



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

EZEQUIEL FLORIANO MARTINS

ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DAS ESTACAS DOS REATORES UASB NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM UBÁ -MG

UBÁ/MG
2022

EZEQUIEL FLORIANO MARTINS

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DAS ESTACAS DOS REATORES UASB NA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM UBÁ -MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de graduação em Engenharia Civil da
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Suymara Toledo Miranda.

**UBÁ/MG
2022**

Dedico esse trabalho á memória do meu
irmão, Isac Floriano Martins, pois foi
meu combustível nessa caminhada.
Como prometido realizei o nosso sonho,
te amo.

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por tudo que Ele me proporcionou até hoje. À minha família, meus pais, meus irmãos e meu amor que tanto me apoiam, me dão forças e estão comigo para o que der e vier. Aos meus amigos, em especial a Matheus Pandovani, que me auxiliou na conclusão desse trabalho. Aos orientadores, Suymara Toledo Miranda e Emanuel Bomtempo, que me apoiaram e ajudaram para que o trabalho ficasse da melhor forma possível. Quero agradecer a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização desse sonho. A vocês, o meu muito obrigado!

RESUMO

O estudo geotécnico de uma fundação é de suma relevância considerando a economia gerada para a empresa. Esse trabalho tem como objetivo, a partir de um estudo de caso, avaliar a otimização de estacas dos reatores UASB na estação de tratamento de esgoto em UBÁ –MG. Inicialmente seria adotada a fundação profunda na edificação através de estacas pré-fabricadas de concreto com diâmetro de 42 cm vazadas (D42), mas a empresa contratada em consonância ao consultor geotécnico da obra realizaram estudos e análises geotécnicos do solo e da estrutura de concreto armado, constatando-se que a estaca pré-fabricada de diâmetro de 42 cm vazada atribuída ao projeto poderia ser substituída pela estaca pré-fabricada de 31 cm maciça (P31). Foi comprovado que as estacas pré-fabricadas P31 possuem a capacidade estrutural e a carga de trabalho suficientes para resistir a estrutura. Devido essa otimização a empresa obteve uma economia de 42,62 % totalizando R\$ 284.446,40 a menos do previsto da obra. Conclui-se que a avaliação geotécnica proporcionou a otimização das estacas, garantindo segurança da estrutura e promovendo economia na edificação.

Palavras-chave: *Fundação. Estrutura. Geotécnico. Cargas. Comparativo de cálculo.*

ABSTRACT

The geotechnical study of a foundation is from Paramount importance considering the company savings. This assignment aims to avaliate, as from a study of case, the optimization of UASB reactors in a sewage treatment station in Ubá- MG. Firstilly it would be adopted the deep foundation in the edification by prefab concrete stakes with diameter of 42 cm hollow (D42),but the hired company in line to the geotechnical consultant of the construction made studies and geotechnical analyzes of the ground and the reinforced concrete structure, verifying that the 42cm prefab hollow stake assigned to the Project could be replaced by the 31cm massive prefab stake (P31). It was proven that P31 prefab stakes have the structural capacity and enough loadwork to support the structure. Due to this optmization the company got the saving of 42,62% totalizing less R\$ 284,446.40 than the expected for the construction. In conclusion, the geotechnical avaliation provided the optimization of the stakes, ensuring security to the structure, promoting economy in the edification.

Keywords: *Foundation. Structure. Geotechnical. Loads. Calculation comparison.*

1 INTRODUÇÃO

O pré-dimensionamento das estruturas é um dos fatores mais importantes na engenharia civil por proporcionar segurança e conforto às entidades que nela habitam. A partir de cálculos e estudos são realizados os dimensionamentos das estruturas através das cargas empregadas, sobrecargas e estudos geotécnicos do solo. As estacas pré-fabricadas são utilizadas em estruturas onde as aplicações de cargas solicitantes são superiores a carga resistente do solo superficialmente.

Segundo MURAKAMI, *et al.*, (2016) os projetos de fundação no Brasil são baseados em análises do tipo do solo e das sondagens a percussão. É muito comum no cotidiano da engenharia civil existir projetos estruturais de fundações superdimensionados, cabendo ao engenheiro civil analisar, estudar e tomar decisões para solucionar os problemas e garantir a viabilidade econômica (CORTEZ, 2002).

De acordo com a norma NBR 6122/2022 (ABNT, 2022) a carga admissível da estaca isolada, sendo a força aplicada sobre a mesma, provoca repiques e recalques compatíveis oferecendo segurança da estrutura contra ruptura do solo e do elemento de fundação, portanto a capacidade de carga submete-se às características geotécnicas finais do solo que envolve a estaca (LOBO *et al.*, 2005).

Inicialmente foi adotada a fundação profunda na edificação através de estacas pré-fabricadas de concreto com diâmetro de 42 cm vazadas (D42) em conformidade com engenheiro projetista, mas será realizado um estudo de pré-dimensionamento da fundação da estrutura dos reatores UASB sucedendo de avaliação e análise da estaca pré-fabricada de concreto de 31 cm maciça (P31), se a mesma poderá ou não substituir a estaca D42, mesmo sendo de carga resistente inferior.

Esse trabalho tem como objetivo, a partir de um estudo de caso, avaliar a otimização de estacas dos reatores UASB na estação de tratamento de esgoto em UBÁ –MG. Para isso foi realizado comparativos de especificações técnicas das estacas, preços das estacas, transportes e descarga das estacas P31 e D42.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Estação de tratamento de esgoto (ETE)

As estações de tratamento de esgoto visam a remoção da matéria orgânica, sólidos suspensos, organismos patogênicos e nutrientes presentes nos esgotos, atendendo aos padrões da legislação vigente para disposição final do efluente, segundo de Menezes, I. S., & Mendonça, L. C. (2017).

Um dos maiores problemas ambientais é a insuficiência de tratamento de esgotos sanitários no Brasil, que são lançados na natureza em sua grande maioria, ocorrendo contaminação das águas, causando sérios danos à saúde pública (NAVA, L., & DE LIMA, C., 2012).

ALMEIDA (2005 *apud* Orssatto, F., Hermes, E. & Vilas boas, m. a. 2010, p. 251) destaca a importância do tratamento de efluentes: “É possível tratar o esgoto a qualquer grau que se deseje para torná-lo utilizável para qualquer fim. A eficiência do tratamento é a percentagem removida de um determinado atributo do esgoto”. De acordo com a Lei nº 14026/2020 que estabelece diretrizes nacionais do saneamento básico, as ações através dos investimentos públicos em relação ao saneamento devem atingir índices de eficiência, sustentabilidade econômica e eficácia durante toda a vida útil do empreendimento (QUEIROZ *et al.*, 2020).

As estações de tratamento de esgoto, em grande parte, foram projetadas para receber esgotos das populações a longo prazo, cerca de 20 a 30 anos, sendo construídas e projetadas em áreas baixas e remotas, pelo fato do escoamento do sistema de coleta de esgotos agir pela ação da gravidade e junto a corpos de água que proporcionam isolamento entre as instalações de tratamento e as comunidades servidas (METCALF, 2016).

2.2 Reatores UASB

Os reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) (FIG. 1) são sistemas secundários do tratamento de esgotos e de acordo com PEREIRA, *et al.* (2009, p17):

Os processos anaeróbios na decomposição dos esgotos vêm sendo frequentemente utilizados com a finalidade de otimizar sistemas de tratamento, entre estes, um dos

mais difundidos é o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reator*), também conhecido como RAMAL (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo).

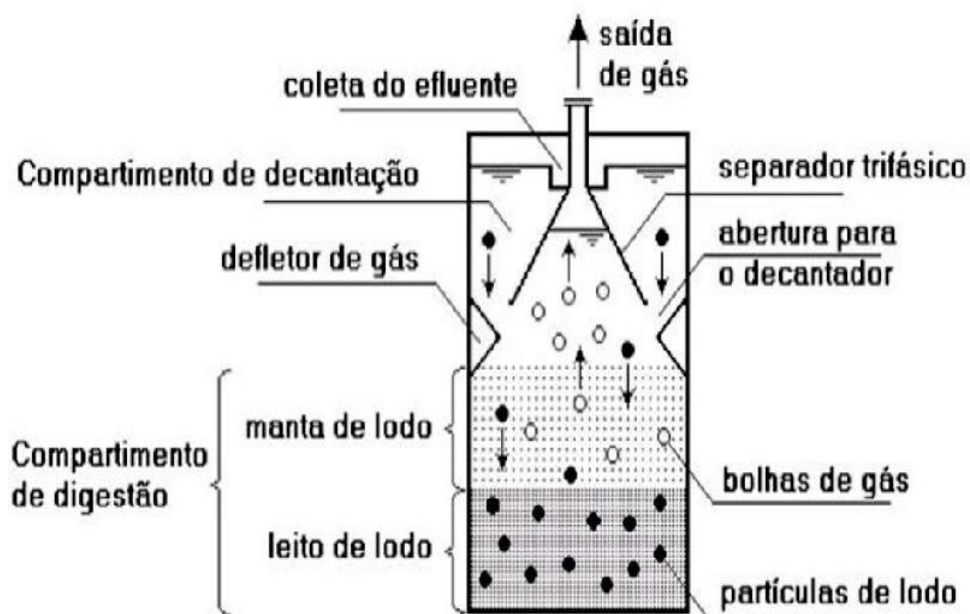
FIGURA 1 – Reatores Anaeróbios da ETE Ubá- MG em construção



Fonte: Autor, (2022).

Os reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) se baseiam no regime hidráulico e na incorporação do separador trifásico interno que separa as três fases do efluente: sólido, líquido e gasoso, dispensando o uso de meio suporte para o crescimento da biomassa (METCALF e EDDY, 2003 *apud* PEREIRA *et al.*, 2009, p. 3) (FIG. 2).

FIGURA 2 – Desenho esquemático de reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB)



Fonte: CHERNICHARO (2007, p. 84).

Segundo Rodrigues *et al.* (2010) a estrutura dos reatores UASB é composta de concreto armado, com blocos de concreto e ferragens CA-50. Nas extremidades e entre elas estão localizados os pilares de sustentação. No interior do reator a estrutura apresenta vigas no topo, nas laterais e no meio existe as vigas defletoras. Concluída a edificação, é aplicada uma impermeabilização para não ocorrer possíveis vazamentos.

2.3 Fundações

2.3.1 Normas e conceitos

A fundação é a parte de uma estrutura realizada em obras que tem a finalidade de transmitir cargas da edificação para o terreno. O estudo de toda fundação preliminarmente compreende em duas partes essenciais: o cálculo das cargas atuantes sobre a fundação e o estudo do terreno (HOMERO, 1996).

Nas fundações mal dimensionadas podem ocorrer patologias como fissuras, trincas ou até colapsos em casos extremos, devido aos recalques diferenciais excessivos na estrutura, ocorrência da ruptura da estrutura de fundação ou do solo de fundação (PINTO, 2006).

As fundações originam-se de dois grandes grupos: as fundações rasas ou superficiais, como por exemplo as sapatas, e as fundações profundas, podendo ser representadas pelas estacas e tubulões (CINTRA, AOKI, & ALBIERO, 2011). A NBR 6122/2022- Projeto e Execução de Fundações - estabelece critérios gerais que regem os projetos e execuções das fundações e das estruturas convencionais da engenharia civil, como por exemplo: obras residuais, pontes, edifícios, viadutos, entre outros (ABNT, 2022).

2.3.2 Fundações Profundas

As fundações profundas ou indiretas são estacas pré-moldadas ou moldadas *in loco* que alcançam regiões mais profundas do solo transmitindo as cargas da estrutura de duas formas, por meio da resistência lateral (resistência de fuste) e pela base (resistência de ponta) (FALCONI, 1998). A norma NBR 6122 (ABNT, 2022, p.2) define a fundação profunda da seguinte forma:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m; quando não for atingido o limite de oito vezes, a denominação é justificada. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões.

2.3.3 Tipos de estacas

As estacas classificam-se em dois grupos: as moldadas *in loco* e as pré-moldadas. Nas estacas moldadas *in loco*, primeiramente ocorre a perfuração do solo, e em seguida é realizada a introdução de concreto, argamassa ou pasta de cimento no local. Já as estacas pré-moldadas, denominadas de pré-fabricadas, sua introdução no solo é por meio de vibração do martelo vibratório ou através do choque mecânico do martelo, por meio da gravidade, de explosão e hidráulico (BARBOSA, 2021).

No QUADRO 1 abaixo são apresentados os tipos de estacas, bem como seu processo executivo.

QUADRO 1 – Tipos de estacas em função do processo executivo

Tipos de estacas		Processo executivo
Pré-moldadas	Concreto	Durante a perfuração ocorre o deslocamento horizontal do solo devido a cravação da estaca.
	Madeira	
	Metálica	
Moldadas in loco	Broca	São moldados no espaço deixado pela perfuração do solo, no intuito de substituir e ocupar o espaço deixado pelo solo removido durante o processo de perfuração.
	Strauss	
	Hélice	
	Escavada com lama	
	Franki	Durante a perfuração do solo, é feito o apiloamento de materiais granulares no intuito de promover o deslocamento do solo.
	Raiz	Durante a perfuração do solo, é feito uso de revestimento no intuito de evitar deslocamento do solo.

Fonte: BARBOSA (2021), adaptado pelo autor.

2.3.4 Estacas pré-fabricadas de concreto

As estacas pré-moldadas de concreto (FIG. 3) produzidas em usinas ou no próprio canteiro de obras são classificadas, quanto a sua forma de confecção, em concreto vibrado, centrifugado e por extrusão. Quanto as armaduras, são classificadas em concreto armado e o concreto protendido (DANZIGER, 2021). A cravação das estacas pré-moldadas é realizada pela introdução das estacas no solo através da energia aplicada pelo martelo em queda livre (GADOTTI, 2021).

FIGURA 3 – Estacas pré-moldadas de concreto



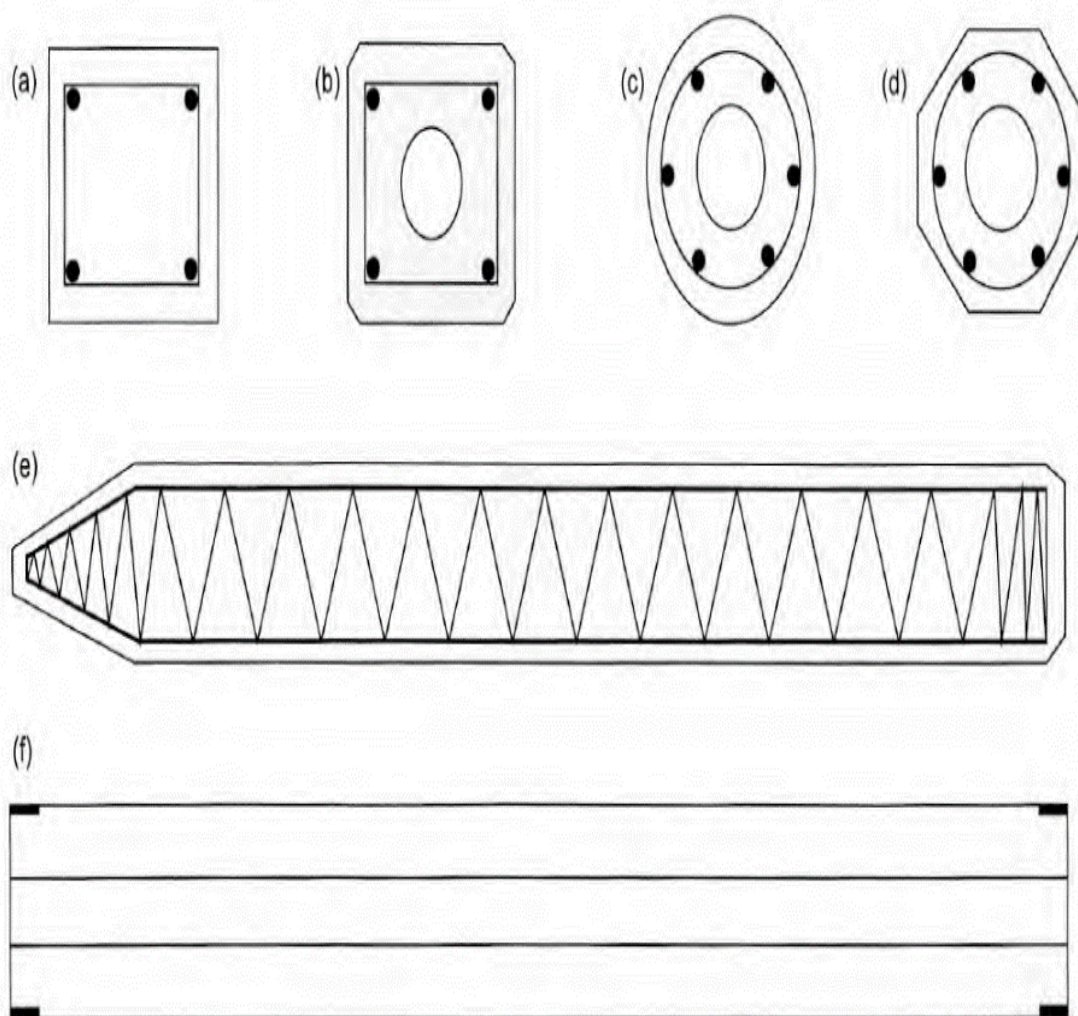
Fonte: ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO¹.

2.3.5 Características das estacas pré-moldadas

Segundo CINTRA, AOKI, & ALBIERO (2011) as estacas apresentam diferentes geometrias, podendo ser quadradas, circulares, sextavadas, octogonais e em forma de estrelas. Nas extremidades apresentam o reforço da armação transversal necessário devido às tensões durante a cravação (FIG. 4), portanto as estacas pré-moldadas de concreto podem ser vazadas ou maciças ocasionando uma leveza estrutural, facilitando no transporte e nas cravações.

¹ ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO. Disponível em < <https://www.benaton.com.br/estaca-pre-moldada-de-concreto> >. Acesso em: 19 set. 2022.

FIGURA 4 – Estacas pré-moldadas de concreto: (a) a (d) seções transversais; (e) seção longitudinal com armadura; (f) estaca com furo central e anel de emenda (apenas o concreto representado)

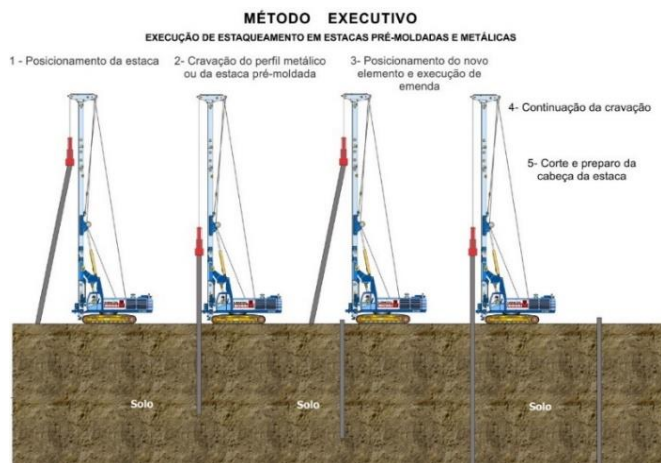


Fonte: Velloso (2010, p. 198).

2.3.6 Estaqueamento das estacas pré-moldadas de concreto

A cravação das estacas pré-moldadas de concreto é realizada pela introdução das estacas no solo através da energia aplicada pelo martelo em queda livre (FIG. 5). Para execução do estaqueamento deve-se seguir recomendações relacionadas ao peso do martelo, não ultrapassando a massa inferior de duas toneladas e peso mínimo igual a 75% da estaca projetada. Nos casos das estacas terem carga de trabalho entre 70 e 130 toneladas o peso do martelo tem que ser igual ou maior a quatro toneladas (VELLOSO, 2010).

FIGURA 5 – Processo de execução de estaca pré-moldada de concreto



Fonte: ESTACAS METÁLICAS E PRÉ-MOLDADAS.²

2.3.7 Sistema de amortecimento de impacto

O sistema de amortecimento é localizado no topo da estaca durante a cravação, não permitindo que o martelo atinja a estaca diretamente, sendo esse sistema composto por capacete metálico encaixado na cabeça da estaca e entre placas de madeira chamados de cepo e coxim (FALCONI, 1998). De acordo com KLENK (2017) o cepo é de madeira dura localizado na parte superior do capacete metálico e tem a função de proteger o martelo das tensões elevadas durante os golpes, já na parte inferior do capacete metálico se encontra o coxim composto por madeira mole, tendo como função amortecer as estacas dos golpes e das altas tensões, diminuindo o risco de quebras.

Conforme (EL DEBS, 2017) as dimensões internas desses materiais devem ajustar-se à as estacas que serão cravadas na obra, não proporcionando folgas excessivas, pois as folgas excessivas podem provocar oscilações exageradas durante o processo de cravação das estacas, tendo potencial de danificá-las.

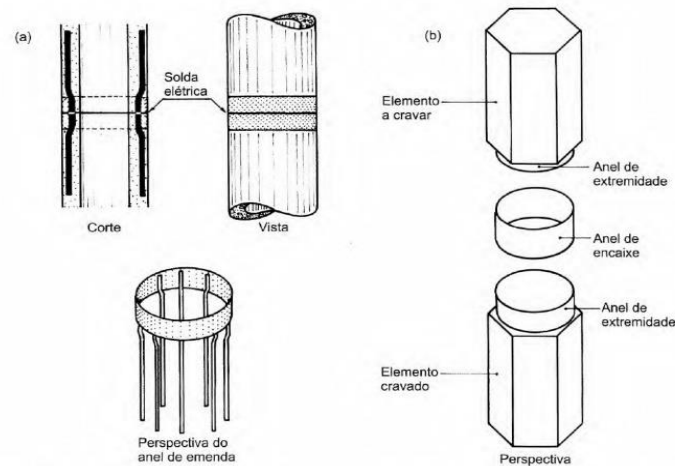
2.3.8 Emendas das estacas

As luvas ou anéis metálicos são elementos localizados nas extremidades das estacas com a finalidade de emendar as estacas através das soldas ou encaixe (FIG. 6), permitindo que

² Processo de execução de estaca pré-moldada de concreto. Disponível em <<https://www.fundacoesrossi.com.br/estacas-metalicas-e-pre-moldadas/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

as seções emendadas ou encaixadas resistam a todas as solicitações, seja de compressão, tração ou flexão, que ocorram durante a cravação (BARBOSA, 2021).

FIGURA 6 – Emenda de estacas pré-moldadas por luvas de aço (a) soldadas e (b) apenas encaixadas

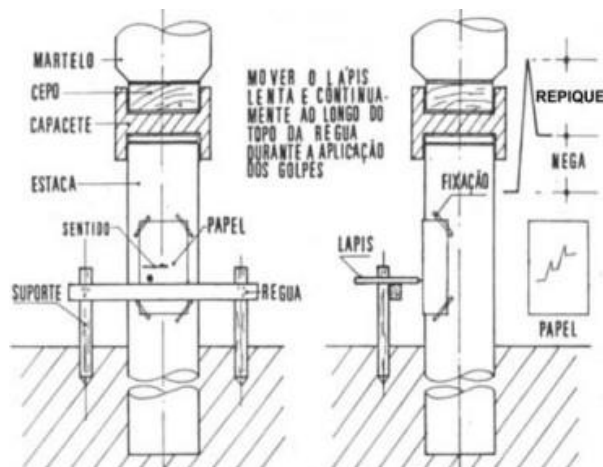


Fonte: Velloso (2010, p. 203).

2.3.9 Repique e nega

Nas execuções de cravamento das estacas pré-moldadas no solo deverá ser realizada as medições de negas e repiques (FIG. 7) (ALVES, 2004). A nega é a penetração permanente das estacas resultante do golpe de pilão, sendo medida por uma série de dez golpes. O repique é a parcela elástica de deslocamento máximo obtido ao final da cravação, nos últimos dez golpes, decorrente da aplicação do golpe do martelo ou pilão, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022).

FIGURA 7 – Medições de negas e repiques



Fonte: Alves (2004, p. 13).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Local

A estratégia de pesquisa empregada consiste no estudo de caso de uma obra da estação de tratamento de esgoto (ETE) Ubá-MG, localizada na zona rural de Ubá-MG, a 2 km da rodovia entre Ubá-MG e Guidoal-MG, km 120 (FIG. 8).

Para o estudo foram feitas visitas in loco e utilizado o parecer técnico referente a avaliação geotécnica para o estaqueamento dos reatores UASB da ETE Ubá-MG, realizado pela empresa contratante CONSÓRCIO SES UBÁ – CONATA ENGENHARIA LTDA, INFRACON ENGENHARIA E COMERCIO LTDA E RFJ CONSTRUTORA.

FIGURA 8 – Localização da estação de tratamento de esgoto (ETE) Ubá-MG e locais de referência próximos



Fonte: Google Earth (2022)³.

O ensaio de sondagem à percussão (SPT) foi realizado pela empresa Novo Tempo Engenharia Ltda. - ME, a pedido da empresa solicitante Oliveira e Marques Engenharia Ltda. - EPP conforme contrato nº 035/2018. A prestação de serviços de sondagem geológica permite

³ Disponível em < <https://earth.google.com/web/> https://earth.google.com/web/search/uba-mg/@-21.14878662,-42.87470499,299.9711668a,1837.57922648d,35y,176.19889288h,0.58371346t,0r/data=Cm8aRRI_CiMweGEzMTk1YTIzMGZkOWQxOjB4MzE5YjE5OGI0ZDliZGEzMRkfNkcM8R41wCGWtD3VfHhFwCoGdWJhLW1nGAEGASImCiQJ16G4WUI3NUAR6zbVwI3DMsAZ2Afr9DWVRUAhjTOeBvysTcA>. Acesso em: 20 nov 2022.

o suporte técnico aos projetos de engenharia (estrutural, básico, hidráulicos), para implantação da estação de tratamento de esgoto da cidade de Ubá-MG. Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as especificações e normas: NBR-6484/20, Norma ABNT- Sondagem de simples reconhecimento do solo e NBR-6502/22, Norma ABNT – Rochas e solos.

3.1.1 Execução do ensaio SPT

3.1.1.1 Processo de perfuração

A perfuração ocorreu com o emprego do trado até o nível de água do subsolo ou inviabilidade de avanço com sua utilização, ou seja, avanços inferiores a 50 mm após 10 minutos de operação (FIG. 9). A partir desse ponto a perfuração prosseguiu por lavagem com o emprego do trépano.

FIGURA 9 – Processo de perfuração das sondagens dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB)



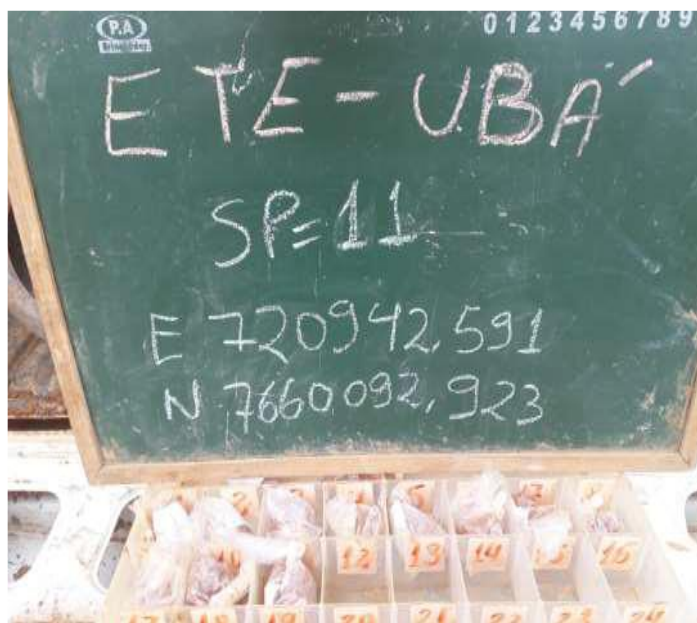
Fonte: Relatório técnico sondagem a percussão, Copasa, 2018.

3.1.1.2 Amostragem

Foram colhidas amostras a cada metro de profundidade, posteriormente acondicionadas em recipientes próprios hermeticamente fechados e encaminhadas para identificação tátil-visual no laboratório de mecânica de solos da empresa Novo Tempo Engenharia Ltda. Nas FIG.

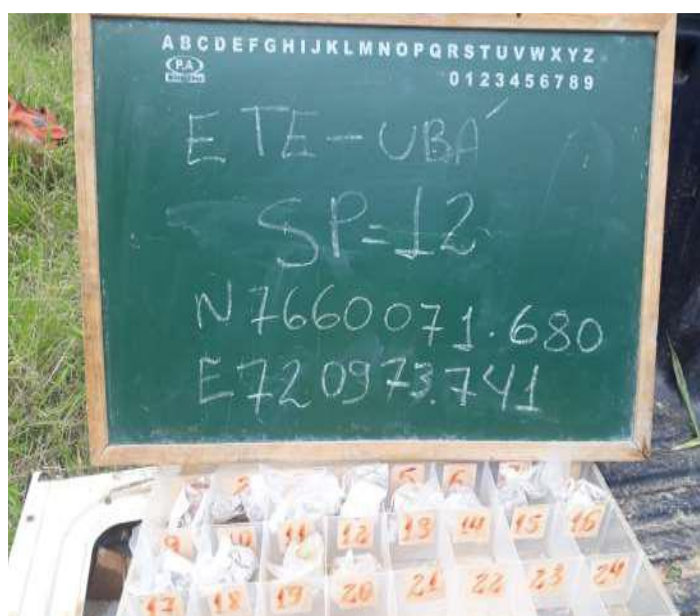
10 e 11, respectivamente, é possível observar as amostras coletadas e acondicionadas nos recipientes próprios.

FIGURA 10 – Amostras das sondagens dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB)



Fonte: Relatório técnico sondagem a percussão, Copasa, 2018.

FIGURA 11 – Amostras das sondagens dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB)



Fonte: Relatório técnico sondagem a percussão, Copasa, 2018.

3.1.1.3 Ensaio de penetração dinâmica

Os índices de penetração foram obtidos pela cravação do amostrador padrão através de quedas sucessivas do martelo padronizado com massa de ferro de 65 kg da altura de 75 cm, até

atingir a penetração de 0,45 m, anotando-se o número de golpes necessários a cravação a cada 0,15 m do referido amostrador padrão, ou conforme orientação da Norma Brasileira NBR – 6484/2020.

3.1.2 Localização dos serviços de sondagem

Foi realizado a locação e as coordenadas das sondagens (FIG. 12), na qual será implantada o sistema de esgotamento sanitário em Ubá-MG, totalizando 19 furos. No entanto, como o estudo de caso está avaliando somente o estudo geotécnico e estaqueamento dos reatores UASB da ETE, considerou-se apenas dois furos, denominados respectivamente como SP-11 e SP-12.

FIGURA 12 – Locação das sondagens referente aos reatores UASB da estação de tratamento de esgoto (ETE) Ubá-MG



Fonte: Relatório técnico sondagem a percussão, Copasa, 2018.

3.1.3 Relatórios de sondagens

As FIG. 13 e 14 que segue no anexo A e B, respectivamente, correspondem aos relatórios de sondagem de reconhecimento a percussão, nomeados de (SP-11) e (SP-12) realizados nos reatores UASB da (ETE) Ubá-MG.

Os relatórios de sondagens são demonstrados (N.A) nível da água no solo a 5,14 m (SP-11) e 5,47 m (SP-12) de profundidade, a (Classificação do material) são caracterizados pelo tipo do solo onde foi encontrado argila pouca arenosa com detalhes vegetais de cor marrom na superfície e posteriormente silte arenoso de cor amarela, silte arenoso com pouca mica e mica arenosa de cor cinza a 15,00 m (SP-11) e 13,00 m (SP-12) de profundidade.

É apresentado nos relatórios de sondagem (Resistência á Penetração x Profundidade) índice da resistência á penetração do solo conhecido (NSPT) consegue prever o tipo de fundação e a tensão admissível do solo na estaca através de cálculos.

Conforme a (FIG. 13 e 14) que segue no anexo A e B, foi observado nos relatórios de sondagem (SPT) que os pontos SP-11 e SP-12, apresentaram NSPT muitos baixos superficialmente, portanto aproximadamente a 15,00 m (SP-11) e 13,00 m (SP-12) de profundidade que obteve um NSPT satisfatório, ou seja, através do relatório de sondagem constatou-se que o solo tem uma baixa resistência superficial necessitando o uso da fundação profunda (HOMERO, 1996) através de estacas D42.

3.2 Estudo e análise da otimização das estacas dos reatores UASB na estação de tratamento de esgoto em Ubá – MG.

Conforme estudos e análise do consultor geotécnico da obra juntamente com os engenheiros da empresa CONSÓRCIO SES UBÁ, foi proposta a mudança da estaca pré-moldada de concreto armado protendido nomeada como D42, pela estaca pré-moldada de concreto armado protendido nomeada P31.

Para tal mudança foi necessário o estudo do projeto estrutural (FIG.15 e 16) que segue no anexo C e D, de forma a comprovar a viabilidade técnica da alteração.

A partir do projeto estrutural obteve-se: as cargas (permanentes e variáveis) da estrutura de concreto armado dos reatores UASB e os coeficientes de segurança da estrutura.

Após foram realizados os cálculos relacionando o relatório memorial de cálculo com o projeto estrutural do reator de acordo com COPASA (2018).

3.2.1 Projeto estrutural do reator UASB

3.2.1.1 Peso próprio

É possível encontrar o peso próprio das paredes e lajes de um reator UASB, a partir da EQ 1:

Equação 1:

$$Q = V_{\text{conc. armado}} \times Y_{\text{conc.}} = 580\text{m}^3 \times 2,5\text{tf/m}^3 = 1450 \text{ tf}$$

Onde:

Q = carga;

$V_{\text{conc. armado}}$ = volume do concreto armado = 580m^3 ;

$Y_{\text{conc.}}$ = peso específico do concreto armado, Norma NBR 6118/21: 25kn/m ou $2,5\text{tf/m}^3$.

Já o peso próprio dos distribuidores de vazões de um reator UASB é calculado a partir da EQ 2:

Equação 2:

$$Q = V_{\text{Dst's}} \times y_{\text{conc.}} = 24\text{m}^3 \times 2,5\text{tf/m}^3 = 60\text{tf}$$

Onde:

Q = carga;

$V_{\text{Dst's}}$ = volume dos distribuidores de vazão = 24m^3 ;

Y_{conc} = peso específico do concreto armado = $2,5\text{tf/m}^3$.

O peso próprio das escadas que promove acesso ao reator (UASB) é calculado a partir da EQ3:

Equação 3:

$$Q = V_{\text{conc. armado}} \times Y_{\text{conc.}} = 24\text{m}^3 \times 2,5\text{tf/m}^3 = 60\text{tf}$$

Onde:

Q =carga;

$V_{\text{conc. armado}} = \text{volume do concreto armado} = 24\text{m}^3$;

$Y_{\text{conc}} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,5\text{tf/m}^3$.

3.2.2 Sobrecarga

Através da EQ.4 é possível encontrar a sobrecarga das canaletas do reator (UASB):

Equação 4:

$$Q = V_{\text{canaleta}} \times Y_{\text{conc.}} = 11,4\text{tf/m}^3 \times 2,5\text{tf/m}^3 = 28,5\text{tf}$$

Onde:

$Q = \text{carga}$;

$V_{\text{canaleta}} = \text{volume da canaleta} = 11,4\text{tf/m}^3$;

$Y_{\text{conc.}} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,5\text{tf/m}^3$.

Através da EQ.5 é possível encontrar as sobrecargas da tampa do reator (UASB):

Equação 5:

$$Q = V_{\text{tamp.reat.}} \times Y_{\text{conc.}} = 0,115\text{tf/m}^3 \times 2,5\text{tf/m}^3 = 0,29\text{tf}$$

Onde:

$Q = \text{carga}$;

$V_{\text{tamp.reat.}} = \text{Volume da tampa do reator} = 0,115\text{tf/m}^3$;

$Y_{\text{conc.}} = \text{peso específico do concreto armado} = 2,5\text{tf/m}^3$.

Encontrou-se que as sobrecargas do guarda corpo do reator (UASB) é de $Q = 0,1\text{tf}$.

Através da EQ.6 é possível encontrar a sobrecarga do efluente 1 (referente ao primeiro tanque) do reator (UASB):

Equação 6:

$$Q = V_{h.máx.} \times Y_e = 882,57\text{m}^3 \times 1,15\text{tf/m}^3 = 1014,95\text{tf}$$

Onde:

Q = carga;

$V_{h.máx}$ = Volume da altura máxima do reator (UASB) = $882,57m^3$;

Y_e = peso específico do efluente = $1,15tf/m^3$.

A partir da EQ.7 é possível encontrar a sobrecarga do efluente 2 (referente ao segundo tanque) do reator (UASB):

Equação 7:

$$Q = V_{h.máx} \times Y_e = 882,57m^3 \times 1,15tf/m^3 = 1014,95tf$$

Q = carga;

$V_{h.máx}$ = Volume da altura máxima do reator (UASB) = $882,57m^3$;

Y_e = peso específico do efluente = $1,15tf/m^3$.

As sobrecargas das escadas que promove acesso ao reator (UASB) é de $Q = 0,1tf$

3.2.3 Somatório das cargas

Com o somatório do peso próprio (Eq.8) das EQ.1, EQ.2 e EQ.3 encontra-se o peso próprio da estrutura.

Equação 8:

$$P_p = (EQ.1) + (EQ.2) + (EQ.3) = 1450tf + 60tf + 60tf = 1570tf$$

Onde:

P_p = Peso próprio do reator (UASB).

Com o somatório das sobrecargas (Eq.9) das EQ.4, EQ.5, EQ.6, EQ.7 e dos dados existentes no memorial da estrutura no reator (UASB).

Equação 9:

$$S_c = 28,5tf + 0,29tf + 0,1tf + 1014,95tf + 1014,95tf + 1tf = 2059,74tf.$$

Onde: S_c = Sobrecargas no reator (UASB).

3.2.4 Somatório Total das cargas

Com o somatório do peso próprio (EQ.8) e das sobrecargas (EQ.9) da estrutura dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB), consegue-se a carga total do reator (EQ.10).

Equação 10:

$$QT.reator = Pp + Sc = 1570 + 2059,74 = 3629,82tf$$

Onde: QT.reator = Carga total do reator (UASB);

Pp = peso próprio;

Sc = sobrecargas.

3.2.5 Quantitativo das estacas

3.2.5.1 Coeficiente de segurança

Para quantificar as estacas que serão usadas na obra é adotado um coeficiente de segurança sobre a carga total do reator (UASB) (EQ.11).

Equação 11:

$$QT.seg. = 1,4 \times (3629,82tf) = 5081,76tf$$

Onde:

QT.seg = Carga do total do reator (UASB) com fator de segurança;

QT.reator = Carga total do reator (UASB)=3629,82tf;

Yseg. = coeficiente de segurança=1,4.

3.2.5.2 Número de estacas utilizadas

O número de estacas utilizados se dá pela razão entre a carga total com fatores de segurança e a carga resistente geotécnica da estaca (EQ.12).

Equação 12:

$$Nest. = QT.seg / Qrest.estacas \text{ geotécnicas}$$

$Nest = 5081,76 / 53,2 = 96$ estacas, mas o projetista adotou-se 98 estacas.

Onde: Nest. = Numero de estacas;

Qrest.seg = Carga do total do reator (UASB) com fator de segurança = 5081,76tf;

Qrest.estacas geotécnicas = Carga resistente geotécnica de cada estaca= 53,2 (FIG.16).

3.2.6 Carga distribuída nas estacas do reator (UASB)

A carga dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) é distribuída de forma igual para as 98 estacas pré-fabricadas de concreto, e através da EQ.13 determinou-se a carga solicitante de cada estaca, ou seja, a carga de trabalho da estaca P31.

Equação 13:

$$Qt.estacas = QT.reator / Nest. = 3629,82 / 98 = 37,03tf$$

Onde:

QT.reator = Carga total do reator (UASB)=3629,82tf;

Nest. = Numero de estacas;

Qt.estcas= carga de trabalho em cada estaca.

De acordo com os cálculos observa-se que a carga resistente da estaca P31, resiste a carga solicitante dos reatores UASB, satisfazendo o especificado no projeto estrutural dos reatores, na qual a máxima carga de trabalho das estacas é de 45tf (FIG.15), e nos cálculos foi encontrado o valor de 37,03tf.

3.2.7 Tensão admissível do solo na estaca

Segundo o relatório de avaliação geotécnica de estaqueamento (COPASA, 2021), a metodologia utilizada para determinar a capacidade de carga geotécnica das estacas foi a de DECOURT-QUARESMA. Os cálculos foram desenvolvidos baseando-se nas profundidades previstas que as estacas alcançaram durante a cravação, sendo satisfatórios os critérios de nega e repique para desenvolvimento de carga máxima geotécnica da estaca. As linhas grifadas em amarelo (FIG. 17) apresentam a carga máxima admissível (Qadm) prevista na estaca e a

profundidade sugerida para sua paralização, dados retirados da sondagem realizada na obra. Com base no relatório de avaliação geotécnica de estaqueamento a tensão admissível na estaca, em relação a profundidade de cravação prevista através do solo é 53,2 Tf; portanto sendo maior que a carga solicitante de cálculo 37,03 Tf, a estaca está trabalhando dentro seu limite de resistência, portanto o conjunto de estacas suporta, com certa segurança, as cargas provenientes do reator (UASB).

FIGURA 17 – Tensão admissível prevista na estaca

Serviço:		Cliente:		Proprietária:		
 FUNDAÇÕES E CONTRUÇÕES LTDA		 CONSÓRCIO SES UBA				
PROF.: (m)	N (SPT)	TIPO DE SOLO	QL (ton)	QP (ton)	QR (ton)	Qadm (ton)
1	2	Silte Arenoso	0,9	2,6	3,5	1,4
2	3	Silte Arenoso	3,1	5,2	8,3	3,7
3	5	Silte Arenoso	5,9	5,7	11,6	6,0
4	3	Silte Arenoso	7,8	6,8	14,5	7,7
5	5	Silte Arenoso	10,2	6,8	17,0	9,6
6	5	Silte Arenoso	12,7	6,8	19,5	11,5
7	3	Silte Arenoso	14,6	6,2	20,8	12,8
8	4	Areia	16,7	11,6	28,4	15,8
9	7	Areia	19,8	12,5	32,3	18,4
10	4	Areia	22,0	18,3	40,3	21,5
11	11	Areia	26,4	26,6	53,0	26,9
12	17	Areia	32,6	36,6	69,2	34,2
13	16	Areia	38,4	52,4	90,9	42,7
14	30	Areia	48,7	63,2	111,9	53,2
15	30	Areia	58,9	49,9	108,8	57,8

Fonte: Relatório de avaliação geotécnica de estaqueamento anexo 02, Copasa, 2021.

3.2.8 Comparativo das estacas P31 e D42 pré-fabricadas da empresa INCOPRE

3.2.8.1 Características físicas da estaca D42

- Estaca pré-moldada de concreto armado nomenclaturado como D42, com diâmetros de 42 cm;

- Vazada com 24 cm em seu interior;
- Produzidas pelo processo de vibração, com seção circular vazada ou plena;
- Capacidade de carga estrutural variando de 35 as 220 toneladas;
- Utilização de aço 50 A e 60 B;
- Concreto de 35 Mpa.

3.2.8.2 Características físicas da estaca P31

- Estaca pré-moldada de concreto armado de protensão nomenclaturado como P31, com diâmetros de 33 cm;
- Maciça;
- Capacidade de carga variando de 25 a 105 toneladas;
- Utilização de aço CP 175RB;
- Carga efetiva de protensão de 2600 kg;
- Concreto 35 Mpa.

3.2.8.3 Características técnicas

Nas FIG. 18 e 19 que segue no anexo E e F, estão apresentadas as características técnicas das estacas que compõe o projeto, referente ao catálogo da INCOPRE. A estaca pré-fabricada D42 tem maior resistência que a estaca pré-fabricada P31, em conformidade com a carga resistente de projeto, mas com os cálculos apresentados verificou-se que a P31 mesmo com a carga resistente inferior a de projeto resiste a carga solicitante dos reatores UASB, de acordo com a FIG. 17.

3.2.8.4. Confeção das estacas

As estacas P31 são confeccionadas por vibração, de modo contínuo para não ocorrer aparecimento de vazios, são maciças e tendo formato quadradas ou circulares (BARBOSA, 2021).

As estacas D42 são confeccionadas por centrifugação na qual a fôrma possa girar fazendo o concreto adensar corretamente, na qual se posiciona na face interna da fôrma formando uma seção vazada (DANZIGER, 2021).

3.2.9 Comparativo do custo das estacas pré-fabricadas P31 em relação a D42

O transporte das estacas pré-fabricadas P31 foi realizado pela da empresa INCOPRE, a mesma fabricante das estacas, por meio de carretas de dois eixos com capacidade de até 33 toneladas, por questões de segurança foi adotada a carga máxima de transporte de 25 toneladas.

O peso bruto total por metro médio das estacas P31 utilizadas no reator UASB é de 153 kg/m, podendo ser transportados até 166 metros de estacas pré-fabricadas totalizando o peso bruto de 25,3 t. A JBA TRANSPORTES RODOVIARIOS DE CARGA LTDA é a empresa contratante para os serviços de transporte, estabelecendo que o custo do transporte das estacas sob responsabilidade da empresa CONSÓRCIO SES UBÁ. O valor apresentado do transporte das estacas é de R\$ 2400,00 para transportar 166 metros de estacas P31. Foi realizado a contratação da Ubá Guindaste e Transporte-Ltda MG (FIG. 20) para proceder a descarga das estacas em consoante a nota fiscal N° 37887, correspondendo a R\$ 1250,00 reais a jornada de trabalho. Para atender a obra são necessários 4817 metros de estacas P31 totalizando 30 viagens

Em relação às estacas D42, de acordo com a ordem de compra das estacas pré-moldadas fornecida pela empresa INCOPRE o peso bruto total por metro das estacas é em média de 224 kg/m, sendo o peso bruto total 25,3 t totalizando o valor da nota em R\$ 15.989,60 reais, juntamente com a descarga do material correspondendo a nota N° 37887. São necessários 4817 metros de estacas para cravações das estacas D42 totalizando 43 viagens para o fornecimento do material. Na TAB. 1 são apresentados o custo do transporte, da descarga e compra das estacas P31 e D42.

FIGURA 20 – Descarga das estacas pela Ubá Guindaste e Transporte-Ltda MG



Fonte: Autor, (2018).

TABELA 1 – Comparativo de custo total da obra da troca das estacas D42 para P31

Descrição do produto	Quantidade total para atender a obra (m)	Quantidade de viagens total para atender a obra	Porcentual total de viagens (%)	Valor unitário da estaca (R\$)	Valor total do transporte para atender a obra (R\$)	Valor total da descarga por hora para atender a obra (R\$)	Valor total da compra das estacas para atender a obra (R\$)	Valor total do custo das estacas para atender a obra (R\$)
ESTACA P31	4817,00m	30	68%	R\$ 60,00	R\$ 72.000,00	R\$ 37.500,00	R\$ 289.020,00	R\$ 398.520,00
ESTACA D42	4817,00m	43	100%	R\$ 109,20	R\$ 103.200,00	R\$ 53.750,00	R\$ 526.016,40	R\$ 682.966,40
Economia gerada pela P31		13	32%	R\$ 49,20	R\$ 31.200,00	R\$ 16.250,00	R\$ 236.996,40	R\$ 284.446,40

Fonte: Autor, 2022.

De acordo com TAB. 1, pode-se observar que serão necessárias 13 viagens a menos ao utilizar as estacas P31 em relação as estacas D42, gerando uma economia de 32% (R\$ 31.200,00) em viagens de transportes. Os custos de descarga também serão menores resultando em uma economia de R\$ 16.250,00 reais.

O preço das estacas P31 equivale-se a R\$ 60,00 por metro, relacionando-se as estacas que foram cravadas na obra segundo a planilha de controle de cravação totalizaram-se na compra de 4817 metros, equivalendo o custo das estacas em R\$ 289.020,00. Já o preço das estacas D42 equivale-se a R\$ 109,20 por metro, utilizando-se as mesmas quantidades de compra das estacas P31 o custo seria bem maior resultando-se em R\$ 526.016,40, desde modo a obra obteve uma economia de R\$ 236.996,40.

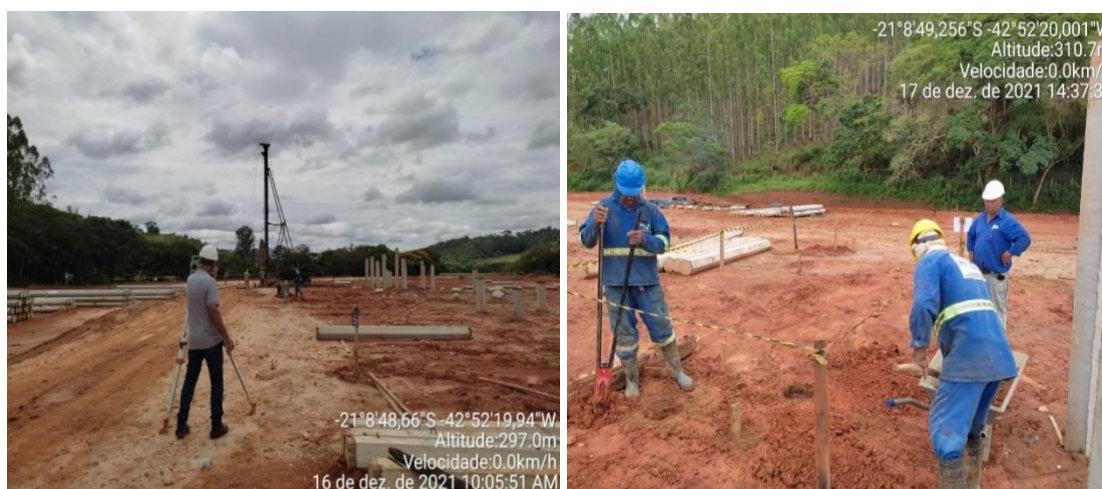
Através da análise do comparativo de custo na TAB. 1, tem-se a economia total gerada da obra 42,62% totalizando R\$ 284.446,40 reais por consequência da otimização das estacas D42 para P31.

3.2.10 Execução de cravamento das estacas

3.2.10.1 Topografia

Os serviços de topografia são realizados para marcar os pontos das estacas pré-fabricadas P31 (FIG. 21a), totalizando 294 pontos de estacas para três reatores UASB, em seguida é realizado o embocamento das estacas para implantação das mesmas (FIG. 21b).

FIGURA 21 – Topografia (a) e embocamento das estacas P31 (b)



(a)

(b)

Fonte: Autor, (2021).

3.2.10.2 Equipamentos

A empresa CONSÓRCIO SES UBÁ – CONATA ENGENHARIA LTDA, INFRACON ENGENHARIA E COMERCIO LTDA E RFJ CONSTRUTORA, contratou a empresa Setef Fundações Eireli para a realização do cravamento das estacas pré-fabricadas de concreto P31 nos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB), foram fornecidos dois bate estacas (FIG. 22).

FIGURA 22 – Bate estacas, equipamento de cravamento das estacas



Fonte: Autor, (2021).

3.2.10.3 Finalização da cravação das estacas pré-fabricados P31

Foi realizado o cravamento das estacas pré-fabricadas de concreto a P31 na obra dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB), obedecendo as especificações e as normas de cravamento, nega e repique. O bate estaca necessita de um operador para controlar a batida do martelo e de um auxiliar para o auxílio das emendas (FIG. 23a), notações das negas e diários de cravações (FIG. 23b).

FIGURA 23 – Execução de cravamento das estacas (a) diário de cravação das estacas P31 nos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB)



Fonte: Autor, (2021).

Foram cravados em 294 pontos de estacas, correspondendo a 4817 metros de estacas P31 (FIG. 24), conforme o projeto dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB).

FIGURA 24 – Finalização do cravamento das estacas P31 dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB)



Fonte: Autor, (2021).

3.2.10.4 Ensaio de carregamento dinâmico (PDA) nas estacas P31

Segundo o projeto dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) da estação de tratamento de esgoto de Ubá-MG estacas similares com diâmetros e capacidades nominais de

carga equivalentes podem ser adotadas, desde que a capacidade de carga dinâmica das estacas sejam comprovadas através de controle instrumentado de cravação, o ensaio de carregamento dinâmico (PDA). Pelas orientações do projetista de projeto da Copasa, realizou-se os ensaios de carregamento dinâmico (PDA) pela empresa FUNDATEST, nos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) (FIG. 25), em virtude da otimização das estacas pré-fabricadas D42 de projeto para as estacas pré-fabricadas P31.

FIGURA 25 – Ensaio de carregamento dinâmico (PDA) nas estacas P31 dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) (a e b)



Fonte: Autor, (2021).

As FIG. 26, 27 e 28, percebe-se os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico (PDA), no qual estabelece a máxima carga de trabalho das estacas P31, ou seja, a máxima carga resistente das estacas.

O resultado dos ensaios de carregamento dinâmico (PDA) das estacas apresentam força de compressão (tf) e tensão de compressão (kg/cm^2) indicando as cargas resistentes das estacas pré-fabricadas P31 dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) adotados pelos estudos, análises, cálculos e comparativos; diante disso o ensaio resultou em elevadas resistências das estacas pré-fabricadas P31, também são apresentados a força de tração (tf) e a tensão de tração (kg/cm^2) que é o trabalho da armadura nas estacas em conformidade com VELLOSO (2010).

Desse modo o ensaio de carregamento dinâmico (PDA) comprovou que a estaca pré-fabricada de concreto protendida P31 maciça fornecida pela empresa INCOPRE pode substituir a estaca pré-fabricada de concreto armado D42 vazada fornecida pela empresa INCOPRE, de forma segura sem afetar as características técnicas da estrutura de concreto armado dos reatores

anaeróbios de manto de lodo (UASB) na estação de tratamento de esgoto de Ubá-MG da Copasa.

Na FIG. 26 é possível observar as estacas E313, E333, E380, E374 e seus valores respectivamente a força de compressão, ou seja, a força resistente das estacas de 195,20 tf; 130,50 tf; 173,50 tf; 152,70 tf sendo que a carga de trabalho solicitante em cada estaca em conformidade a EQ. 13 de 37,07 tf, assim a carga solicitante de trabalho por estaca é muito inferior a força de compressão resistente por estaca, portanto a estaca P31 resiste as cargas atuantes da estrutura.

FIGURA 26 – Resultado do ensaio de carregamento dinâmico (PDA) nas estacas P31

RESUMO - ANÁLISES CAPWAP – Reator 1 e 2				
Máxima tensão de compressão e tração aplicada à estaca pelo martelo utilizado				
Estaca	Força de Compressão (tf)	Tensão de Compressão (kg/cm ²)	Força de Tração (tf)	Tensão de Tração (kg/cm ²)
E313 – R1	195,20	312,82	16,00	25,64
E333 – R1	130,50	209,13	9,90	15,87
E380 – R1	173,50	278,04	17,70	28,37
E374 – R2	152,70	244,71	9,90	15,87

Fonte: FUNDATEST, relatório 16020101/2021, Resultado dos Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA) em estacas de concreto tipo “Pré-Moldada - Incopre” executadas para obra da ETE -Estação de Tratamento de Esgoto – Ubá/MG, (2021).

Na FIG. 27 é capaz de observar as estacas E215, E230, E282, E273 e seus valores respectivamente a força de compressão, ou seja, a força resistente das estacas de 177,50 tf; 185,80 tf; 176,30 tf; 127,60 tf sendo que a carga de trabalho solicitante em cada estaca em conformidade a EQ. 13 de 37,07 tf, assim a carga solicitante de trabalho por estaca é muito inferior a força de compressão resistente por estaca, portanto a estaca P31 resiste as cargas atuantes da estrutura.

FIGURA 27 – Resultado do ensaio de carregamento dinâmico (PDA) nas estacas P31

RESUMO - ANÁLISES CAPWAP – Reator 3 e 4				
Máxima tensão de compressão e tração aplicada à estaca pelo martelo utilizado				
Estaca	Força de Compressão (tf)	Tensão de Compressão (kg/cm ²)	Força de Tração (tf)	Tensão de Tração (kg/cm ²)
E215 – R3	177,50	284,46	5,90	9,46
E230 – R3	185,80	297,76	6,10	9,78
E282 – R3	176,30	282,53	7,10	11,38
E273 – R4	127,60	204,49	17,90	28,69

Fonte: FUNDATEST, relatório 16020101/2021, Resultado dos Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA) em estacas de concreto tipo “Pré-Moldada - Incopre” executadas para obra da ETE -Estação de Tratamento de Esgoto – Ubá/MG, (2021).

Na FIG. 28 é observado as estacas E117, E152, E178, E184, E113 e seus valores respectivamente a força de compressão, ou seja, a força resistente das estacas de 213,00 tf; 171,20 tf; 202,40 tf; 174,10 tf, 181,50 tf sendo que a carga de trabalho solicitante em cada estaca em conformidade a EQ. 13 de 37,07 tf, assim a carga solicitante de trabalho por estaca é muito inferior a força de compressão resistente por estaca, portanto a estaca P31 resiste as cargas atuantes da estrutura.

FIGURA 28 – Resultado do ensaio de carregamento dinâmico (PDA) nas estacas P31

RESUMO - ANALISES CAPWAP – Reator 5 e 6				
Máxima tensão de compressão e tração aplicada à estaca pelo martelo utilizado				
Estaca	Força de Compressão (tf)	Tensão de Compressão (kg/cm ²)	Força de Tração (tf)	Tensão de Tração (kg/cm ²)
E117 – R5	213,00	341,35	25,30	40,54
E152 – R5	171,20	274,36	34,90	55,93
E178 – R6	202,40	324,36	24,70	39,58
E184 – R5	174,10	279,01	18,50	29,65
E113 – R6	181,50	290,87	33,10	53,04

Fonte: FUNDATEST, relatório 16020101/2021, Resultado dos Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA) em estacas de concreto tipo “Pré-Moldada - Incopre” executadas para obra da ETE -Estação de Tratamento de Esgoto – Ubá/MG, (2021).

Os ensaios de carregamento dinâmico (PDA) comprovaram que a estaca pré-fabricada de concreto protendida P31 maciça pode substituir a estaca pré-fabricada de concreto armado D42, de forma segura sem afetar as características técnicas da estrutura de concreto armado dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) na estação de tratamento de esgoto de Ubá -MG da Copasa.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que há otimização das estacas pré-fabricadas de concreto D42 estabelecidas no projeto para as estacas pré-fabricadas de concreto P31, a partir de demonstrativos, comparativos, cálculos e análises que a estaca pré-fabricada de concreto P31 suporta as cargas solicitadas dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB), garantindo uma economia de R\$ 284.446,40 para a empresa.

Através do pré-dimensionamento o engenheiro pôde analisar e solucionar o infortúnio da estrutura de fundação superdimensionada dos reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB), portanto o engenheiro deve estar atento e se sobressair no mercado de trabalho fazendo o diferencial para gerar soluções cabíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Antônio Marcos de Lima; LOPES, Francisco de Rezende; DANZIGER, Bernadete Ragoni. Métodos dinâmicos para previsão e controle do comportamento de estacas cravadas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio de Janeiro, n.4, p.12-21, abril 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, p. 2, 3. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo, Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Estruturas de concreto armado - Procedimentos. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos - Amostra Indeformada. Rio de Janeiro.2022.

BARBOSA, Eduarda P. **Fundações rasas e profundas**. Editora Saraiva, 2021. E-book. 9786589965145. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786589965145/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

CAPUTO, Homero. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1996.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbicos**. Londres, 2007.

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

CORTEZ, Alexandre Schmidt. Custo da não-qualidade na construção civil: Estudo empírico em um consórcio de empresas. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, São Paulo, 2002.

COPASA, Avaliação de Projetos Geotécnicos de Estaqueamento da Obra de Implantação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). **Relatório**. Ubá, p. 1-7, junho 2021.

COPASA. Projeto Estrutural – Tomo II: Estação de Tratamento de Esgoto, Memórias de Cálculos Estruturais – Reatores Anaeróbios. **Relatório 08210599-ES-EC-01-ETE-RAN01-MC-001-1-OEM-2018**. Ubá, p. 1-89, março 2018.

COPASA. **Relatório Sondagem a Percussão - Implantação (ETE)**. Ubá, p. 1-65, novembro 2018.

COPASA. **Relatório de avaliação geotécnica de estaqueamento**. Ubá, p. 1-24, junho 2021.

COPASA, Sugestão de adequação de Estacas para Projeto Executivo – Memorial de Cálculo. **Relatório**. Ubá, p. 1-7, junho 2021.

DANZIGER, Bernadete R. **Fundações em Estacas**. Grupo GEN, 2021. E-book. 9788595158122. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595158122/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

DE MENEZES, Itamires Santos; MENDONÇA, Luciana Côelho. **Avaliação do tratamento preliminar da estação de tratamento de efluentes**. Campus de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão: Scientia Plena, 2017.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO. Disponível em < <https://www.benaton.com.br/estaca-pre-moldada-de-concreto> >. Acesso em: 19 set. 2022.

ESTACAS METÁLICAS E PRÉ-MOLDADAS. Disponível em < <https://www.fundacoesrossi.com.br/estacas-metalicas-e-pre-moldadas/> >. Acesso em: 19 set. 2022.

FALCONI, Frederico et al. **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

FUNDATEST, Resultado dos Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA) em estacas de concreto tipo “Pré-Moldada - Incopre” executadas para obra da ETE - Estação de Tratamento de Esgoto. **Relatório 16020101/2021**. Belo Horizonte, p. 1-157, dezembro 2021.

GADOTTI, Suelen Suelen. Patologia das fundações: desenvolvimento de tabelas para catalogar origem, causas, mecanismo. **Revista de extensão e iniciação científica da unisociesc**, Santa Catarina, v. 8, n.1, p. 1-27, fevereiro 2021.

GOOGLE EARTH. Disponível em < https://earth.google.com/web/?search=uba-mg/@-21.14878662,-42.87470499,299.9711668a,1837.57922648d,35y,176.19889288h,0.58371346t,0r/data=Cm8aRRI_CiMweGEzMTk1YTIzMGZkOWQxOjB4MzE5YjE5OGI0ZDliZGEzMRkfNkcM8R41wCGWtD3VfHhFwCoGdWJhLW1nGAEGASImCiQJ16G4WUI3NUAR6zbVwI3DMsAZ2Afr9DWVRUAhjTOeBvysTcA >. Acesso em: 20 nov 2022.

KLENK, Gislaine; NETO, Luiz Russo. Análise da cravabilidade de estacas através de simulações computacionais com uso da teoria da propagação da onda. **Revista Técnico-Científica**, Paraná, ed. 2, p. 1-17, setembro 2017.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2016.

MURAKAMI, D. K. et al. **Correlação entre Prova de Carga Estática e Ensaio de Carregamento Dinâmico em Estaca Pré-Moldada de Diâmetro 50cm**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, 2016.

NAVA, Leandro; DE LIMA, Claudemir. Avaliação da eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (Etezt) instalada no Horto Florestal de Caçador-SC. **IGNIS Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo Engenharias e Tecnologia de Informação**, Santa Catarina, v.1, n.1, p. 17-33, julho 2012.

ORSSATTO, Fábio; HERMES, Eliane; VILAS BOAS, Marco Antonio. Eficiência de remoção de óleos e graxas de uma estação de tratamento de esgoto sanitário Cascavel-Paraná. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo, v. 7, n. 4, p. 249-256, out./dez 2010.

PEREIRA, Erlon Lopes; CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro; MOTERANI, Fabrício. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 4, n. 3, p.1-13, 2009.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

QUEIROZ, Roberlei Aldo; CASTILHO, Ricardo; WIECZORKOWSKI, Stela Franco. LEI Nº 14.026/2020: breves contrastes do novo marco legal do saneamento básico. **Revista TCEPR**, Curitiba, n.28, p.10-26, abr./jun. 2020.

RODRIGUES, Luciano S. et al. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 94-100, janeiro 2010.

VELLOSO, Dirceu de Alencar. LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

FIGURA 13 – Relatório de sondagem de reconhecimento a percussão (SP-11)

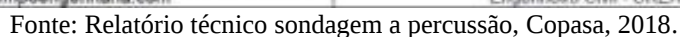


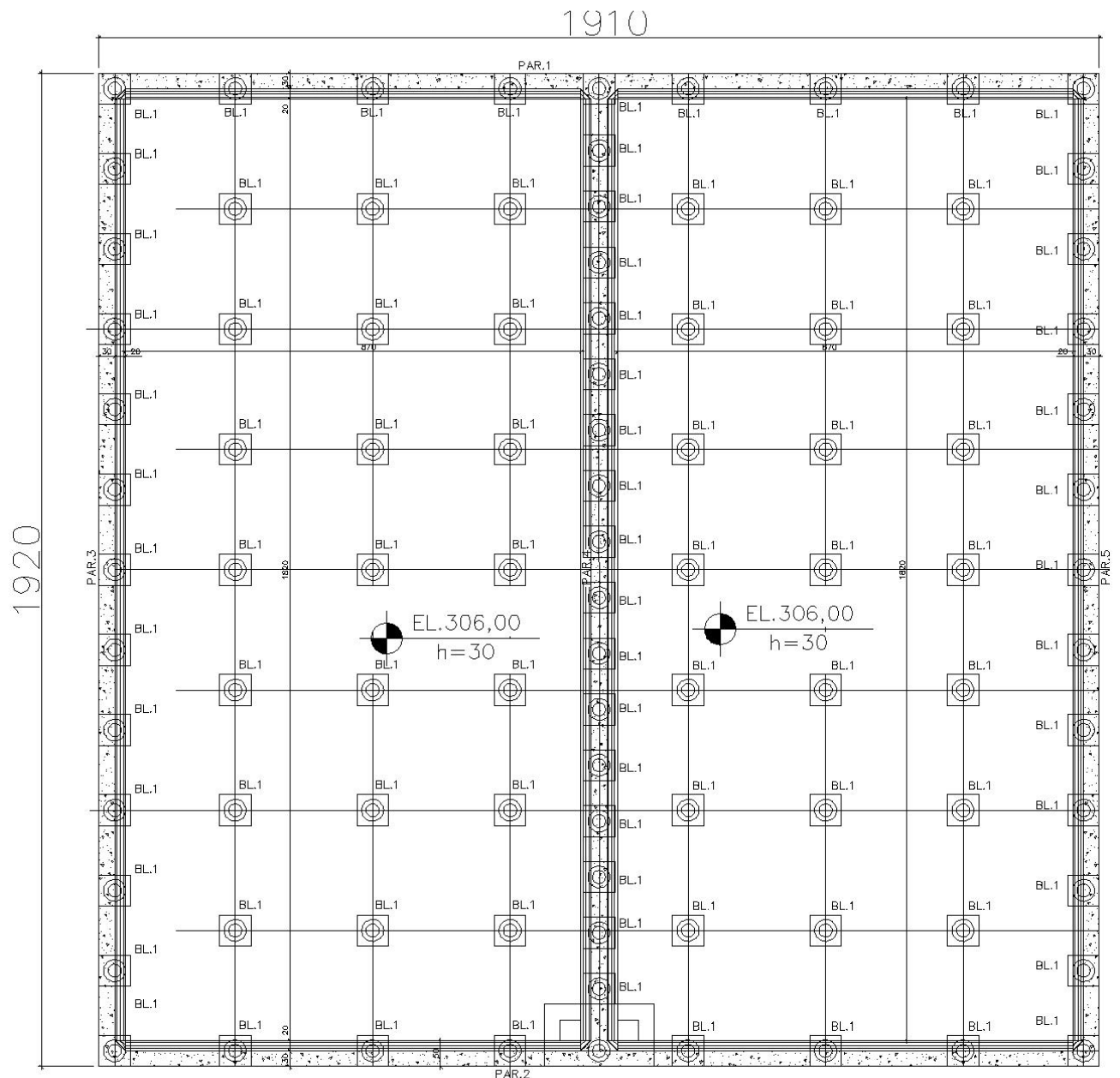
FIGURA 14 – Relatório de sondagem de reconhecimento a percussão (SP-12)



Fonte: Relatório técnico sondagem a percussão, Copasa, 2018.

ANEXO C – PROJETO ESTRUTURAL DOS REATORES UASB DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UBÁ-MG

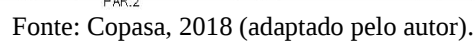
FIGURA 15 – Projeto estrutural do reator UASB da estação de tratamento de esgoto de Ubá-MG



QUANTITATIVO	
FORMA (m2)	2550
CONCRETO ESTRUTURAL (m3)	580
CONCRETO MAGRO (m3)	20

Fonte: Copasa, 2018 (adaptado pelo autor).

FIGURA 16 – Projeto estrutural do reator UASB da estação de tratamento de esgoto de Ubá-MG



ANEXO E – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS REFERENTE AO CATÁLOGO INCOPRE DA ESTACA P31

FIGURA 18 – Características técnicas referente ao catálogo INCOPRE

CARACTERÍSTICAS	UND.	P17	P20	P24	P27	P31	P34	NOTAS
Área de seção cheia	cm ²	188	260	374	474	624	751	1- As cargas admissíveis apresentadas na tabela acima referem-se às estacas como elementos estruturais. A capacidade de carga das estacas cravadas é função de suas interações com o solo, dependendo do perfil geotécnico onde as estacas estiverem embutidas; 2- Norma Brasileira de referência; ABNT NBR 16258:2014- ESTACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO; 3- Concreto $f_{ck} \geq 40,0 \text{ MPa}$; 4- AÇO CA50 (estribos), AÇO CP175RB (armadura longitudinal); 5- E_{sc} = Módulo de Deformação Secante $\geq 26 \text{ GPa}$. 6- Fator água cimento: $a/c \leq 0,45$; 7- Coeficiente de Majoração dos Esforços: $\gamma_f = 1,4$; 8- Coeficientes de Ponderação dos Materiais: Concreto $\gamma_c = 1,30$ Aço, $\gamma_s = 1,10$; 9- Teor de Argamassa (TA): 40 a 50%. 10- Absorção de água por imersão $\leq 6\%$.
Área de seção de concreto	cm ²	188	260	374	474	624	751	
Perímetro	cm	51	60	72	81	93	102	
Massa nominal	Kg/m	47	65	94	119	156	188	
Raio de giração (i)	cm	3,9	4,6	5,5	6,2	7,1	7,8	
Momento de inércia (I)	cm ⁴	2825	5413	11224	17978	31242	45207	
Momento resistente (w)	cm ³	384	625	1080	1538	2331	3075	
Armação longitudinal		3CPø5	4CPø5	4CPø5	5CPø5	6CPø5	6CPø5	
Compressão admissível SEM excentricidade	tf	25	35	50	70	90	110	
Compressão admissível COM excentricidade	tf	20	29	47	58	83	102	
Tração admissível	tf	3,6	5,4	5,4	6,9	8,6	8,7	
Equações das retas COM excentricidade		$M = 0,0194N$	$M = 0,0202N$	$M = 0,0212N$	$M = 0,022N$	$M = 0,0231N$	$M = 0,0238N$	

Fonte: Incopre – Pré-fabricados de concreto ⁴

⁴ Disponível em < <http://incopre.com.br/>> Acesso em set.2022.

ANEXO F – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS REFERENTE AO CATÁLOGO INCOPRE DA ESTACA D42

FIGURA 19 – Características técnicas referente ao catálogo INCOPRE

CARACTERÍSTICAS	UND.	ø18	ø23	ø26	ø33	ø38	ø42	ø50	ø60	NOTAS
Área de seção cheia	cm ²	254	415	531	855	1134	1385	1963	2827	1- As cargas admissíveis apresentadas na tabela acima referem-se às estacas como elementos estruturais. A capacidade de carga das estacas cravadas é função de suas interações com o solo, dependendo do perfil geotécnico onde as estacas estiverem embutidas; 2- Norma Brasileira de referência; ABNT NBR 16258:2014-ESTACAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO; 3- Concreto fck≥40,0MPa; 4- AÇO CA60 (estribos), AÇO CA 50 (armadura longitudinal); 5- Esc = Módulo de Deformação Secante≥26GPa. 6- Fator água cimento: a/c ≤ 0,45; 7- Coeficiente de Majoração dos Esforços: Yf=1,4; 8- Coeficientes de Ponderação dos Materiais: Concreto γc=1,30 Aço, γs=1,10; 9- Teor de Argamassa (TA): 40a 50%; 10- Absorção de água por imersão ≤ 6%.
Área de seção de concreto	cm ²	254	415	531	601	754	895	1257	1693	
Perímetro	cm	56	72	82	104	119	132	157	188	
Massa nominal	Kg/m	64	104	133	150	188	224	314	423	
Raio de giração (i)	cm	4,5	5,8	6,5	7,9	9,0	9,8	11,7	13,7	
Momento de inércia (I)	cm ⁴	5153	13737	22432	53061	90855	133570	267035	533819	
Momento resistente (w)	cm ³	572	1194	1725	3216	4782	6360	10681	17794	
Armação longitudinal		5ø6.3	5ø8.0	5ø8.0	7ø8.0	8ø8.0	10ø8.0	13ø8.0	18ø8.0	
Compressão admissível SEM excentricidade	tf	40	65	85	115	140	165	220	325	
Compressão admissível COM excentricidade	tf	37	60	80	100	120	150	210	300	
Tração admissível	tf	3,8	6,6	6,6	9,6	11,2	14,1	18,5	26	
Equações das retas COM excentricidade		M= 0,0204N	M= 0,0219N	M= 0,0228N	M= 0,0249N	M= 0,0264N	M= 0,0276N	M= 0,03N	M= 0,033N	

Fonte: Incopre – Pré-fabricados de concreto ⁵

⁵ Disponível em < <http://incopre.com.br/>> Acesso em set.2022.