



APLICAÇÃO DE PAREDES CORTA FOGO PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

APPLICATION OF PRE-MANUFACTURED CONCRETE FIREWORKS IN ELECTRICAL ENERGY SUBSTATIONS

BAIÃO, Francisco José¹; FARIAS, Sérgio Furtado de Souza²;

Orientador: Prof. André Marchesan – Universidade São Francisco
franciscobaiao@hotmail.com; furtado.farias@uol.com.br

RESUMO. Todo tipo de empreendimento, seja ele de grande, médio ou pequeno porte, exige um planejamento e logística apurados, pois sem os mesmos este tende a oferecer imprevistos que poderão ocasionar atrasos e prejuízos financeiros ao proprietário ou acionistas. Em razão disto, o planejamento deve ser realizado adequadamente para cada tipo de obra, sendo assim, para a obra em locais especiais, como usinas geradoras, subestações de transmissão ou distribuição de energia elétrica, deve-se gerar uma atenção redobrada, pois, os riscos de acidentes e problemas diversos aumentam exponencialmente, devido uma quantidade enorme de fatores de riscos que envolvem obras nestes locais a todo instante. Dessa forma, a execução de um empreendimento em elementos pré-fabricados, conforme o desenvolvido no projeto em questão, acaba se tornando uma alternativa muito mais interessante, tanto do ponto de vista técnico, financeiro, de sustentabilidade e segurança, pois, este tipo de material oferece características únicas no momento da aplicação. Qualidade superior, pois, são confeccionados em ambientes com controles de qualidade elevados, superando exponencialmente aos de materiais aplicados e produzidos diretamente na obra, além disso, proporcionam agilidade na execução diferentemente de outros métodos construtivos, como o de concreto armado ou de alvenaria de vedação.

Palavras-chave: Pré-Fabricados, custos, segurança, sustentabilidade e agilidade de execução.

ABSTRACT. Every type of enterprise, be it large, medium or small, requires planning and logistics, because without them, it tends to offer unforeseen events that may cause delays and financial losses to the owner or shareholders. Because of this, planning must be carried out adequately for each type of work, so, for work in special places, such as generating plants, transmission or distribution substations of electricity, accident risks and miscellaneous problems increase exponentially due to a huge amount of risk factors that involve works in these locations at all times. In this way, the execution of an enterprise in prefabricated elements, as developed in the project in question, becomes a much more interesting alternative, from the technical, financial, sustainability and security point of view, since this type of material offers unique characteristics at the time of application. Superior quality, therefore, are made in environments with high quality controls, surpassing exponentially those of materials applied and produced directly in the work, in addition, they provide agility in the execution unlike other constructive methods, such as reinforced concrete or masonry of sealing.

Keywords: Pre-fabricated, cost, security, sustainability and agility of execution.

INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo, as técnicas e formas de gerenciar os projetos na construção civil acabaram tornando-se temas recorrentes em diversos estudos e pesquisas, pois, muitos dos profissionais acabaram por perceber que esse tipo de papel no decorrer de uma obra influência e muito em diversos aspectos que tendem a trazer benefícios positivos e negativos, dependendo da forma que são tratados.

A partir disso, ferramentas e cursos foram desenvolvidos a fim de facilitar e transformar este setor na área de obras.

Apesar disto, no Brasil podem ser observadas novas técnicas e ideias que tendem a filtrar e monitorar as etapas de um projeto, buscando sempre a redução dos prazos e custos de um empreendimento, mas, o mesmo ainda encontra-se em fase de desenvolvimento, visto que ainda falta muito para que uma visão mais ampla e elaborada possa ser aplicada no setor de gerenciamento de obras e projetos (PINTO, 2012).

Esse tipo de processo pode ser notado de forma mais aparente em obras de grande porte, no qual o despreparo de muitos profissionais afeta de forma direta e indireta o desenvolvimento da obra, muitas vezes trazendo problemas que acabam sendo notados apenas após a conclusão da mesma, para os usuários que irão usufruir das construções.

Porém, esse tipo de gestão mais qualificado tem que ser notado desde a parte de elaboração do projeto e no caso de obras de grande porte, da escolha dos locais onde serão executadas, como no caso da construção das paredes corta fogo (PCF) na Subestação Água Vermelha, na qual iremos concentrar nossos estudos e posteriormente iremos analisar e indicar a substituição de paredes convencionais pelas paredes pré-fabricadas, pois além destas trazerem alguns benefícios estruturais, trazem também diminuição de riscos de acidentes de trabalho, redução de custos e prazos sendo uma aplicação mais limpa e sustentável.

Contudo, com o aumento exponencial de empresas e mão-de-obra no ramo da construção civil gera-se a necessidade das empresas que já estão no mercado e das que estão surgindo especializarem-se cada vez mais para que se tornem competitivas o bastante para obter sucesso e conseguir perdurar no ramo, sendo que o planejamento acaba se tornando uma ferramenta essencial para que estas consigam atingir esses parâmetros, visando que o custo/benefício de um empreendimento seja rentável para as empresas. Logo, em obras de grande porte este controle e gerenciamento tem que ser ainda mais minucioso, a fim de diminuir as chances de gerar problemas, já que em obras desta magnitude, quando surgem os problemas, estes são sempre em grandes proporções e na maioria das vezes acabam gerando custos inesperados, falta de tempo e de pessoal qualificado afetando diretamente a rentabilidade do projeto e a imagem da empresa.

OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo, visam analisar questões técnicas voltadas ao respeito às normas técnicas e legislação vigente, o tempo de execução, uma vez que empresas do setor de energia elétrica possuem prazos regulados pela ANEEL e em muitos dos casos a antecipação de uma obra gera um retorno antecipando dos investimentos ali aplicados.

A segurança do trabalho, avaliando o cenário, quantidade de trabalhadores x tempo de execução, os investimentos, avaliando o custo x benefício de se construir a mesma estrutura da forma convencional x pré-fabricadas e a sustentabilidade desta aplicação, uma vez que a engenharia, principalmente a engenharia civil, deve exercer um papel de protagonismo em busca de soluções sustentáveis não apenas para construção civil, mas para a engenharia como



um todo, sendo que a mesma, possui interface com diversos ramos e atividades da engenharia, não restringindo-se apenas a civil.

BREVE RELATO HISTÓRICO

Gerenciamento de Obras e Projetos

Projetos e obras de grande porte vem sendo executadas desde os tempos antigos, sejam elas as pirâmides no Egito, a Muralha da China, o Coliseu entre outros. Logo, o gerenciamento de projetos e de obras não é um assunto novo e nem uma novidade no ramo da construção civil, porém este vem mostrando uma necessidade de avanço e de inovação com o decorrer do tempo (MARCONDES, 2017).

Os primeiros relatos mais claros de gerenciamento de obras e planejamento começaram a surgir próximos ao ano de 1860, no momento em que obras obtiveram um crescimento nos países mais desenvolvidos (RIBEIRO, 2016).

Ainda segundo Ribeiro, Frederick Taylor (1856-1915) foi um dos pioneiros a iniciar o pensamento da organização para desenvolver projetos de grande porte. Porém, no início o pensamento era de que se fosse aumentado a carga de trabalho e fosse exigido um maior comprometimento dos colaboradores, que isso geraria mais produtividade no empreendimento, Ribeiro contudo apresentou o princípio de que esse pensamento era equivocado, sendo que a análise deveria ser feita separadamente em cada área de atuação e que deveriam ser investidos tempos e recursos na profissionalização e capacitação dos profissionais para dar mais qualidade e produtividade no empreendimento (RIBEIRO, 2016).

Contudo, foi Henry Gantt (1861-1919) que revolucionou a forma como gerenciamento de projetos e de obras seria encarado, ou seja, ele estruturou uma barra de tarefas e marcos com as durações, sequências e responsáveis pelas atividades do projeto, sendo um dos principais responsáveis para que ferramentas de gerenciamento de projetos e obras fossem desenvolvidas, tais como gráficos PERT (Program Evaluation and Review Technique - Avaliação do Programa e Técnica de Revisão), nada mais é do que uma técnica que permite gerenciar o andamento e o calendário de um projeto, e o método CPM (Critical Path Method - Método do Caminho Crítico), é o método que procura representar por meio de gráficos e ilustrações as fases de execução de um projeto (PIRES, 2010).

Com a necessidade dos avanços e da profissionalização do gerenciamento, surgiu no século XX a disciplina metodizada de gerenciamento de projetos, para capacitar os profissionais nesse ramo que até o momento era negligenciado pelas pessoas que atuavam no ramo das construções, contudo, como a maneira de agir ainda continuava a mesma, houve a necessidade do surgimento do supervisor de projetos, um profissional mais capacitado, que sabia ler e executar os cálculos passados nos projetos, para trazer um passo mais qualificado no campo e para as empresas (MARCONDES, 2017).

Outro fator importante e que faz parte do bom andamento do setor da construção civil é a gestão de pessoas e a falta de mão de obra qualificada, que no momento não foram e nem vem sendo tratados de forma adequada e é um fator que afeta diretamente também o aspecto financeiro de uma obra (BARREIROS e ZANKUL, 2014).

O Gerenciamento tem correlação direta com o Projeto, o qual é definido como um empreendimento com início e fim claramente definidos e que deve ser conduzido por pessoas a fim de atingir os objetivos respeitando os pontos de prazo, custo e qualidade final para os usuários que irão usufruir da obra acabada (MENEZES, 2001).

Subestações de Energia Elétrica

Podemos denominar subestações de energia elétrica como o conjunto de máquinas, aparelhos e circuitos cuja finalidade é modificar os níveis de tensão e corrente, permitindo a distribuição de energia a sistemas e linhas diversos.

Elas são classificadas de acordo com a função, nível de tensão, tipo de instalação e quanto a forma de operar.

A SE Água Vermelha faz parte do complexo da Usina Hidrelétrica José Ermírio de Moraes, localizada entre os municípios de Ouroeste e Iturama na bacia do Rio Grande.

As obras de construção da usina remontam ao ano de 1973 e sua entrada em operação agosto de 1978.

O projeto alvo deste estudo é um reforço ao sistema de transmissão sob concessão da CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, autorizado por meio da resolução autorizativa nº 6788 de dezembro de 2017 e alterada através da resolução 6885 de março de 2018.

Conforme resolução a obra no complexo de Água Vermelha consiste na substituição do Autotransformador nº 4 no setor de 500kV na qual também serão executadas a substituição de 02 disjuntores, 05 seccionadoras, 06 transformadores de corrente, 01 transformador de potencial, 03 para raios e instalação de 02 transformadores de potencial.

Com a substituição do autotransformador nº4, faz-se necessária a substituição das paredes corta fogo, alvo deste estudo.

Estruturas Pré-Fabricadas no Brasil

Como o Brasil acabou não sofrendo os impactos da Segunda Guerra Mundial e suas devastações, conforme ocorrido no território europeu, o conceito de pré-fabricado no território brasileiro, segundo Vasconcelos (2002), teve início com o Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. A aplicação dos elementos foi realizada pela empresa dinamarquesa Christiani-Nielsen, a qual possuía uma filial no Brasil, onde a mesma aplicou diversos elementos pré-fabricados, ou seja, as estacas das fundações e as cercas no perímetro da área reservada. Contudo, a preocupação com a racionalização de sistemas construtivos teve início no fim da década de 50. Nesse período, segundo Vasconcelos (2002), a Construtora Mauá, a qual era especializada em construções industriais, executou obras de galpões pré-moldados, sendo essas executadas no próprio canteiro de obra.

Já para edifícios de múltiplos pavimentos, esse conceito de pré-fabricados foi aplicado no Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo aproximadamente no ano de 1964, conforme detalha Vasconcelos (2002).

Outro fator importante, conforme Brito e Gantois (2013), trata-se dos custos x benefícios que esse tipo de processo agrega a obra, visto que com o passar do tempo os itens pré-fabricados estão sendo confeccionados fora do canteiro de obra, segundo padrões rigorosos de qualidade, acabam tornando-se um material melhor e que acaba, além de trazer um ganho no empreendimento de tempo, pois o mesmo já vem pronto para ser aplicado segundo projetos repassados anteriormente, também resulta em uma menor perda de material na obra, visto que em todo tipo de canteiro, por menor que seja, ocorrem muitas perdas de material durante sua aplicação.

O produto pré-fabricado é literalmente industrial, ou seja, os componentes são produzidos em linhas de montagem, sendo que quando estão prontas, sejam transportadas e montadas diretamente no ambiente da obra, sendo que dessa forma ocorre uma diminuição de



mão-de-obra, de tempo e aumento de qualidade e um aumento de segurança, pois os funcionários acabam sendo expostos de uma forma mais regrada as condições climáticas e aos ambientes mais controlados de trabalho (ALBUQUERQUE; EL DEBS; MELO, 2010).

Tipos de Sistemas Pré-Fabricados

Segundo ACKER (2002), existem na indústria de pré-fabricados diversos tipos de estruturas com uma grande variedade de sistemas, técnicas e soluções construtivas, sendo as mais conhecidas as que seguem descritas abaixo:

- Estruturas aporticadas, consistindo de pilares e vigas de fechamento, que são utilizados para construções industriais, galpões, armazéns, etc; (ACKER, 2002).

- Estruturas em esqueleto, composto pelos elementos: pilares, vigas e lajes, para edificações de alturas variadas. São utilizadas, principalmente para construções de escritórios, escolas, hospitais, estacionamentos e centros comerciais; (ACKER, 2002).

- Estruturas em painéis portantes, composta por painéis verticais e de lajes, usadas extensivamente para a construção de casas, apartamentos, habitações, hotéis, escolas, etc; (ACKER, 2002; LEAL, 2015).

- Estruturas para pisos, na qual existem vários tipos de elementos de laje disponíveis no mercado, para formar uma estrutura capaz de distribuir a carga concentrada e transferir as forças horizontais para os sistemas de contraventamento. Os pisos pré-moldados são usados em conjunto com todos os tipos de sistemas construtivos, não restrito apenas a estruturas pré-fabricadas; (ACKER, 2002).

Quando o assunto é custo, esse aspecto da alvenaria comum frente ao custo da alvenaria pré-fabricada, o uso a alvenaria pré-fabricada tem um custo em determinados campos de 30% a 40% mais baixo que o outro. Logo, esse tipo de material quando se leva em consideração o âmbito geral de uma obra, no custo x benefício acaba gerando vantagens e ganhos em um empreendimento (ALVES, 2014).

A segurança em uma obra também é outro fator importante, visto que com esse tipo de produtos, os mesmos são produzidos em um ambiente industrializado fora do canteiro de obra, e quando está sendo aplicado na obra, este será realizado por equipamentos específicos à técnica construtiva, como gruas, guindastes e afins, por isso a segurança dos operários e dos demais colaboradores de um empreendimento acabam sendo elevados.

No quesito sustentabilidade, o tema não é somente do impacto ambiental, mas sim um tipo de estrutura que, como no Brasil o setor da Construção Civil não recebe os investimentos necessários para seu desenvolvimento como em países mais desenvolvidos, apresente um tempo de vida útil maior que o normal para que estes não necessitem de um reparo ou de reformas, pois esse tipo de procedimento irá gerar custos e gastos em vários setores, o que acaba tornando-se mais difícil acontecer. Por isso, o pré-fabricado bem elaborado por empresas certificadas acaba gerando vários benefícios em vários setores como na sustentabilidade, pois como é preparado em um ambiente mais controlado, haverá pouca perda de material, fazendo assim com que o mesmo torne-se mais sustentável e viável (MARCIANO, 2005).

Quando se trata de estruturas pré-fabricadas, deve-se lembrar das normas que as regem, sendo elas a NBR ABNT 9062 – Projeto e Execução de estrutura de Concreto Pré-Moldada e a NBR ABNT 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimentos, pois são estas que norteiam os projetos e a qualidade que cada peça deve oferecer para assim, potencializar as suas qualidades no campos que serão utilizados. Como a NBR ABNT 9062 não é muito clara quando o assunto trata do cobrimento dos pilares e do concreto, muitos

profissionais e empresas complementam seus projetos com o auxílio da ACI 216.1-07/TMS-0216-07 – Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies (Requisitos de Códigos para Determinar Resistência ao Fogo de Conjuntos de Construção de Concreto e Alvenaria) que é a norma americana para cobrimento de pilares, pois esta apresenta parâmetros mais precisos para o cobrimento de pilares e armaduras do que a norma brasileira.

PAREDES CORTA FOGO (PCF)

As paredes corta fogo são uma exigência do Corpo de Bombeiros para estabelecer critérios para isolamento de risco de propagação do incêndio por radiação de calor, convecção de gases quentes e a transmissão de chama, garantindo que o incêndio proveniente de uma edificação não se propague para outra, no caso do estado de São Paulo atendendo às exigências do Decreto Estadual nº 56.819/11 – Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco, através da Instrução Técnica nº 07/2011.

A aplicação em edificações comerciais, no caso em específico uma subestação de energia elétrica é requisito básico para que sejam emitidos o AVCB e o Alvará de funcionamento da instalação além, da garantia de não propagação do fogo a outros equipamento e potencialização de danos.

A parede estudada é caracterizada como uma parede corta fogo sem função estrutural, portanto norteada na ABNT NBR 10636 Paredes divisórias sem função estrutural e NBR 9062 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado.

De acordo com a Norma ABNT NBR 9062, as PCF's aplicadas nesse empreendimento seguem classificação conforme a Figura 1 – Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado.

Tabela 6 – Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado

Tipo de agregado	Espessura efetiva em função da resistência ao fogo mm				
	1 h (60 min)	1,5 h (90 min)	2 h (120 min)	3 h (180 min)	4 h (240 min)
Argila expandida, vermiculita ou ardósia expandida	65	80	90	115	130
Pedras calcárias	80	100	120	145	170
Pedras silicosas (quartzos, granitos ou basaltos)	90	110	130	160	180

5.3.1.5.11 Os valores apresentados na Tabela 6 referem-se apenas à resistência do painel de parede. Para verificação do sistema de paredes quanto à integridade estrutural, incluindo a verificação das ligações, deve ser atendida conforme ABNT NBR 16475.

Figura 1 – Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado – (Fonte: Norma ABNT NBR6092 - <https://www.passeidireto.com/arquivo/46454070/nbr-9062---2017---projeto-e-execucao-de-estruturas-de-concreto-pre-moldado>).

METODOLOGIA

O trabalho em questão foi desenvolvido primeiramente por meio de levantamentos e pesquisas em livros e sites especializados, visando dar sustentabilidade teórica para o tema em questão, para que o mesmo possa ser compreendido não somente na aplicação, mas sim nas vantagens e desvantagens que esse tipo de aplicação traz para o meio em que é aplicado e sua real utilidade.

Em segundo plano, o mesmo pôde ser acompanhado com a elaboração do projeto e de sua execução na SE Água Vermelha, que faz parte do complexo da Usina Hidrelétrica José Ermínio de Moraes, localizada entre os municípios de Ouroeste e Iturama na bacia do Rio Grande, conforme mencionado anteriormente, onde o mesmo costuma ser aplicado para impedir que possíveis incêndios propaguem-se entre os equipamentos elétricos, neste caso em específico o banco de autotransformadores nº4, pois estes além de terem um custo elevado são importantes para o funcionamento do sistema de transmissão. Esse acompanhamento foi realizado in loco, desde o acompanhamento de compras e custos, a logística de preparo até a aplicação direta das placas pré-moldadas, podendo desta forma deixar claro como esse tipo de estrutura acaba que trazendo um custo x benefício muito grande para sua funcionalidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Memorial de Cálculo

Este memorial de cálculo tem como objetivo o dimensionamento e cálculo estrutural de três paredes corta fogo pré-fabricada para autotransformadores contemplando pilares e painéis de fechamento a ser construída na SE Água Vermelha. Conforme mencionado, os primeiros cálculos realizados foram adotados os seguintes parâmetros de cálculos, conforme exigências técnicas para elaboração de projetos, segundo as Normas ABNT NBR 7477:1982 - Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado - Método de ensaio, ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto e a ABNT NBR 6122 Projeto e Execução de Fundações:

1. Solo:

- Tensão Admissível: $sadm = 0,10 \text{ Mpa}$
- Peso Específico: $gs = 16 \text{ kN/m}^3$

2. Concreto:

- Resistência Característica: $fck = 40 \text{ MPa}$ - Pré-Fabricado - $fck = 25 \text{ MPa}$ (Fundações)
- Peso Específico: $gc = 25 \text{ kN/m}^3$

3. Aço:

- Tipo CA-50
- Resistência Característica: $\sigma_yk = 500 \text{ Mpa}$

A Figura 2 – Perspectiva de Projeto, ilustra a imagem de como ficará a estrutura com as placas após a mesma ser finalizada.

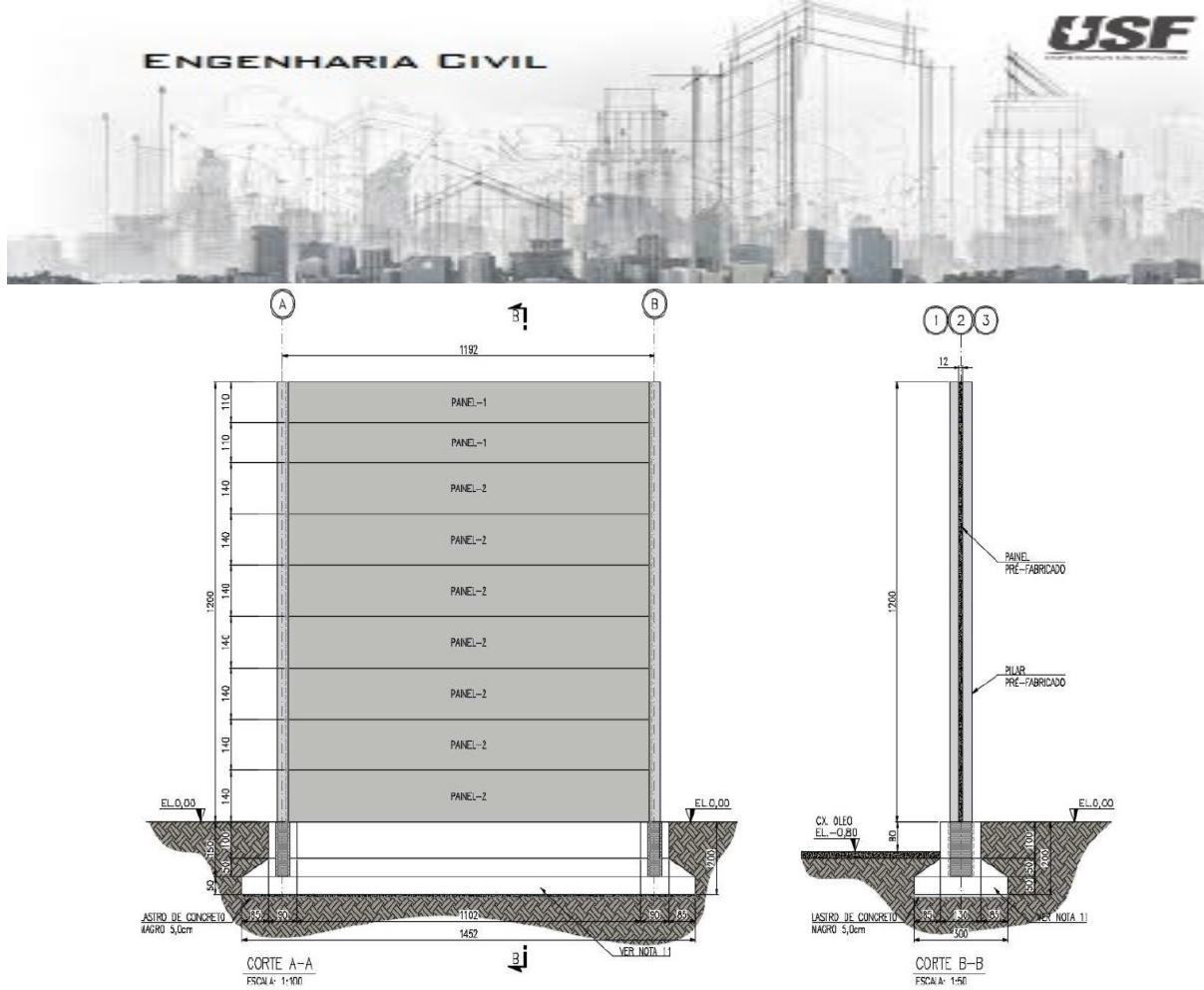


Figura 2 - Perspectiva de Projeto – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).

A Figura 3 – Força do Vento com ações e combinações, ilustra os cálculos realizados pela empresa Sendi Pré-Fabricados LTDA, as ações das cargas verticais e do vento, fatores que devem ser levados em consideração, pois como a parede possui uma altura considerável e não é muito espessa (aproximadamente 12 centímetros), está irá sofrer e muito com a ação do vento e das intempéries.

Carga vertical

Separação de carga permanente e variável Sim
Redução de sobrecargas Não

Vento

Velocidade básica (m/s) 38.0
Fator topográfico (S1) 1.00
Categoria de rugosidade (S2) III - Terrenos planos ou ondulados, com obstáculos
Classe da edificação (S2) A - Maior dimensão horizontal ou vertical < 20m
Fator estatístico (S3) 1.10 - Edificações onde se exige maior segurança

Caso	Ângulo (graus)	Coef. arrasto	Área (m ²)	Pressão (tf/m ²)
5	90.0	1.50	147.2	0.126
6	270.0	1.50	147.2	0.126
7	0.0	1.50	8.4	0.126
8	180.0	1.50	8.4	0.126

➤ **Força de vento nos barramentos e equipamentos**

Não foram considerados foças adicionais referente a equipamento e barramentos apoiados na parede corta fogo

➤ **Carga vertical dos barramentos e equipamentos**

Não foram considerados foças adicionais referente a equipamento e barramentos apoiados na parede corta fogo

Figura 3 - Força do Vento com ações e combinações – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).



Ainda segundo a empresa Sendi Pré-Fabricados LTDA, segue a Figura 4 – Reações de apoio com combinação rara, a qual considera as ações nos três eixos da estrutura (x,y e z).



Figura 4 – Reações de apoio com combinação rara – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).

A Figura 5 – ELU com combinações raras (ilustrada abaixo) elaborada pela empresa Sendi Pré-Fabricados LTDA, ou seja, estudo das reações no Estado de Limite Último de uma estrutura quando se trata dos esforços e de como a mesma irá reagir quando sofrer os mesmos, sendo que esse estado trata-se de quando a estrutura já não pode mais ser reutilizada, ou seja, ela já não apresenta condições seguras quanto a funcionalidade e sua vida útil para os seus usuários, logo quando uma estrutura atinge esse limite, ela não pode vir a sofrer mais nenhum esforço, pois se isso acontecer a mesma pode vir a sucumbir, como explica Viana. Enquanto já no ELS, ou seja, Estado Limite de Serviço é o estado em que a estrutura encontra-se nas melhores condições, ou seja, ela irá receber os esforços e irá absorvê-los a fim de não apresentar nenhum risco para seus usuários nem para a estrutura de que a mesma venha a romper ou ceder (VIANA, 2018).

- ELU – Combinacões Raras (tf.m)

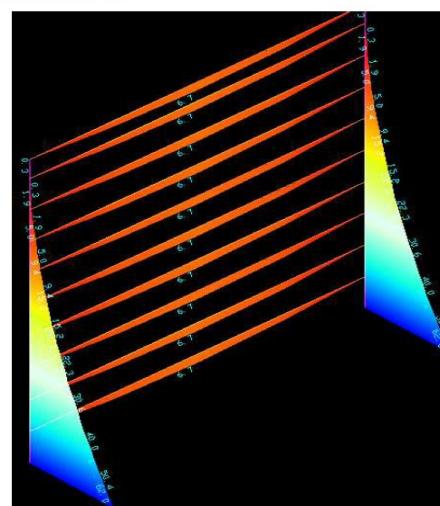


Figura 5 – ELU com combinações raras – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).



Para a realização dos cálculos, a empresa Sendi Pré-Fabricados LTDA utilizou a ferramenta de cálculos estruturais TQS PREO, ferramenta utilizada para cálculos de estruturas pré-moldadas, conforme os demonstrativos da Figura 6 – Critérios para Dimensionamento dos Pilares abaixo.

Critérios de Detalhamento

GamaC Concreto.....	1.40
GamaS Aço.....	1.15
GamaS Aço Protendido.....	1.15
GamaF Ações.....	1.40
GamaC Concreto (ato da protensão).....	1.20
GamaS Aço Convencional (ato da protensão).....	1.15
GamaS Aço Protendido (ato da protensão).....	1.15
GamaF Ações (ato da protensão).....	1.00
Comprimento do ferro da usina (cm).....	3000.00
Traspasse mínimo em número de bitolas.....	75.00

Pilares

Dist relativa da alça de içamento à borda superior (cm).....	0.20	
Dist relativa do furo de levantamento (FL) à borda sup (cm).....	0.17	
Dist absoluta mínima do FL à borda superior (cm).....	90.00	
Dist absoluta máxima do FL à borda superior (cm).....	350.00	
Dist saída do tubo de água pluvial à base do pilar (cm).....	5.00	
Distribuição de armadura longitudinal em feixes.....	1	
Dist mínima entre bitolas em feixes (cm).....	1.50	
Traspassar (0) ou Emendar (1) barras.....	0	
Bitola mínima para emenda por solda (mm).....	20.00	
Número de alojamentos de bitolas em feixes.....	12	
N Bit mm	N Bit mm	Área cm ²
1 x ø12.50		1.23
1 x ø16.00		2.01
1 x ø20.00		3.14
3 x ø12.50		3.68
1 x ø25.00		4.91
3 x ø16.00		6.03
5 x ø12.50		6.14
3 x ø20.00		9.42
5 x ø16.00		10.05
3 x ø25.00		14.73
5 x ø20.00		15.71
5 x ø25.00		24.54
Verificar saque.....	1	
Minorador padrão do Fck no saque.....	0.30	
Seção p/saque/ípamento (0) menor inércia (1) tr alça/furo...	0	
Majorador do carregamento no saque.....	1.50	
Verificar levantamento.....	1	
Minorador padrão do Fck no levantamento.....	0.70	
Majorador do carregamento no levantamento.....	1.50	
Armadura mínima % pré-moldados.....	1.00	
Espaçamento de estribos geral cm.....	15.00	
Espaçamento de estribos na região do consolo cm.....	5.00	
Espaçamento de estribos na região da fundação cm.....	10.00	
Gerar formas de pilar junto com a armação.....	1	
(0) Usar escala de formas (1) de armação.....	0	
Gerar tabela de ferros por desenho de pilar.....	1	

Legenda

=====

Vãos	Vãos para verificação de esforços
Fck	Resistência característica do concreto à compressão
GamaC	Minorador da resistência do concreto
Ecs	Módulo secante de elasticidade longitudinal do concreto
Afastamento	Cobertura maior bitola de armadura transversal
Fyk	Resistência característica do aço
Ea	Módulo de elasticidade do aço
GamaS	Minorador da resistência do aço
GamaF	Majorador de esforços
Alojamento	Número de cantos x número de barras por feixe por canto

Legenda

=====

Grupo	Título de agrupamento de pilar. Pilares que não pertencerem a grupo de armaduras serão detalhados um a um.
Lance	Lances numerados de 1 a n, o lance zero é armadura na fundação
Etapa	Etapas construtivas de 1 a n, a etapa zero é a estrutura acabada
Alojamento	Alojamento de armaduras original gerado pelo TQS Pilar
Envoltória	Maior alojamento para um lance: TQS Pilar, Saque/Transp/Levant

Figura 6 – Critérios para Dimensionamento dos Pilares – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).



A Figura 7 – Dimensionamento do Pilar 1, a qual segue abaixo, ilustra os cálculos efetuados pela empresa Sendi Pré-Fabricados LTDA para o dimensionamento do primeiro pilar da estrutura.

Grupo: PP1-a x 1			
P1			
Lance 1			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P1	0	18025	
P1	1	8012.5	
P1	2	8012.5	
Etapas construtivas		18025	
Saque		4016	
Levantamento		12020	
Armadura mínima		20012.5	
Armadura adotada		18025	
Lance 2			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P1	0	18025	
P1	1	8012.5	
P1	2	8012.5	
Etapas construtivas		18025	
Saque		4016	
Levantamento		12020	
Armadura mínima		20012.5	
Armadura adotada		18025	
Lance 3			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P1	0	18025	
P1	1	8012.5	
P1	2	8012.5	
Etapas construtivas		18025	
Saque		4016	
Levantamento		12020	
Armadura mínima		20012.5	
Armadura adotada		18025	
Lance 4			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P1	0	18025	
P1	1	8012.5	
P1	2	8012.5	
Etapas construtivas		18025	
Saque		4016	
Levantamento		12020	
Armadura mínima		20012.5	
Armadura adotada		18025	
Lance 5			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P1	0	18025	
P1	1	8012.5	
P1	2	8012.5	
Etapas construtivas		18025	
Saque		4016	
Levantamento		12020	
Armadura mínima		20012.5	
Armadura adotada		18025	
Lance 6			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P1	0	18025	
P1	1	8012.5	
P1	2	8012.5	
Etapas construtivas		18025	
Saque		4016	
Levantamento		12020	
Armadura mínima		20012.5	
Armadura adotada		18025	
Lance 7			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória

Figura 7 – Dimensionamento do Pilar 1 – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).



O Pilar 2, conforme exemplifica a Figura 8 - Dimensionamento do Pilar 2, também precisou ser dimensionado pela empresa Sendi Pré-Fabricados LTD, pois o mesmo pode ter a necessidade de que fosse executado de forma diferente do pilar 1.

P2			
Lance 1			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P2	0	18025	
P2	1	8012.5	
P2	2	8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5
		Armadura adotada	18025
Lance 2			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P2	0	18025	
P2	1	8012.5	
P2	2	8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5
		Armadura adotada	18025
Lance 3			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P2	0	18025	
P2	1	8012.5	
P2	2	8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5
		Armadura adotada	18025
Lance 4			
Pilar	Etapa	Alojamento	Envoltória
P2	0	18025	
P2	1	8012.5	
P2	2	8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5



		Armadura adotada	18025
Lance 5	Pilar	Etapa Alojamento	Envoltória
	P2	0 18025	
	P2	1 8012.5	
	P2	2 8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5

		Armadura adotada	18025
Lance 6	Pilar	Etapa Alojamento	Envoltória
	P2	0 18025	
	P2	1 8012.5	
	P2	2 8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5

		Armadura adotada	18025
Lance 7	Pilar	Etapa Alojamento	Envoltória
	P2	0 18025	
	P2	1 8012.5	
	P2	2 8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5

		Armadura adotada	18025
Lance 8	Pilar	Etapa Alojamento	Envoltória
	P2	0 18025	
	P2	1 8012.5	
	P2	2 8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5

		Armadura adotada	18025
Lance 9	Pilar	Etapa Alojamento	Envoltória
	P2	0 18025	
	P2	1 8012.5	
	P2	2 8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5

		Armadura adotada	18025
Lance 10	Pilar	Etapa Alojamento	Envoltória
	P2	0 18025	
	P2	1 8012.5	
	P2	2 8012.5	
		Etapas construtivas	18025
		Saque	4016
		Levantamento	12020
		Armadura mínima	20012.5

		Armadura adotada	18025

Figura 8 – Dimensionamento do Pilar 2 – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).

Desta forma os pilares que irão dar o suporte necessário para a parede foram dimensionados em cada lance, ou seja, em cada parte onde uma placa nova será inserida, a fim de analisar todas as situações possíveis para que nenhum ponto passe sem receber a devida atenção e dimensionamento de armaduras.

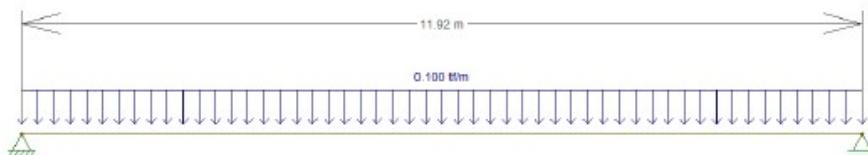
Os painéis foram desenvolvidos e projetados em tamanhos padrões de 11,71 metros x 1, 40 metros x 0,12 metros (comprimento x altura x espessura), sendo que também foi necessário um levantamento de verificações de ELU para os painéis em relação aos esforços nas vigas e lajes. Outro ponto importante dimensionado foi o dos esforços do vento, visto que



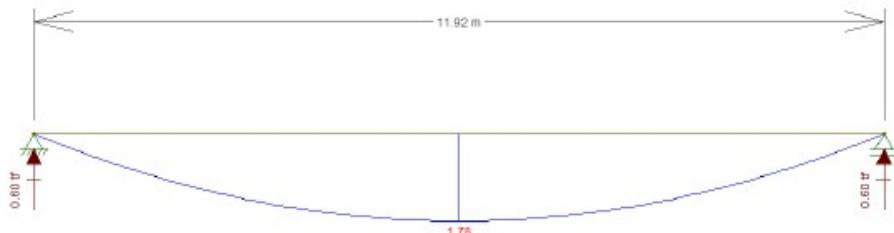
a parede vai ficar relativamente alta, com dez painéis, com aproximadamente 12 metros de altura e esta é relativamente fina, as ações e momentos que irão acontecer na mesma no sentido horizontal a parede serão muito intensas, por isso o estudo do vento não pode ser em nenhum momento negligenciado ou esquecido, e neste caso o mesmo foi considerado pela empresa Sendi Pré-Fabricados LTD, a qual foi a contratada para o desenvolvimento dos cálculos estruturais. Abaixo segue a Figura 9 – Dimensionamento do Vento, na qual mostra os esforços de uma carga distribuída e as reações que os apoios irão sofrer diretamente com a mesma e o diagrama de momento gerado pelas ações do vento.

Para este dimensionamento foi considerado a pressão do vento de 70kgf/m²:

➤ Esforços Solicitantes (tf/m) e (tf) / Loads (tf/m) and (tf)



➤ Diagrama de Momento (tf.m) / Moment Diagram (tf.m)



➤ Dimensionamento à flexão / Sizing to bending

$$M_k = 1,78 \text{ tf.m/m}$$

$A_p = 2,05 \text{ cm}^2$ - Armadura de protensão

$A_{p,adotado} = 4 \text{ Ø 9,5mm CP 190RB Dupla}$

Figura 9 – Dimensionamento do Vento – (Fonte: SENDI PRÉ-MOLDADOS).

Desta forma os dimensionamentos foram realizados de forma correta e completa, para gerar mais segurança aos usuários que posteriormente irão usufruir do empreendimento e os materiais estarão sendo utilizados da melhor forma possível.

Execução de obra

Após o dimensionamento, deu-se início ao preparo do local onde seria realizada a obra. A primeira parte, foi a distribuição do contingente que iria executar e acompanhar a obra. Como a mesma foi de estrutura pré-fabricada, outros dois fatores muito importantes que foram observados são o contingente reduzido de pessoal necessário para executar a obra e o



tempo que levou para ser concluída. O contingente necessário para executar a obra segue descrito abaixo na Figura 10 – Equipe de Execução de Obra x Tempo de Execução, a qual também ilustra o tempo total para conclusão da obra.

Cargos/Função	20/AGO	21/AGO	22/AGO	23/AGO	24/AGO	25/AGO Sábado	26/AGO Domingo
Engenheiro	1	1	1	1	1		
Técnico							
Mestre de obras	1	1	1	1	1	1	1
Motorista							
Armador	1	1	1	1	1	1	1
Carpinteiro	1	1	1	1	1		
Operador Guincho	2	2	2	2	1	1	1
Eletricista	1	1	1	1	1	1	1
Servente	2	2	3	3	3	3	3
Pedreiro	5	5	7	7	7	6	6
Aux. de Montagem	1	1	1	1	1	1	1
Supervisor de Montagem							
Operador Maquinas	2	2	2	2	1	1	1
Oficial de Montagem	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	18	18	21	21	19	16	16

Figura 10 – Equipe de Execução de Obra x Tempo de Execução – (Fonte: Próprios autores).

Conforme ilustra a figura acima, podemos observar o curto prazo de tempo em que a obra foi realizada, somente sete dias e o reduzido quadro efetivo de pessoas na atividade, sendo que para um empreendimento desta magnitude a relação pessoas x tempo de execução, comparando-se os métodos convencionais e pré-fabricado fica claro que no método pré-fabricado os ganhos de pessoal e tempo são elevados.

Preparação e Instalação de Armadura da Fundação

A preparação da amadura e a instalação da mesma foi elaborada nos dias 20/08/2018 e 21/08/2018, sendo que também foi realizada a adequação e concretagem da bacia de captação de água e óleo referente a fase 1 da obra. Segue abaixo a Figura 11 – Montagem e Instalação de Armaduras.



Figura 11 – Montagem e Instalação de Armaduras – (Fonte: Próprios autores).



Concretagem da Sapata e da Viga da Sapata

A concretagem da sapata foi realizada nos dias 21/08/2018, 22/08/2018, 23/08/2018, 24/08/2018 e 25/08/2018, conforme mostra a Figura 12 – Concretagem da Sapata e da Viga da Sapata abaixo, sendo que também foi realizado a adequação, concretagem de parte da bacia de captação de água referente a fase 2 da obra e também adequação e concretagem da parte da bacia de captação de água e óleo referente a fase 3 do empreendimento.



Figura 12 – Concretagem da Sapata e da Viga da Sapata – (Fonte: Próprios autores).

Montagem da Primeira Parede Corta Fogo

Do dia 22/08/2018 ao dia 23/08/2018 foi realizada a montagem da primeira PCF referente a fase 1, com a ajuda de guindastes para que as placas pudessesem ser levantadas e instaladas nos locais corretos. Entre as placas foi inserida uma massa/cola para que as placas pudessesem tem uma liga entre elas. Abaixo segue a Figura 13 – Montagem da PCF entre fase 1 e fase 2.



Figura 13 – Montagem da PCF entre fase 1 e fase 2 – (Fonte: Próprios autores).

Montagem da Segunda Parede Corta Fogo

Entre os dias 23/08/2018 e 24/08/2018 foi realizada a montagem a segunda PCF, a qual é ilustrada pela Figura 14 – Montagem da PCF entre fase 2 e fase 3.



Figura 14 – Montagem da PCF entre fase 2 e fase 3 – (Fonte: Próprios autores).



Montagem da Terceira Parede Corta Fogo

Já entre os dias 25/08/2018 e 26/08/2018 foi realizada a montagem da terceira parede corta fogo, ainda com a ajuda do guindaste e do pessoal especializado, como ilustra a Figura 15 - Montagem da PCF na fase 3.



Figura 15 - Montagem da PCF na fase 3 – (Fonte: Próprios autores).

COMPARATIVO DE PREÇOS ENTRE PAREDE EM ALVENARIA COMUM X PAREDE PRÉ-FABRICADA

Um fator importante a ser considerado são os custos que cada tipo de estrutura acaba resultando, visto que o custo x benefício de um empreendimento é um dos fatores mais importantes. Quando o assunto são as paredes pré-fabricadas, conforme foi aplicado neste empreendimento, o custo benefício foi muito alto nesse método, pois o tempo de execução foi muito acelerado, logo que para a construção de três paredes dessa magnitude moldada in loco, os preparativos e o método de execução seriam totalmente o oposto, desde a mão-de-obra até os materiais. Com a elaboração da alvenaria de vedação, vigas horizontais teriam que ser implementadas para que a estrutura suportasse de forma adequada os esforços e conseguisse trabalhar da forma a potencializar suas características. Desta forma, na execução de paredes de alvenaria o custo seria muito mais elevado, bem como seu prazo de execução seria muito maior (GONÇALVES, 2016).

Outro fator que deve ser levado em consideração é o de que em qual tipo de local e empreendimento a obra será aplicada. Em se tratando de subestações de energia, como essas, quanto mais cedo a obra estiver concluída e operando, mais cedo a concessionária irá começar a cobrar pelos seus serviços, o que no balanço final tem que ser considerado pois, a RAP (Receita Anual Permitida) é muito elevada para que a transmissora fique sem recebê-la em virtude do cronograma de execução de obra. Mais um fator importante é que para esse tipo de obra, a parede necessária é uma que suporte a calorimetria, conforme as especificações da norma e dos órgãos responsáveis, sendo assim, o concreto teria que receber muitos aditivos e outros materiais para que conseguisse atender essas exigências, enquanto as placas pré-fabricadas já vem prontas e testadas para atender essas necessidades e dar a segurança necessária, tanto financeira quanto humanamente possível e minimamente exigida.

Conforme levantado antes da execução do projeto através de cotações e estudos, o custo de somente uma parede corta fogo x uma parede convencional, levando em consideração todos os aspectos construtivos, equipamentos, mão-de-obra, ferramentas e



materiais gira em torno de R\$ 50.764,34, enquanto uma parede de alvenaria convencional gira em torno dos R\$ 136.686,35, ocasionando os 269% aproximadamente mais caro em uma parede convencional enquanto em uma parede pré-fabricada. Isso ocorre pelos fatos já mencionados anteriormente, que são a necessidade de vigas e mais pilares de travamento, mais aço na estrutura que nas pré-fabricadas que utilizam aços protendidos, mais tempo de mão-de-obra e ferramentas e um tempo mais elevado de construção do que o que foi utilizado nas paredes pré-fabricadas.

CONCLUSÃO

Portanto, pudemos observar que a aplicação dessas PCF's pré-fabricadas, além de apresentarem uma funcionalidade muito importante para evitar incêndios e propagação do fogo entre os outros componentes da instalação, como um projeto desta magnitude foi desenvolvido e aplicado, desde os seus dimensionamentos iniciais até a sua aplicação de forma rápida, limpa e responsável, visto que se fosse necessário a aplicação em uma estrutura convencional, a conclusão dessa obra levaria muito mais que somente os seis dias de desenvolvimento em campo e os 7 dias de dimensionamento, pois este também teria que ser realizado e sua aplicação em campo levaria muito mais tempo. Logo, pode-se perceber a qualidade de um serviço executado na estrutura pré-fabricada, desde que essa seja adquirida de fornecedores responsáveis e certificados, pois os mesmos agregam qualidade e agilidade na entrega das placas e com isso pode-se concluir a obra em um espaço de tempo e uma economia de custos de pessoal e equipamentos. Com isso, a aplicação de estruturas pré-fabricadas, quando possível, é uma opção muito rentável, eficaz e que traz muitos benefícios para o empreendimento.

Além disso, o quadro reduzido de pessoas trabalhando na atividade diminui exponencialmente a possibilidade de falhas e risco de acidentes de trabalho, bem como, dispensou a necessidade de custos adicionais de cunho educacional devido a necessidade de certificação dos colaboradores envolvidos na obra em NR10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) e NR 35 (Trabalho em Altura), integração realizada pelo técnico de segurança do trabalho responsável pela obra, sem contar a redução do risco às ações trabalhistas em virtude do regime de trabalho, recolhimento de encargos e obrigações contratuais com os trabalhadores da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado.** Disponível em:<<https://www.passeidireto.com/arquivo/46454070/nbr-9062--2017---projeto-e-execucao-de-estruturas-de-concreto-pre-moldado>>. Acessado em: 10 out 2018.

ALBUQUERQUE, A. T. DE; EL DEBS, M. K.; MELO, A. M. C. DE. **Otimização de pavimentos de edifícios com estruturas de concreto pré-moldado utilizando algoritmos genéticos.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, v. 12, n. 54, p. 107–124, 2010.

ALVES, Natália Souza Diniz. **ANÁLISE DE CUSTOS: ALVENARIA ESTRUTURAL X ESTRUTURA PRÉ-MOLDADA.** Disponível em:<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A3YFD6/monografia_natalia.pdf?sequence=1>. Acessado em: 31 de agosto de 2018.

BARREIROS, F., ZANCUL, E., et al. **Estudo sobre produtividade na construção civil: desafios e tendências no Brasil.** EY Consultoria, 2014.

CCM, Pedro. **O que é o Método PERT.** Disponível em: <<https://br.ccm.net/contents/583-o-metodo-pert>>. Acessado em: 30 ago 2018.

GONÇALVES, Luiz Felipe. **Análise comparativa de custos e execução entre dois sistemas construtivos aplicados em programas sociais: Parede de Concreto Armado moldado in loco com formas de alumínio e alvenaria de vedação com blocos cerâmicos.** Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/9457/1/21062557.pdf>>. Acessado em: out 2018.

MARCONDES, Aníbal. **Uma breve história do gerenciamento de projetos.** Disponível em: <<http://pmimt.org.br/site/index.php/artigo/vis/4>>. Acessado em: 02 set 2018.

MARCIANO, Ernesto Junior. (2005). **Entrevista concedida pelo Consultor da WABE International. São Paulo, 2005.**

MENEZES, Luís Cesar de Moura. **Gestão de projetos.** 1ª Ed. São Paulo: Atlas, 2001.

PINTO, Analia Maria Andrade. **Estudo da percepção dos profissionais de engenharia e arquitetura quanto à importância do gerenciamento de projetos para a construção civil.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense, 2012. Disponível em: <http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao_tese/analiaformat.pdf>. Acessado em: 30 ago 2018.

PIRES, Marcos. **O pai do gerenciamento de projetos.** Disponível em: <<http://www.projetizado.com.br/SubPaginas/Sub%20-%20Pai%20do%20gerenciamento%20de%20Projetos.html>>. Acessado em: 20 set 2018.

RAMOS, Davidson. **Método do Caminho Crítico (CPM/PERT).** Disponível em: <<http://www.blogdaqualidade.com.br/metodo-do-caminho-critico/>>. Acessado em: 03 set 2018.

RIBEIRO, Lucas. **Gerenciamento de Projetos: contexto histórico do seu surgimento à atualidade.** Disponível em: <<http://tecplaner.com.br/gerenciamento-de-projetos-surgimento-atualidade/>>. Acessado em: 04 set 2018.

VASCONCELOS, Augusto Carlos. (2002). **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações.** Volume III. Studio Nobel. São Paulo.

VIANA, Dandara. **Estados Limites ELU e ELS: aprenda a diferença!** Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/estados-limites/>>. Publicado em: 5 jan 2018. Acessado em: 20 out 2018.