeiro, a utilização de bases metálicas reguláveis e placas de apoio permitiu uma distribuição uniforme de cargas e um nivelamento preciso das torres, mesmo em áreas com desníveis ou instabilidade superficial, demonstrando a superioridade técnica do sistema metálico modular adotado.

Portanto, a comparação com a literatura existente confirma que os resultados obtidos na ETE Cordeiro não são isolados, mas representativos de uma tendência consolidada na engenharia civil. O escoramento metálico se destaca não apenas pelo desempenho estrutural, mas também pela sua aceitação prática, segurança operacional e eficiência na execução de obras de infraestrutura sanitária³⁶.

5 Considerações finais

O presente trabalho teve como finalidade analisar o desempenho estrutural e os benefícios ambientais do escoramento metálico aplicado à construção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cordeiro, em Recife-PE. Foi possível compreender de forma ampla sobre o sistema adotado, os impactos técnicos, operacionais e sustentáveis em uma abordagem que combinou revisão teórica, análise normativa e estudo de caso prático. Os resultados obtidos demonstram que o escoramento metálico modular representa uma solução superior em relação aos sistemas convencionais de madeira. A estrutura mostrou ter excelente desempenho técnico, com controle da pressão lateral do concreto fresco dentro dos limites normativos, estabilidade durante a concretagem e segurança estrutural garantida pelo reescoramento adequado. A conformidade com normas como a NBR 15696:2009 e a NR-18 é atendida, garantindo a integridade da obra e a proteção dos trabalhadores. Em visão ambiental, a obra alcançou uma expressiva redução de resíduos sólidos, estimada em até 85%, além da reutilização dos componentes metálicos em diversos ciclos construtivos. Esses dados afirmam o compromisso com a sustentabilidade e com a racionalização de recursos naturais, contribuindo para a diminuição da pressão sobre os aterros sanitários e para a redução da emissão de gases de efeito estufa.

A eficiência do sistema reflete na organização do canteiro de obras, na agilidade de montagem e desmontagem das estruturas e na adaptação às condições geotécnicas, como terrenos com lençol freático elevado. A utilização de bases metálicas reguláveis e torres modulares permite ajustes precisos de altura e estabilidade, mesmo em áreas com restrições logísticas. A percepção dos profissionais envolvidos na execução da obra foi amplamente positiva, destacando aspectos como segurança, produtividade e facilidade de operação. Isso reforça a viabilidade prática do escoramento metálico e sua aceitação no setor da construção civil.

Com base aos dados analisados, conclui-se que o escoramento metálico não apenas atende aos requisitos técnicos e normativos, mas também representa uma alternativa sustentável, econômica e segura para obras de infraestrutura, especialmente em projetos de saneamento básico. Sua aplicação contribui para a modernização dos métodos construtivos, a redução de impactos ambientais e o aumento da eficiência operacional.

Na realidade e na prática profissional das construções, este estudo ensina que a escolha de tecnologias modernas e sustentáveis transformam significativamente a qualidade e o impacto das obras. As ações fundamentais para ampliar os benefícios observados neste estudo e consolidar uma engenharia civil mais eficiente, segura e comprometida com o desenvolvimento sustentável.

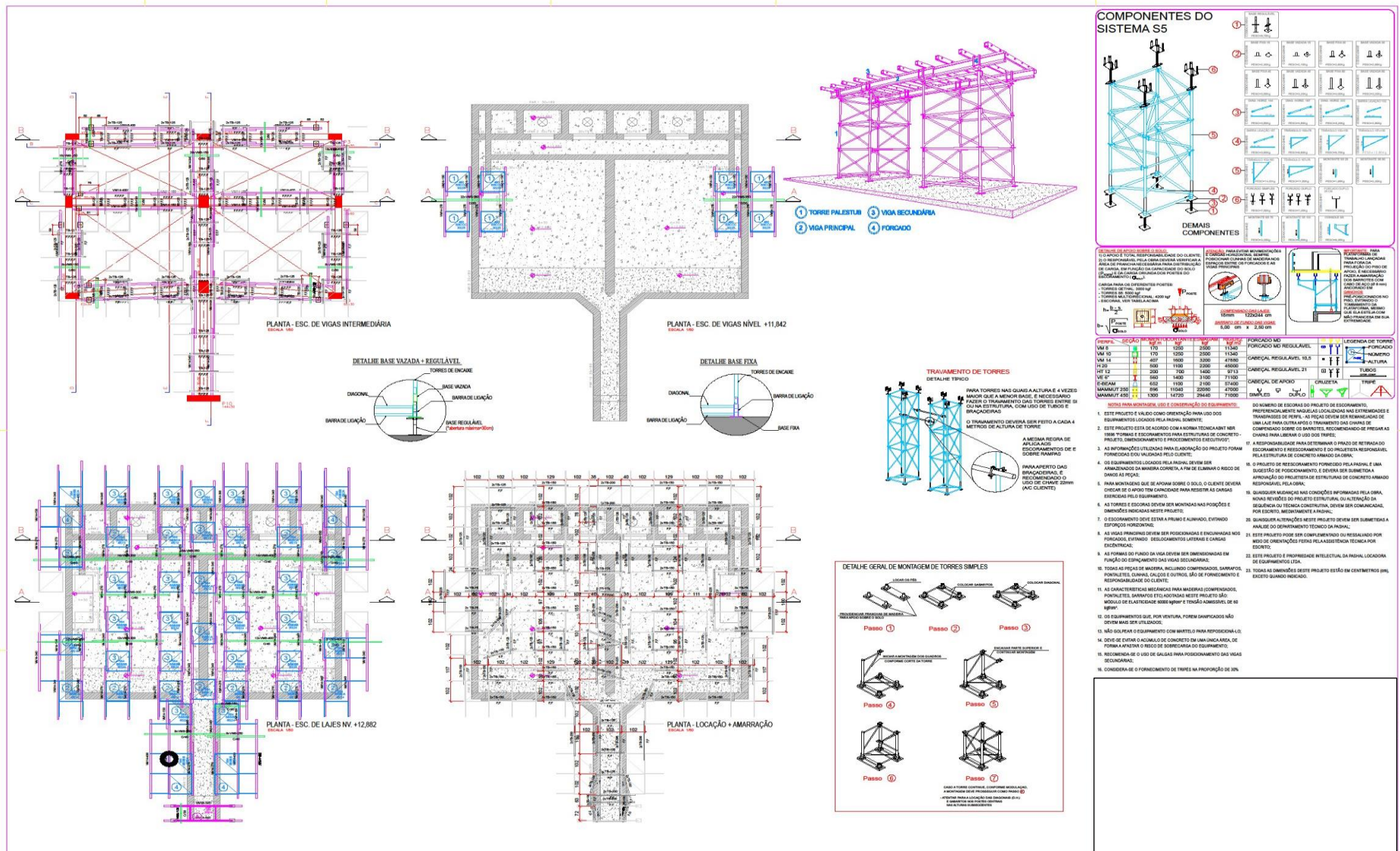
O escoramento metálico, quando bem planejado e executado, não é apenas uma solução técnica é uma estratégia de responsabilidade ambiental, segurança no trabalho e inovação construtiva. Portanto, é recomendado que futuras obras considerem a adoção de sistemas metálicos modulares, acompanhados de planejamento técnico rigoroso, capacitação da equipe e monitoramento contínuo.

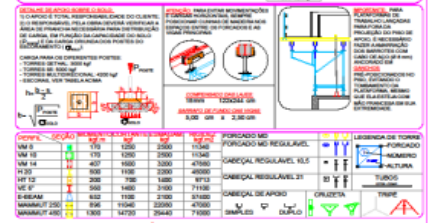
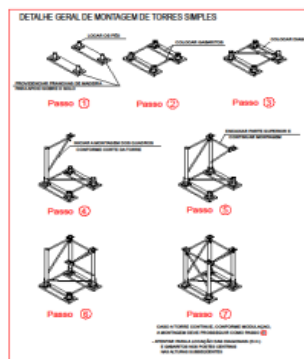
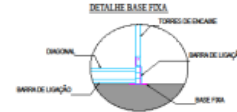
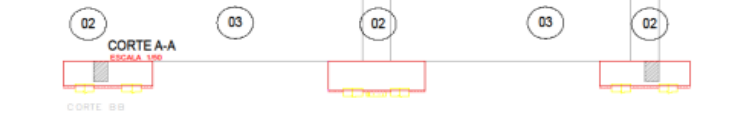
Referências

1. Silva JF, Andrade MRM. A construção civil como vetor de desenvolvimento urbano. *Rev Bras Eng Civil*. 2018;25(3):45–52.
2. Santos ML, Oliveira PR. Infraestrutura urbana e desenvolvimento regional: análise do setor de construção civil no Brasil. *Rev Bras Desenvol Urbano*. 2022;14(3):45–62.
3. Oliveira L, Santos R. Saneamento básico e saúde pública: uma análise integrada. *Cienc Saúde Colet*. 2019;24(7):2893–900.
4. Von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed. Belo Horizonte: UFMG; 2014.
5. Brasil. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico. *Diário Oficial da União*. 2020 jul 15.
6. Trata Brasil. Avanços do novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil. São Paulo: Trata Brasil; 2022.
7. Costa M, Lima A. Escoramento em madeira: limitações técnicas e ambientais. *Constr Rev*. 2017;12(2):33–9.
8. Pereira F, Souza T. Propriedades mecânicas da madeira em função da umidade. *Eng Florestal*. 2016;10(1):21–8.
9. Calil C Jr, Dias AA. Madeira como material estrutural: características e propriedades. São Carlos: USP; 1997.
10. Rocha V, Mendes T. Comparativo ambiental entre escoramento metálico e madeira. *Rev Sustentabilidade Constr*. 2023;11(2):101–9.
11. Lima V, Rocha E. Comparativo entre escoramento metálico e madeira: segurança e produtividade. *Eng Prática*. 2020;15(1):21–8.
12. Ribeiro P, Martins E. Escoramento metálico em obras de saneamento: revisão crítica. *Rev Tec Constr*. 2022;30(1):15–24.
13. Souza VS, Paliari JC. Escoramentos na construção civil: revisão crítica e lacunas de pesquisa. *Rev Habitar Constr*. 2019;9(2):55–68.
14. Souza C, Lima R. Ensaios não destrutivos em estruturas de concreto. *Rev Constr Segura*. 2021;19(1):88–94.
15. Ferreira L, Gomes R. Inovação tecnológica no saneamento básico brasileiro. *Rev Infraestrutura*. 2020;8(2):40–7.
16. Ministério do Trabalho. NR 18 – Condições de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: MTE; 2025.
17. SH Fôrmas. Empuxo do concreto. São Paulo: SH; 2012.
18. American Concrete Institute. ACI 347: Guide to Formwork for Concrete. Farmington Hills: ACI; 2014.
19. Kataoka H, Novischi R. Escoramento metálico modulado: desempenho e confiabilidade. *Rev Bras Eng Estrut*. 2025;14(1):55–63.
20. Santos P, Lima R. Vigas mistas aço-concreto em pontes ferroviárias: estudo de caso. *Infraestrut Bras*. 2024;6(1):34–42.
21. Albuquerque HHS, Calheiros PGBM, Azevedo VGTTB, Cavalcante JRd. Análise comparativa entre estrutura metálica e estrutura de concreto armado: custo e tempo de execução. *Cad Grad Ciênc Exatas Tecnol – UNIT*. 2022;7(3):11.

22. Metz ML. Proposta de retrofit: comparativo entre soluções em estrutura metálica e concreto armado (Trabalho de Conclusão de Curso). Univates; 2023.
23. Neville AM. Propriedades do concreto. 5ª ed. São Paulo: PINI; 2016.
24. Vargas M, Figueiredo D. Mecânica dos solos. 3ª ed. São Paulo: McGraw-Hill; 1991.
25. ABRASFE. Manual de informações básicas de forma e escoramento. São Paulo: ABRASFE; 2017.
26. Souza R, Pinho F. Escoramento metálico: conceitos e aplicações. *Rev Construção Civil*. 2018;12(3):45–52.
27. AECweb. Torres metálicas são opção para o escoramento de estruturas altas. AECweb. 2019.
28. Cardoso FF, Paliari JC. Tecnologia e inovação na construção civil: desafios e perspectivas. *Ambiente Construído*. 2012;12(2):7–26.
29. Versátil Andaimos, Sustentabilidade e uso das escoras metálicas. Disponível em: <https://www.versatilandaimos.com.br/blog/sustentabilidade-uso-das-escoras-metalicas>.
30. Gil AC. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7ª ed. São Paulo: Atlas; 2019.
31. Marconi MA, Lakatos EM. Fundamentos de metodologia científica. 8ª ed. São Paulo: Atlas; 2017.
32. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro; 2009.
33. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto Procedimento. Rio de Janeiro; 2014.
34. Souza VS, Paliari JC. Escoramentos na construção civil: revisão crítica e lacunas de pesquisa. *Rev Habitar Constr*. 2019;9(2):55–68.
35. Rocha V, Mendes T. Comparativo ambiental entre escoramento metálico e madeira. *Rev Sustentabilidade Constr*. 2023;11(2):101–9.
36. Melo A, Cunha D. Influência do lençol freático na execução de fundações. *Geotecnia Brasil*. 2020;18(2):102–10.
37. PERI Brasil. Manual técnico do sistema ACS. São Paulo: PERI; 2021.
38. Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Programa de Saneamento Ambiental da Mata Sul de Pernambuco. Recife; 2022.
39. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). NR-18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília; 2022.
40. Souza C, Lima R. Ensaios não destrutivos em estruturas de concreto. *Rev Constr Segura*. 2021;19(1):88–94.
41. KATAOKA, Marcela Novischi; FERREIRA, Marcelo de Araújo; EL DEBS, Ana Lúcia Homce de Cresce. Study on the behavior of beam-column connection in precast concrete structure. *Computers and Concrete*, v. 16, n. 1, p. 163–178, 2015. doi:10.12989/cac.2015.16.1.163.

ANEXO A - Projeto do Escoramento Metálico do Sistema S5. (Plantas, cortes e detalhes referentes ao dimensionamento estrutural do escoramento metálico S5 no tanque desarenador. Documentação técnica contendo o planejamento de montagem, cargas admissíveis, modulação e especificações do escoramento utilizado.)





- [illegible]

PRO	30/05/2024	EMISSÃO INICIAL	FABIO S.
NP	DATA	REVISÃO	RESPONSÁVEL

[illegible]

Anexo C – Projeto Arquitetônico da ETE Cordeiro. (Distribuição geral da estação, layout das unidades, acessos e organização funcional da instalação, representações gráficas da posição da ETE no terreno, vias de acesso e delimitação da área de intervenção).

