

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gabriel Gemio Mendes

**A CONSTRUTIBILIDADE NA ETAPA DE MONTAGEM
DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO
ARMADO**

Porto Alegre, RS
Fevereiro de 2024

GABRIEL GEMIO MENDES

**A CONSTRUTIBILIDADE NA ETAPA DE MONTAGEM
DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO
ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de
Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira Civil

Orientadora: Lais Zucchetti

Porto Alegre
Fevereiro de 2024

GABRIEL GEMIO MENDES

**A CONSTRUTIBILIDADE NA ETAPA DE MONTAGEM
DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO
ARMADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelas Professoras Orientadoras e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 22 de fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Lais Zucchetti (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Ana Paula Maran (UFSM-CS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Enga. Civil, Victor Saldanha Cassel

Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família. Aos meus pais, Robert e Ana e meu irmão, Felipe, eles são a minha base e a minha fonte de inspiração. Sem vocês não seria possível, o amor de vocês me sustentou. Do fundo do meu coração, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me sustentar durante todos os desafios até aqui, por me dar sabedoria, me proteger e colocar pessoas incríveis que me ajudaram muito nesta trajetória. Me conectei mais com o Senhor ao longo da graduação e hoje vejo que tinha uma razão para eu estudar em outro estado, hoje eu conheço a tua voz e me sinto preparado para ir para o próximo nível, preparado para caminhar em uma nova estrada em favor do Senhor.

Agradeço aos meus pais por me incentivarem e me apoiarem durante toda a graduação e até a minha saída de casa para estudar em outro estado, não foi fácil nem pra mim e nem pra eles, entretanto, foi necessário para meu crescimento pessoal e profissional, muito obrigado.

Agradeço ao meu irmão, Felipe, por ser o melhor amigo e parceiro que eu poderia ter, você é tudo pra mim. Muito da minha força vem de ti. Obrigado por caminhar ao meu lado em todas as situações, seu amor, conselhos e todo suporte foi muito importante nessa etapa da minha vida.

Agradeço ao Mateus Giovanaz, um irmão que a UFRGS me deu, foi meu parceiro de estudos da madrugada, esteve presente em todos os momentos da minha graduação, bons e ruins, sua companhia foi necessária.

Agradeço aos meus amigos que também foram importantes do início ao fim, Igor Michel, Lucas Figueiredo, Andrew Martini, Thales Garcia e entre outros, sem eles eu não teria chegado até aqui, foram a minha segunda família durante todos esses anos..

Agradeço a minha namorada, meu amor, Bibiana de Moraes Dias, por toda paciência e apoio que ela me deu na reta final enquanto escrevia este trabalho, ela me motivou, me ensinou e me apoiou, absurdamente, nesta etapa toda.

Agradeço à minha orientadora, Laís, por todo auxílio para a realização deste trabalho, escrever algo técnico não foi fácil, não foi o tipo de habilidade que eu desenvolvi nos últimos anos mas mesmo assim, graças a todas as suas orientações, consegui concluí-lo.

Deixo um agradecimento à UFRGS e todos os professores que tive até aqui, tive experiências boas e ruins mas tenho certeza que isso foi necessário para minha evolução

peçoal e por último, quero registrar um agradecimento para minha cachorra, Sky, por ser minha companheira fiel de escrita e pesquisa, independente do horário.

As mais impressionantes façanhas humanas são, na realidade, o agregado de inumeráveis elementos isolados e cada um dos quais, em certo sentido, nada tem de extraordinário.

Angela Duckworth

RESUMO

A construtibilidade para elementos pré-fabricados de concreto armado é essencial para garantir a eficiência, segurança e economia na construção de estruturas. Envolve uma abordagem abrangente que considera todas as etapas do processo construtivo, desde o projeto até a utilização da estrutura. Durante a montagem, é necessário seguir procedimentos padronizados e utilizar equipamentos adequados para garantir eficiência e segurança. A compatibilidade entre os elementos e a correta fixação das conexões são aspectos essenciais a serem considerados. Com isso, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise crítica de dois manuais sobre a etapa de montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, a partir de uma lista de critérios de avaliação da construtibilidade. Para a realização desta análise, foram feitas revisões bibliográficas para identificar os principais aspectos da construtibilidade nos pré-fabricados, a partir disso foram elaborados dez critérios de avaliação com base nas revisões, entretanto, para etapa de montagem foram utilizados apenas oito critérios. Assim, pôde-se fazer uma análise nos manuais de montagem para avaliar a presença e a conformidade dos critérios elaborados. Os principais resultados demonstram que há um grande destaque no critério de segurança, apresentados no processo de montagem presente nos manuais. Percebeu-se que os pontos elaborados no critério de segurança, tais como manuseio, instalação e conexão segura foram aplicados em todo o processo de montagem dos manuais, desde as verificações antes da execução, como nos cuidados durante o içamento dos elementos e nas recomendações após a instalação para fixá-los, assim contribuindo com a construtibilidade do método de pré-fabricados. Todos os outros critérios também foram utilizados na análise, com exceção do critério da minimização da influência climática, que não foi encontrado nos manuais.

Palavras-chave: elementos pré-fabricados em concreto armado; construtibilidade; montagem de elementos pré-fabricados; critérios de avaliação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de pilares pré-fabricados (Fonte: Site da Precon/distribuição gratuita).....	19
Figura 2 - Ligação do pilar pré-fabricado no bloco de fundação (Fonte: repositório PUC/distribuição gratuita, 2021).....	20
Figura 3 - Modelo de vigas pré-fabricadas (Fonte: Construtora estilo/distribuição gratuita, 2024).....	20
Figura 4 - Lajes alveolares (Fonte: Site da Cassol/distribuição gratuita, 2024).....	22
Figura 5 - Içamento de um módulo de laje alveolar (Fonte: Site IBPC/distribuição gratuita, 2024).....	23
Figura 6 - Telhas em concreto protendido (Fonte: Site da Cassol/distribuição gratuita, 2024).....	24
Figura 7 - Painéis Alveolares (Fonte: Site da Precon/distribuição gratuita)	24
Figura 8 – Critérios da simplificação selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	31
Figura 9 – Critérios da padronização selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	33
Figura 10 – Critérios da acessibilidade selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	35
Figura 11 – Critérios da minimização da influência climática selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.....	37
Figura 12 – Critérios da otimização selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	39
Figura 13 – Critérios da manutenibilidade selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	41
Figura 14 – Critérios da segurança selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	43
Figura 15 – Critérios da compatibilização e visualização selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.....	45
Figura 16 – Critérios da adequação selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor..	47
Figura 17 – Critérios do projetar para a eficiência selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.....	48
Figura 18 – Resumo dos critérios de avaliação da construtibilidade para elementos pré-fabricados. Elaborado pelo autor.....	50
Figura 19 – Fluxograma do método utilizado neste trabalho. Elaborado pelo autor.....	51
Figura 20 - Requisitos do critério de simplificação selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	52

Figura 21 - Requisitos do critério de padronização selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	53
Figura 22 - requisitos do critério da acessibilidade selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	54
Figura 23 - Requisitos do critério minimização da influência climática selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	55
Figura 24 - requisitos do critério da otimização selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	56
Figura 25 - Requisitos do critério da segurança selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	57
Figura 26 - Requisitos do critério da compatibilização e visualização selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	58
Figura 27 - Requisitos do critério da adequação selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem.....	59
Figura 28 - Montagem do pilar no bloco de fundação. (Fonte: manual da ABCIC/distribuição livre).....	1
Figura 29 - Pilar pré-fabricado com consoles trapezoidais (Fonte: Prefor/distribuição livre).....	1
Figura 30 - Montagem de viga pré-fabricada (Fonte: manual da ABCIC/distribuição livre).....	1
Figura 31: (a) montagem de painéis; (b)montagem das lajes pré-fabricadas..	1
Figura 33 - Montagem da telha pretendida de concreto (Fonte: manual da MUNTE/distribuição livre).....	1

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Critérios de Avaliação de Construtibilidade. Fonte: RODRIGUES (2005) e ZUCCHETTI (2010) adaptado pelo autor.....	29
Quadro 2: Critérios e requisitos selecionados para análise dos manuais para a etapa de montagem. Elaborado pelo autor.....	58
Quadro 3 - Resumo das análises dos critérios aplicados nos manuais de montagem. Elaborado pelo autor.....	69

LISTA DE SIGLAS

ABCIC - Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CII - Construction Industry Institute

CIRIA - Construction Industry Research and Information Association

FCJ - Resistência Característica à Compressão do Concreto

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

NETPre - Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto

PPMOF - Prefabrication, Preassembly, Modularization and Offsite construction

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3. Limitações.....	16
1.4. Metodologia de pesquisa.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Pré-fabricados.....	17
2.2. Elementos pré fabricados de concreto armado.....	18
2.2.1 Pilares pré-fabricados.....	19
2.2.2 Vigas pré-fabricadas.....	20
2.2.3 Lajes pré-fabricadas.....	21
2.2.4 Telhas pré-fabricadas.....	23
2.2.5 Painéis pré-fabricados.....	24
2.3. Montagem de elementos pré-fabricados.....	25
2.4. Vantagens e desvantagens de elementos pré-fabricados.....	26
2.5. A Construtibilidade.....	27
2.5.1. Conceito de construtibilidade.....	27
2.5.2 Critérios de avaliação da construtibilidade.....	28
2.5.2.1 Simplificação.....	30
2.5.2.2 Padronização.....	32
2.5.2.3 Acessibilidade.....	34
2.5.2.4 Minimização da Influência Climática.....	36
2.5.2.5 Otimização.....	38
2.5.2.6 Manutenibilidade.....	40
2.5.2.7 Segurança.....	42
2.5.2.8 Compatibilidade e visualização.....	44
2.5.2.9 Adequação.....	46
2.5.2.10 Projeto para a eficiência.....	48
3. METODOLOGIA.....	51
3.1 Seleção dos critérios de avaliação.....	51
3.1.1. Simplificação.....	52
3.1.2 Padronização.....	52
3.1.3 Acessibilidade.....	53
3.1.4 Influência Climática.....	54
3.1.5 Otimização de técnicas e processos de construção.....	55
3.1.6 Manutenibilidade.....	56
3.1.7 Segurança.....	56

3.1.8. Compatibilidade de tolerâncias e visualização de ferramentas.....	57
3.1.9. Adequação.....	58
3.1.10. Projetos para a eficiência.....	59
3.2. Estudo de casos: Descrição dos objetos de estudo.....	60
4. RESULTADOS.....	64
4.1 Análise da construtibilidade dos elementos pré-fabricados através dos manuais de montagem.....	64
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias mais importantes e desempenha um papel crucial no desenvolvimento urbano e na infraestrutura. Dentro desse setor, a utilização de estruturas pré-fabricadas de concreto armado tem se mostrado uma alternativa cada vez mais eficiente, fornecendo soluções para problemas encontrados nos métodos tradicionais da construção, por exemplo, dificuldade no controle de qualidade, segurança, prazos de entrega dentre outros (ZUCCHETTI, 2010).

1.1. Contexto

A construtibilidade é um conceito na engenharia civil, referindo-se à facilidade e eficiência com que um projeto pode ser construído (CIRIA, 1983). Na etapa de montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, a construtibilidade desempenha um papel crucial, promovendo um aumento da produtividade, maior qualidade da construção, melhoria no relacionamento da equipe e menor dependência de mão-de-obra (CII apud Delegregó, 2017).

A montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado envolve uma série de desafios, incluindo a logística de transporte e manuseio das peças pré-fabricadas, a coordenação entre diferentes equipes de trabalho e a integração eficiente das diferentes partes da estrutura. De acordo com o Construction Industry Institute (CII) (2002), quando devidamente empregada a alternativa dos pré-fabricados, pode-se vencer diversos desafios impostos à obra, como construir em condições climáticas adversas, falta de mão-de-obra especializada, prazos apertados e entre outros. Portanto, entender e simplificar o processo, é necessário para ter uma boa construtibilidade.

Nesse contexto, este trabalho se propõe a investigar e analisar alguns critérios que influenciam a construtibilidade na etapa de montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, identificando desafios e possíveis soluções para otimizar esse processo. Ao fazer isso, busca-se contribuir para o avanço do conhecimento e das técnicas nessa área tão importante da engenharia civil e da construção.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise crítica de dois manuais sobre a etapa de montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, a partir de uma lista de critérios de avaliação da construtibilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivo específico visou-se:

- Desenvolver critérios de avaliação da construtibilidade para elementos pré-fabricados;
- Desenvolver requisitos (subcritérios) para cada critério de avaliação listado, a fim de caracterizar e ampliar a análise dos manuais de montagem;
- Avaliar a abrangência desses critérios em relação aos manuais de montagens utilizados.

1.3. Limitações

Foram encontradas algumas limitações nos objetos de estudo. A intenção inicial era conseguir um manual de montagem atual de alguma empresa de pré-fabricados, entretanto, houve uma resistência dos profissionais contatados, tentaram dar informações mas não quiseram compartilhar o guia deles ou até um projeto de montagem.

1.4. Metodologia de pesquisa

Para alcançar o objetivo deste trabalho, foram realizadas revisões bibliográficas para identificar os principais aspectos da construtibilidade na montagem de pré-fabricados, elaborou-se uma lista de critérios com base nas revisões e se fez uma análise nos manuais de montagem para avaliar a presença e a conformidade desses critérios. Espera-se que este trabalho contribua para a melhoria da eficiência e qualidade na montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto armado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados o conceito de pré-fabricados e quais elementos são fabricados para edificações, bem como as suas vantagens e desvantagens de seu uso. Será abordado o que a norma NBR 9062 (ABNT, 2017) estabelece para a montagem desses elementos, com o objetivo de verificar se o objeto de estudo respeita as recomendações da norma. Também serão apresentados o conceito de construtibilidade e critérios de avaliação para o mesmo.

2.1. Pré-fabricados

O conceito de pré-fabricados refere-se a elementos construtivos que são fabricados fora do local definitivo, geralmente em uma fábrica ou instalação especializada, como por exemplo, peças de concreto armado (vergas, contravergas, lajes, vigas, etc.). Qualquer componente que é produzido fora do canteiro e não é um sistema completo, pode ser considerado um pré-fabricado (HAAS *et al.*, 2000). De acordo com o CII (2002), quando devidamente empregada a alternativa dos pré-fabricados, pode-se vencer desafios impostos à obra, como construir em condições climáticas adversas e prazos apertados.

Conforme destacado por Ordonez (1974 apud NETO, 1998), a pré-fabricação pode ser vista como uma evolução do conceito de pré-moldagem, onde o foco está na produção em larga escala dos elementos. Enquanto a pré-moldagem é uma opção construtiva que visa principalmente minimizar ou eliminar o uso de cimbramentos e aprimorar a qualidade da moldagem do concreto, a pré-moldagem não se preocupa tanto com a produção massiva dos elementos.. Nos casos dos elementos pré-fabricados, é preciso investir consideravelmente em maquinário para assegurar uma produtividade elevada no processo. Nesse cenário, o projeto desempenha uma função crucial ao planejar minuciosamente a produção e abordar todos os aspectos relacionados à fabricação, incluindo o design detalhado do layout de produção, análise de tempos e métodos, implementação de controles abrangentes e outros elementos pertinentes à fabricação.

Ordonez (1974) ainda explica a diferença da construção convencional dos pré-fabricados, que acaba sendo um método sem sofisticação, a qual todas fases do

processo construtivo é feito de forma manual, utilizando inclusive ferramentas que precisam ser operadas da mesma maneira. Por essa razão, o método convencional tem as características de improvisação, produção unitária e baixa produtividade.

Neste trabalho será utilizado o termo de pré-fabricados, a norma que será apresentada a seguir, NBR 9062 (ABNT, 2017), trata do projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Nela consta a diferença entre os conceitos de elemento pré-moldado e pré-fabricado, que é o mesmo abordado anteriormente, onde o pré-fabricado se trata de um elemento pré-moldado executado industrialmente, em uma empresa que tenha instalações destinada para este fim fora do local da obra. São apresentadas diferenças em coeficientes de minoração de materiais, entretanto, isso não interfere na análise deste trabalho, a qual tem o foco na etapa de montagem. Para a parte que aborda sobre a montagem dos elementos, o processo deve ser o mesmo para os dois termos, por isso essa norma está sendo considerada, assim como o Manual de Montagem de Pré-moldados ABCIC/NETPre (DONIAK, 2008) que será utilizado posteriormente.

A norma NBR 9062 (ABNT, 2017) de projetos e execução de estruturas de concreto pré-moldado, define os elementos estruturais com uma terminologia genérica como, por exemplo, elemento linear, delgado e em placa.

Neste sentido, e, partindo do entendimento que a construção de estruturas de concreto pré-fabricadas são constituídas por elementos estruturais que, a partir de encaixe e diferentes tipos de apoios configuram a estrutura propriamente dita, verifica-se a necessidade de aprofundar o entendimento sobre os elementos pré-fabricados.

2.2. Elementos pré fabricados de concreto armado

A partir da busca de definições e descrições com funcionalidade e características específicas dos elementos construtivos pré-fabricados em artigos científicos, optou-se por utilizar informações da empresa Cassol Pré-fabricados, que traz a descrição sobre cada elemento em seu site (CASSOL, 2024), da Precon Pré-fabricados (PRECON, 2024), do Manual Técnico Munte (MUNTE, 2007) e do Manual de Montagem de Pré-moldados ABCIC/NETPre (DONIAK, 2008).

2.2.1 Pilares pré-fabricados

Os pilares pré-fabricados atendem variadas seções e dimensões, o comprimento respeita variações modulares de 10cm e a definição da seção depende do que o projeto solicitar, entretanto, a medida padrão é de 40 x 40 cm (MUNTE, 2007). São os elementos mais complexos do sistema construtivo dos pré-fabricados, podem ser adotados tubulações internas para auxiliar no escoamento das águas pluviais e também, consoles, retangulares ou trapezoidais, com o objetivo de servirem de apoio para as vigas ou insertos para a fixação mecânica em edifícios e em outras estruturas na área industrial (PRECON, 2024). Na figura 1, pode -se visualizar um pilar pré-fabricado.



Figura 1 - Modelo de pilares pré-fabricados (Fonte: Site da Precon/distribuição gratuita)

No processo de montagem desses elementos, os pilares são os primeiros a serem montados, consiste no içamento do pilar no nicho do colarinho (cálice) do bloco, deve-se garantir que ele fique no prumo e alinhado, isto é feito com cunhas de madeiras. Após a verificação do posicionamento, é lançado o concreto no nicho do colarinho (cálice), assim termina a solidarização do pilar no bloco de fundação (MUNTE, 2007).

Com o objetivo de ilustrar melhor esse processo de montagem, pode-se observar a Figura 2.

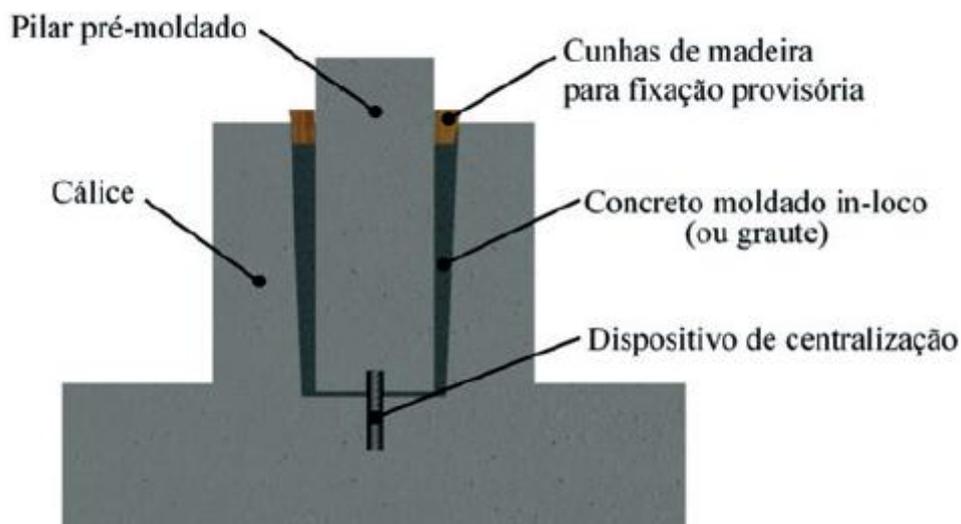


Figura 2 - Ligação do pilar pré-fabricado no bloco de fundação (Fonte: repositório PUC/distribuição gratuita, 2021)

2.2.2 Vigas pré-fabricadas

Podem ser fabricadas em concreto armado ou protendido e também podem ser diferenciadas pelas funções, sendo, a de travamento de pilares ou painéis de fechamento, suporte para lajes e alvenarias, apoio para outras vigas, auxiliar no escoamento de águas pluviais como viga calha e até para composição de fachada (PRECON, 2024). Na Figura 3 pode-se visualizar as vigas já montadas e apoiadas nos consoles dos pilares.



Figura 3 - Modelo de vigas pré-fabricadas (Fonte: Construtora estilo/distribuição gratuita, 2024)

Para a montagem da viga, deve-se utilizar aparelhos de apoio com base em neoprene nas duas extremidades, ou seja, elastômeros que impedem o contato direto entre as superfícies de concreto da viga-pilar, assim garante-se que as ligações sejam eficientes e mantenha a integridade do elemento pré-fabricado (DONIAK, 2008). Os consoles apresentam pinos, os quais são conectados com a viga e as fixações são preenchidas com graute, garantindo a ligação das peças (MUNTE, 2007).

Durante o processo de içamento das vigas pré-fabricadas, é crucial estar atento às particularidades de cada elemento. É importante verificar o espaçamento entre o ponto de manuseio e as extremidades da viga para ver se está adequado e assim, evitar o surgimento de fissuras. Para armazenar as vigas, é essencial posicionar os apoios em um piso com capacidade de suporte adequada e usar barrotes de madeira com dimensões compatíveis com a carga da viga. Entre as vigas, recomenda-se o uso de ripas de madeira macia para reduzir tensões e evitar sobrecargas (CASSOL, 2024).

2.2.3 Lajes pré-fabricadas

As lajes alveolares (Figura 4) oferecem muitas vantagens para a construção civil, pois dispensam escoramentos, suportam grandes vãos e seu processo de montagem é rápido e seguro (PRECON, 2024).

Os alvéolos longitudinais reduzem o seu peso e as lajes são produzidas em pista de protensão e possuem modulação de 120 cm de largura. Eventualmente, é possível realizar lajes cortadas com o objetivo de acertar algum vão ou para passagem de tubulação mas deve ser evitado por ter um custo maior por m² (MUNTE, 2007).



Figura 4 - Lajes alveolares (Fonte: Site da Cassol/distribuição gratuita, 2024)

As lajes alveolares apoiam-se diretamente sobre uma superfície nivelada, sem qualquer elemento adicional, por isso o processo de montagem é ágil (MUNTE, 2007).

O Manual da ABCIC/NETPre (DONIAK, 2008) recomenda que após a instalação das lajes nos apoios, deve-se equalizar a laje, ou seja, verificar as condições de apoio, prumo e nivelamento do elemento e após isso, consolidar a laje em pelo menos dois pontos. Na figura 5 pode-se observar o içamento de um módulo de laje alveolar.



Figura 5 - Içamento de um módulo de laje alveolar (Fonte: Site IBPC/distribuição gratuita, 2024)

2.2.4 Telhas pré-fabricadas

As telhas W em concreto protendido são amplamente utilizadas, o seu comprimento pode variar com a necessidade do projeto, entretanto, sua forma mais econômica pode atingir um vão máximo de 20 m (MUNTE,2007).

Cassol (2024) destaca algumas vantagens devido a sua estrutura:

- Resistência aos esforços de arrancamento promovidos pelas cargas de vento na cobertura;
- Garantia de estanqueidade;
- Possibilidade de uso em todas as regiões do Brasil, sejam em regiões litorâneas, grandes centros ou áreas rurais.

No sistema de cobertura, o processo de escoamento das águas pluviais ocorre de forma otimizada, já que a água da chuva é conduzida das telhas para as vigas calha e das vigas para o interior dos pilares, assim, não há a necessidade de conexões, visto que os próprios elementos pré-fabricados realizam toda a captação e condução. É necessário realizar, somente, a captação enterrada nas saídas existentes dos pilares (MUNTE, 2007). Na figura 6 pode-se observar uma telha W em concreto protendido.

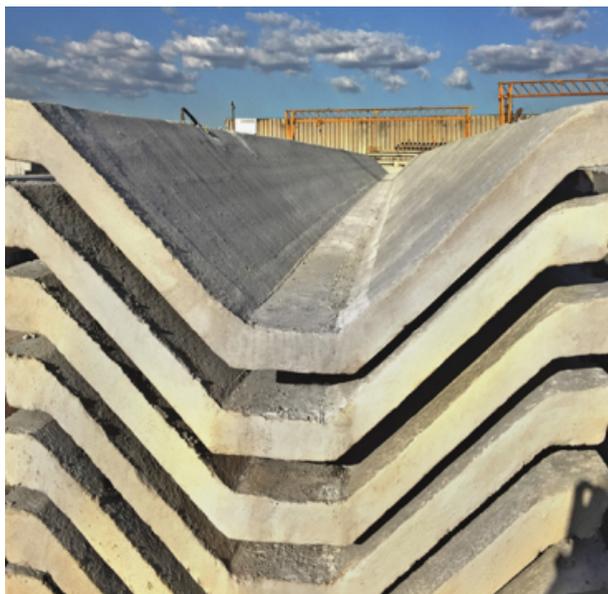


Figura 6 - Telhas em concreto protendido (Fonte: Site da Cassol/distribuição gratuita, 2024)

2.2.5 Painéis pré-fabricados

Segundo Munte (2007), os painéis alveolares (Figura 7) tem a modulação na largura de 120 cm e não podem ser recortados. É uma alternativa para o fechamento em alvenaria e podem ser produzidas na orientação horizontal ou vertical (PRECON, 2024).



Figura 7 - Painéis Alveolares (Fonte: Site da Precon/distribuição gratuita)

2.3. Montagem de elementos pré-fabricados

A NBR 9062 (ABNT, 2017) estabelece requisitos e recomendações para todas as fases do processo, desde o projeto até a execução da obra de estruturas pré-moldadas de concreto, incluindo a montagem, objeto de estudo deste trabalho.

A NBR 9062 (ABNT, 2017) recomenda que antes de iniciar a montagem, é necessário estabelecer um planejamento considerando os seguintes aspectos:

- Avaliar previamente possíveis interferências como construções vizinhas, árvores, rede de energia elétrica, existência de tubulações, galerias e manilhas;
- Estabelecer uma sequência de montagem de cada peça e considerar no plano de montagem as condições de acesso, equipamento utilizado e quando houver, requisitos do cliente. E deve considerar questões estruturais e alinhar com o cronograma de obra para não causar conflitos com atividades sendo executadas simultaneamente;
- O planejamento deve prever a conferência antecipada das fundações;
- Quando não houver especificação da montagem dos elementos pré-fabricados, deve-se executar mantendo sempre o equilíbrio da estrutura.

Agora, para o plano de montagem, a NBR 9062 (ABNT 2017, p.76 e 77) exige que a elaboração do documento seja realizado pelo responsável de montagem e esse plano deve conter as seguintes informações:

- “a) indicar claramente as instruções de montagem para cada tipo de elemento e a sequência de montagem destes;
- b) registro da idade dos elementos estruturais a serem montados. Atenção especial deve ser dada a esta informação, pois o concreto deve ter atendido previamente o f_{ck} para esta etapa, assim como o módulo de elasticidade, ambos definidos conforme 5.6;
- c) f_{ck} especificado em projeto para o concreto a ser empregado nas ligações, que deve ser obedecido para que a montagem prossiga;
- d) avaliar previamente detalhes de ligações e juntas permanentes;
- e) avaliar previamente apoios e sistemas de suporte temporários;
- f) avaliar previamente a sequência de capeamento das lajes alveolares;
- g) evidenciar que os equipamentos de montagem, bem como os dispositivos auxiliares, foram escolhidos corretamente e atendem às necessidades da obra. Os equipamentos devem estar em condições de uso, com plano de manutenção em dia e, quando aplicável, com os respectivos certificados de ensaios realizados;
- h) fazer referência à legislação de segurança vigente;
- i) documento específico de registro, elaborado em comum acordo com o cliente, detalhando as responsabilidades pelos equipamentos de proteção coletiva, controle de entrada e saída da obra, isolamentos e sinalizações das áreas de risco;

j) plano de Rigging, que deve ser estabelecido em todas as obras, conforme definido em 3.17, para escolha adequada de equipamentos. Para a completa eficiência da escolha, é necessário que todo o projeto seja conhecido, bem como local e terreno, obstruções e tipo de terreno onde devem ser executadas as montagens;

k) caso exista necessidade de interface com o cliente, com a execução de ligações, concretagens ou outros serviços, deve existir um documento que comprove que foram discutidas e definidas as necessidades e responsabilidades de cada um no processo;

l) ao final das montagens o fornecedor da estrutura deve se reunir com o cliente, deixando claras as informações relativas aos trabalhos ainda não executados ou concluídos, de responsabilidade do cliente. Essa reunião deve ser documentada para garantia dos dois lados;

m) em estruturas ou edificações sem ligações provisórias ou travamentos definitivos, a montagem deve ser realizada preferencialmente em uma sequência que considere etapas de até dois pavimentos de laje ou altura de 12 m. A condição de montagem faz parte do plano de montagem e deve ser aprovada pelo responsável pelo projeto.”

2.4. Vantagens e desvantagens de elementos pré-fabricados

Pesquisas feitas anteriormente buscaram analisar os benefícios, desafios e requisitos para implementar os métodos PPMOF (Pré-fabricação, Pré-montagem, Modularização e Fabricação Offsite) (TATUM *et al.*, 1987; Construction Industry Institute (CII), 1992; CII, 1995).

Os autores citam que a escolha destes métodos traz vantagens de custo, impacto ambiental, gestão de riscos, prazos, controle de qualidade e segurança, conforme listado abaixo:

- Redução dos custos devido a maior produtividade obtida dentro das fábricas, comparado a que seria obtida em canteiro, bem como a padronização dos projetos;
- Redução da infra-estrutura no canteiro, dos desperdícios com materiais, do fluxo de trabalhadores no canteiro e dos impactos causados à comunidade local, como poeira e barulho, já que parte dos trabalhos são transferidos para fábricas;
- Maiores chances de cumprir prazos realizados no planejamento da obra, visto que o trabalho controlado em fábrica sofre menos interferências das condições climáticas, impactos ambientais e das diferentes frentes de trabalho e redução no prazo de execução da obra, uma vez que há um trabalho em paralelo, uma frente do canteiro e a outra na fábrica;

- Melhor controle de qualidade na fabricação de componentes devido às condições controladas de manufatura;
- Menor risco em termos de segurança são impostos aos trabalhadores, já que boa parte do trabalho é conduzido ao nível do solo;
- A redução do número de trabalhadores resulta em menor congestionamento no canteiro.

Entretanto, mesmo possuindo inúmeros benefícios, existem desafios para quem opta por utilizar esse método. Segundo o CII (2002), dentre as barreiras encontradas com o uso desse método, destacam-se a coordenação de mais um canteiro, a logística do transporte dos elementos construtivos, a gestão de interfaces entre elementos produtivos no canteiro e em instalações fabris e também a redução de flexibilidade para realizar mudanças no projeto, já que a utilização destes métodos exige um planejamento definido desde o início.

O CII (2002) ainda destaca mais algumas desvantagens ao utilizar este método:

- o tipo de transporte, bem como a rota, impõem limitações de peso e tamanho às peças manufaturadas por meio do PPMOF;
- o emprego destes métodos requer maior envolvimento com coordenação de projeto e transporte.

2.5. A Construtibilidade

Avaliar a construtibilidade de um projeto envolve analisar sua viabilidade prática e identificar possíveis obstáculos ou desafios que possam surgir durante a execução. Isso requer uma compreensão abrangente das características do projeto, incluindo sua complexidade, requisitos técnicos, restrições de cronograma e orçamento, bem como a interação entre os diferentes elementos envolvidos na construção.

2.5.1. Conceito de construtibilidade

A Construction Industry Research and Information Association (CIRIA, 1983, apud DELEGREGO, 2017, p. 21), uma organização não governamental, envolvida com

a indústria da construção, visualizou a oportunidade e criou a primeira definição para o termo: “Construtibilidade é a magnitude na qual o projeto de um edifício favorece a facilidade de construção, subordinado aos requisitos gerais para o edifício concluído”.

Há inúmeros trabalhos sendo realizados sobre este conceito desde a década de 80, existem variações sobre o próprio termo como também sobre a sua definição, entretanto, a maioria dos autores utiliza esse conceito para definir a busca de produtividade e uma melhora nos padrões de qualidade (ZUCCHETTI, 2010).

Delegregó (2017, p. 21), descreve a construtibilidade de uma forma interessante “é um conceito para representar a facilidade de construção, que é intimamente dependente da integração de conceitos das diferentes partes que compõem a construção”.

São com esses conceitos que será avaliado a construtibilidade do método construtivo abordado neste trabalho, os pré-fabricados. Porém, será utilizado o termo “critérios de avaliação” ao invés de “conceitos”, os quais serão elaborados a seguir.

2.5.2 Critérios de avaliação da construtibilidade

O'Connor *et al.* (1987), foi o primeiro a desenvolver uma pesquisa que abordava requisitos para análise da construtibilidade de uma edificação. O resultado da pesquisa gerou sete princípios, para utilizar nas etapas de projeto e planejamento, a fim de melhorar a construtibilidade.

Enquanto o CII (Construction Industry Institute) no mesmo ano, 1987, definiu os seus critérios para construtibilidade e criou um guia com quatorze deles, sendo seis destes relacionados à concepção, sete relacionados a etapa de projeto e contratação e o último conceito aplicado à fase de construção. E também, a CIRIA (1983) apud Zucchetti (2010), propôs sete princípios para a etapa de concepção e projeto. Existem, também, trabalhos mais recentes como Rodrigues (2005) e Zucchetti (2010) que indicam, respectivamente, sete princípios e 10 requisitos básicos baseados em revisão bibliográfica para serem aplicados na construção civil.

Usando as pesquisas destes diferentes autores, foram levantados os critérios relacionados à construtibilidade no Quadro 1 para posterior análise do uso deles, especificamente, para pré-fabricados, que é o objetivo deste trabalho.

Cr�terios de Avalia�o da Construtibilidade		
	Pesquisas identificadas	Cr�terios
1	Griffth (1986); O'Connor e Tucker (1986); O'Connor <i>et al</i> (1987); Cii (1993); Nima <i>et al</i> (2002).	Simplifica�o
2	Griffth (1986); O'Connor e Tucker (1986); Cii (1993); Nima <i>et al</i> (2002).	Padroniza�o
3	O'Connor e Tucker (1986); O'Connor <i>et al</i> (1987); Cii (1993); Nima <i>et al</i> (2002).	Acessibilidade
4	O'Connor e Tucker (1986); Cii (1993); Nima <i>et al</i> (2002).	Minimiza�o da Influ�ncia Clim�tica
5	O'Connor e Tucker (1986); Cii (1993); Nima <i>et al</i> (2002).	Otimiza�o
6	Saffaro <i>et al</i> (2004).	Manutenibilidade
7	Zucchetti (2010) e Zin (2004).	Seguran�a
8	Zucchetti (2010) e Zin (2004).	Compatibilidade e Visualiza�o
9	Zucchetti (2010) e Zin (2004).	Adequa�o
10	Zucchetti (2010) e Zin (2004).	Projetar para a Efici�ncia

Quadro 1: Cr terios de Avalia o de Construtibilidade. Fonte: RODRIGUES (2005) e ZUCCHETTI (2010) adaptado pelo autor.

Considerando os cr terios apresentados no Quadro 1, a seguir ser o discutidos os principais aspectos relacionados a cada um deles.

2.5.2.1 Simplificação

Este é o critério mais mencionado pelos autores, afinal todos visam simplificar com o objetivo de melhorar o processo construtivo. Existe um consenso entre os autores, como O'Connor *et al.* (1987) e Alshawi e Underwood (1994), sobre a complexibilidade na etapa de projetos. Para eles a construtibilidade seria reforçada se os projetos fossem simplificados e tivessem o enfoque de garantir uma construção eficiente, considerando elementos com formas compatíveis, facilitando o processo de montagem e o mínimo de peças para simplificar também a produção.

Outros autores sugerem práticas para aumentar a construtibilidade através da simplificação, tais como:

- Incorporar multifunções em um só elemento, por exemplo, o uso do radier que pode ser usado tanto como uma fundação como laje de contrapiso (RODRIGUES, 2005);
- Estudar a possibilidade de adotar métodos como pré-fabricados, pré-montagem e modularização o mais cedo possível, desta forma, é possível utilizar o método da maneira mais eficiente, aplicando as condições desde a elaboração do projeto (NIMA *et al.* 2002);
- Na etapa de projetos, evitar tarefas que dependam de outras para serem executadas, assim, aumenta a possibilidade de executar mais de uma paralelamente (O'CONNOR *et al.*, 1987);
- Buscar conexões simples e de fácil execução, assim reduz a exigência de mão-de-obra especializada e de controle de produção (O'CONNOR *et al.*, 1987).
- Utilização do requisito de minimização dos tempos de percepção, decisão e manipulação das operações de montagem manual. Este deve ser um dos principais fatores que devem ser considerados no ramo da construção devido a predominância de atividades realizadas manualmente no canteiro de obras (RODRIGUES, 2005).

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no

esquema apresentado na Figura 8, alguns requisitos pelos quais o critério da simplificação se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.

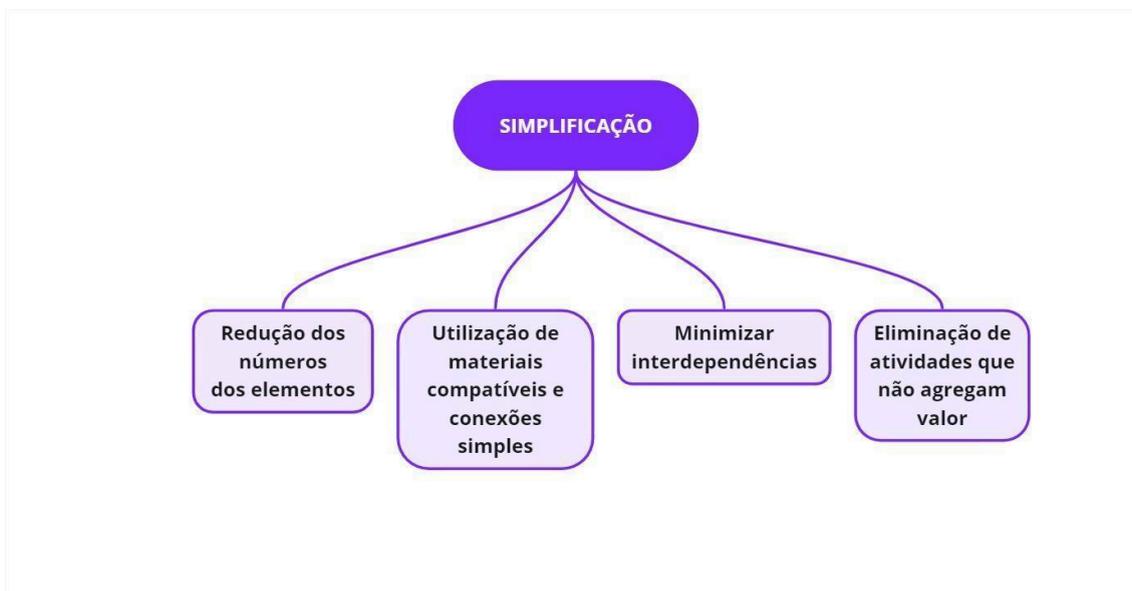


Figura 8 – Critérios da simplificação selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Redução do número de elementos:** Os pré-fabricados frequentemente buscam reduzir o número de componentes ou elementos necessários para a montagem de um edifício. Isso pode ser alcançado através da integração de diferentes partes em um único elemento, onde a fusão de diversos componentes resulta em um produto único (LOW, 2001) Por exemplo, painéis pré-fabricados que incorporam isolamento térmico, estrutura e acabamento exterior em uma única unidade, reduzindo a complexidade da montagem no local;
2. **Utilização de materiais compatíveis e conexões simples:** Os pré-fabricados geralmente empregam materiais e conexões simples que são compatíveis entre si e fáceis de montar. Isso ajuda a reduzir a necessidade de mão-de-obra especializada e simplifica o controle da produção (O'CONNOR *et al.*, 1987).;
3. **Minimizar interdependências:** Utilizar soluções de projeto que minimizem a interdependência entre atividades, como, por exemplo, usando pré-fabricação para permitir a realização de atividades em paralelo dentro e fora do canteiro;
4. **Eliminação de atividades que não agregam valor:** Com a utilização dos pré-fabricados, reduz os cuidados de materiais em relação a condições de armazenamento ou remanejamento de materiais dentro do canteiro.

2.5.2.2 Padronização

A padronização é um requisito essencial desde a fase de projeto e planejamento e seu principal benefício é de natureza econômica (CII, 1987; NIMA *et al.*, 2001). Segundo O'Connor e Tucker (1986), a aplicação efetiva da padronização em conexões, tipos de materiais, dimensões de projeto e sistemas construtivos minimiza a variabilidade, simplifica operações de canteiro e melhora a construtibilidade.

Rodrigues (2005) destaca que a padronização é um pré-requisito quando se trata de empregar métodos como pré-fabricados, para que seja uma escolha viável economicamente, são necessários muitos componentes idênticos para justificar uma produção em grande escala na fábrica.

Lam, Wong e Chan (2006), trazem benefícios adicionais da padronização, que incluem o aumento da produtividade, aprendizado em atividades repetitivas e vantagens econômicas pela compra em volume. Além da redução da variedade de estoques.

No entanto, é reconhecido pela CII (1987) que a padronização dos elementos de projeto pode resultar em desafios, como o aumento no uso e tamanho de materiais, limitações ao processo criativo e custos adicionais relacionados ao armazenamento devido ao volume das compras.

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 9, alguns requisitos pelas quais o critério da padronização se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.

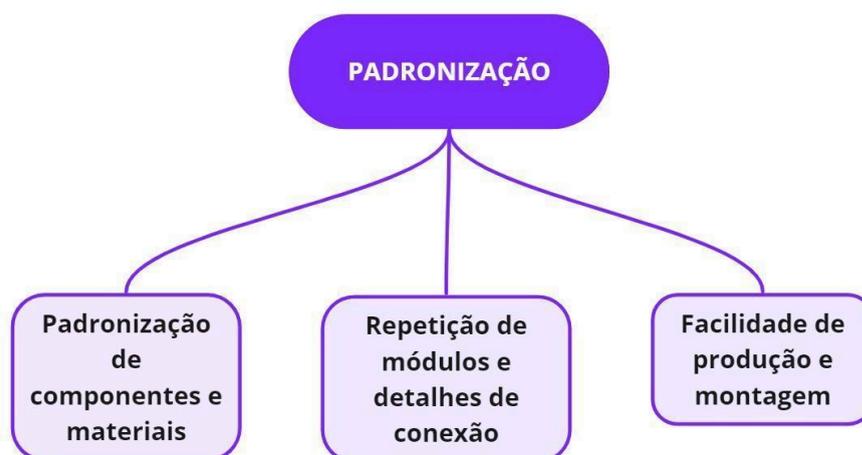


Figura 9 – Critérios da padronização selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Padronização de componentes e materiais:** Nos pré-fabricados, a padronização é fundamental para garantir a eficiência e a qualidade do processo de fabricação e montagem. Segundo Low, Wong, Chan (2006), a partir de entrevistas feitas com pessoas envolvidas no processo da construção, devem ser realizados esforços para padronizar materiais, componentes e sistemas, buscando a repetição de processos e atividades construtivas;
2. **Repetição de módulos e detalhes de conexão:** A padronização nos pré-fabricados envolve a repetição de módulos e detalhes de conexão, o que simplifica as operações de canteiro e melhora a construtibilidade (O'CONNOR *et al.*, 1987; ZIN, 2004; O'CONNOR; TUCKER, 1986). Por exemplo, um sistema de encaixe padronizado pode ser utilizado para unir os componentes pré-fabricados, reduzindo a necessidade de ajustes no local e minimizando problemas de interferência;
3. **Facilidade de produção e montagem:** A padronização dos componentes pré-fabricados aumenta a produtividade ao facilitar a aprendizagem das atividades repetitivas e reduzir a variedade de partes nos estoques. Isso resulta em vantagens econômicas, como a compra em volume de um mesmo produto e a simplificação na gestão de produtos (O'CONNOR *et al.*, 198). Além disso, a

CII (1987), relata que a padronização contribui para a qualidade e intercambialidade entre as partes, garantindo maior consistência e uniformidade na construção.

2.5.2.3 Acessibilidade

A acessibilidade é um fator importante para a construtibilidade, pois impacta diretamente na produtividade, segurança e custos da obra. A falta de acessibilidade pode causar atrasos, retrabalhos e danos aos materiais e equipamentos, o que pode levar a prejuízos financeiros e atrasos na entrega da obra (O'CONNOR; TUCKER, 1986; CII, 1987; NIMA *et al.*, 2001).

A CII (1987) destaca que a acessibilidade deve ser considerada para a mão-de-obra, materiais e equipamentos. Para a mão-de-obra, a acessibilidade se refere à adequação dos espaços para o desenvolvimento das tarefas, como largura das passagens, altura das portas e janelas, etc. Para os materiais e equipamentos, a acessibilidade se refere à facilidade de acesso aos materiais estocados e de transporte ao posto de trabalho.

Para aumentar a acessibilidade, os autores citados propõem as seguintes recomendações:

- Estabelecimento de diretrizes buscando definir espaços mínimos necessários para elementos do projeto;
- Definição e especificação de vias de acesso e rotas de deslocamento;
- Definição de espaços para equipamentos e utilização de rotas lineares;
- Comunicação clara de informações relacionadas com a acessibilidade aos projetistas e coordenadores.

Zucchetti (2010) ainda acrescenta a busca pela redução da utilização de diferentes materiais e de danos aos materiais causados pelo clima, pela prevenção de danos causados em trabalhos já concluídos, por descuido, ou em materiais, pela manipulação e empilhamento na entrega, no armazenamento e circulação no canteiro.

Com base nas informações apresentadas serão elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 10, alguns requisitos pelas quais o critério da acessibilidade se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.

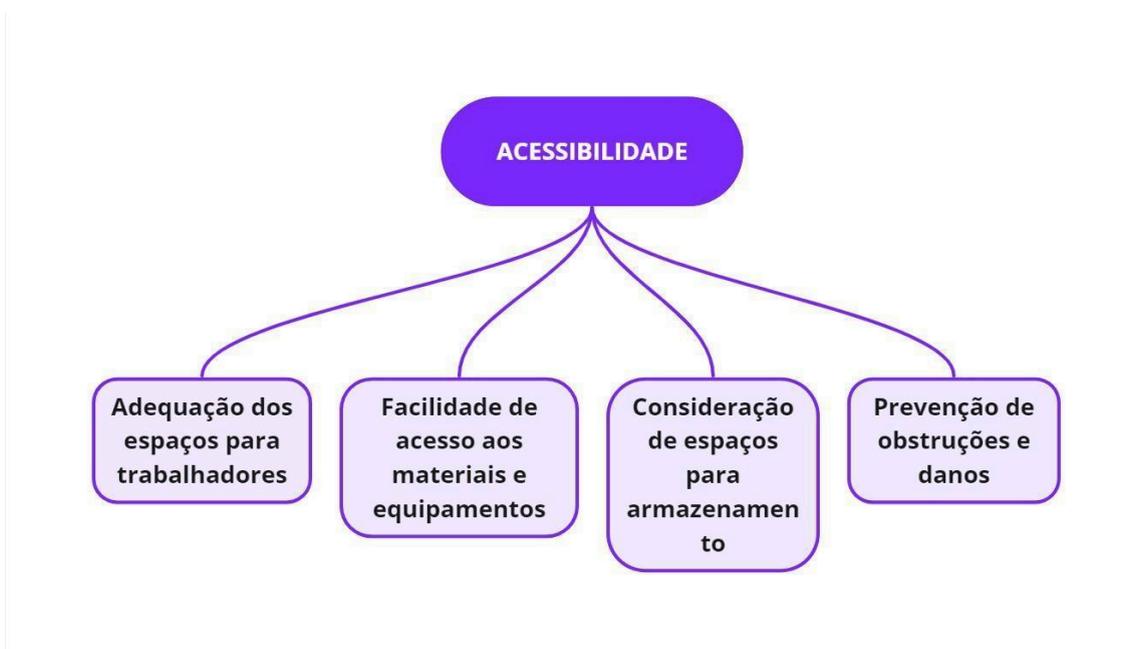


Figura 10 – Critérios da acessibilidade selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Adequação dos espaços para trabalhadores:** Nos projetos de pré-fabricados, é essencial considerar as necessidades de acesso da mão-de-obra (O'CONNOR; TUCKER, 1986; CII, 1987; NIMA *et al.*, 2001). Isso inclui garantir que haja espaço suficiente para a movimentação e realização das tarefas de construção de forma eficiente e segura;
2. **Facilidade de acesso aos materiais e equipamentos:** A acessibilidade nos pré-fabricados também se refere à facilidade de acesso aos elementos entregues e aos equipamentos necessários para a montagem. Isso significa garantir que os elementos estejam disponíveis de forma organizada e acessível no canteiro de obras, minimizando o tempo necessário para sua localização e transporte até o local de montagem (O'CONNOR *et al.*, 1987). Além disso, Oliveira (1994), sugere a melhoria de definir e demarcar claramente os espaços para equipamentos;
3. **Consideração de espaços para armazenamento:** O'Connor (1986) reforça que devem incluir espaços adequados para o armazenamento dos elementos e equipamentos no canteiro de obras. Isso envolve identificar áreas específicas para o armazenamento temporário de componentes pré-fabricados, bem como para equipamentos de suporte, como andaimes e escoras temporárias. Esses

espaços devem ser dimensionados e localizados de forma a otimizar o layout do canteiro e garantir a eficiência das operações de construção;

4. **Prevenção de obstruções e danos:** Diz respeito à prevenção de obstruções e danos causados por um planejamento inadequado dos espaços e rotas de trabalho. Por exemplo, Oliveira (1994) diz para utilizar sequências executivas que minimizem interferências no local de trabalho e nas vias de circulação do canteiro e a realização dos serviços de pavimentação do térreo, a fim de prevenir problemas com alagamentos e melhorar a circulação

2.5.2.4 Minimização da Influência Climática

As condições climáticas podem interferir na produtividade das atividades, atrasar o cronograma e causar problemas de qualidade. Por isso, é importante buscar alternativas e métodos que minimizem os efeitos do clima e condicionantes ambientais onde a obra será executada (RODRIGUES, 2005).

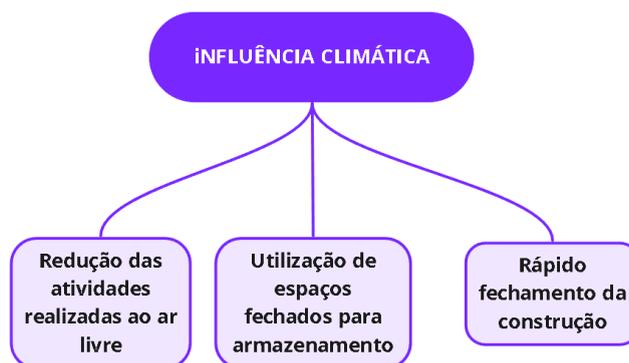
O'Connor *et al.* (1987) sugerem algumas aplicações para este critério:

- Desenvolver projetos que minimizem as atividades realizadas ao ar livre;
- Adotar espaços fechados que funcionem como indústrias;
- Pavimentar o canteiro de obras;
- Utilizar métodos PPMOF (pré-fabricados, pré-montados e pré-acabados).

A utilização de pré-fabricados, em particular, é uma estratégia eficaz para minimizar os efeitos climáticos, pois permite o rápido fechamento da construção e, conseqüentemente, a proteção das atividades das intempéries (ZIN, 2004).

Em resumo, a minimização das influências climáticas nas atividades de construção civil é uma estratégia importante para garantir a qualidade, a produtividade e o cronograma das obras.

Com base nas informações apresentadas foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, no esquema apresentado na Figura 11, alguns requisitos pelas quais o critério da minimização da influência climática se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.



miro

Figura 11 – Critérios da minimização da influência climática selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Redução das atividades realizadas ao ar livre:** Nos projetos de pré-fabricados, é importante desenvolver estratégias para minimizar as atividades realizadas ao ar livre, especialmente em locais com condições climáticas adversas. Isso pode envolver a pré-fabricação de componentes em ambientes fechados e sua montagem posterior no local de construção, reduzindo assim a exposição dos trabalhadores e materiais às intempéries (O'CONNOR *et al*, 1987);
2. **Utilização de espaços fechados para armazenamento:** Quando possível, deve-se adotar grandes espaços fechados que funcionem como indústrias, permitindo o armazenamento de equipamentos e materiais durante a construção. Isso ajuda a proteger os materiais da chuva e da umidade, garantindo sua integridade e qualidade (O'CONNOR *et al*, 1987);
3. **Utilização de pré-fabricados para rápido fechamento da construção:** Os pré-fabricados podem ser utilizados como elementos que oferecem maiores condições para o fechamento das estruturas nas primeiras etapas da construção. Isso minimiza os efeitos das condições climáticas adversas, permitindo que outras atividades de construção prossigam de forma mais eficiente e segura (ZIN, 2004).

2.5.2.5 Otimização

A maioria dos requisitos de construtibilidade podem ser melhorados durante o desenvolvimento do projeto do produto. No entanto, a otimização das técnicas e processos de construção deve ser considerada no projeto do processo, contribuindo para a melhoria da construtibilidade no projeto do produto (RODRIGUES, 2005).

Rodrigues (2005) diz que o que gera grande impacto na construtibilidade são as melhorias feitas na elaboração do projeto do produto, mas existem práticas que devem ser consideradas no projeto do processo. As práticas para otimização dos processos de construção podem contribuir tanto para a melhoria da construtibilidade das instalações provisórias do canteiro quanto para aprimorar o nível de construtibilidade incorporado no projeto do produto.

Algumas das principais melhorias que podem ser realizadas nas técnicas e processos de construção são:

- Buscar inovar nos materiais e sistemas para construções temporárias ou descobrir novas maneiras de usar os materiais existentes (RODRIGUES, 2005);
- Aprimorar ferramentas existentes ou começar a usar ferramentas manuais que diminuem o tanto de esforço aplicado a uma tarefa ou aumenta a mobilidade ou segurança (NIMA *et al.*, 2002);
- Empregar métodos inovadores no modo de uso dos equipamentos disponíveis na obra ou alterar o equipamento disponível para aumentar a produtividade (NIMA *et al.*, 2002; O'CONNOR e TUCKER, 1986).

Com base nas informações apresentadas foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 12, alguns requisitos pelas quais o critério da otimização se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.



Figura 12 – Critérios da otimização selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Inovação e aprimoração de métodos ou equipamentos:** Analisar as ferramentas, como, por exemplo, guindastes e equipamentos de transporte e avaliar melhorias para aumentar sua eficiência e segurança. Além de buscar ferramentas manuais que possam reduzir o esforço físico dos trabalhadores e introduzir tecnologias que aumentam a mobilidade dos trabalhadores (NIMA *et al.*, 2002; O’CONNOR;TUCKER, 1986);
2. **Melhoria na eficiência e segurança:** A utilização de pré-fabricados pode aumentar a produtividade e segurança no canteiro de obras. Os elementos são fabricados com alta precisão e qualidade, o que reduz os riscos de erros durante a montagem. Além disso, a fabricação em ambiente controlado minimiza os impactos das condições climáticas, garantindo um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente;
3. **Garantia de qualidade:** A produção dos componentes pré-fabricados em ambiente industrial proporciona uma garantia de qualidade superior. Isso porque os processos de fabricação são realizados sob condições controladas, o que reduz a variação e os defeitos nos componentes. Além disso, Zin (2004) sugere que a construção deve buscar evitar danos nas operações seguintes, precavendo perdas e retrabalhos;
4. **Redução de custos e desperdícios:** A utilização de métodos construtivos baseados em pré-fabricados pode levar a uma redução significativa nos custos e

desperdícios. Os componentes pré-fabricados são produzidos em larga escala, o que reduz os custos unitários e os materiais desperdiçados durante a construção. Além disso, a montagem rápida e precisa dos pré-fabricados no local de construção reduz os custos com mão de obra e tempo de construção.

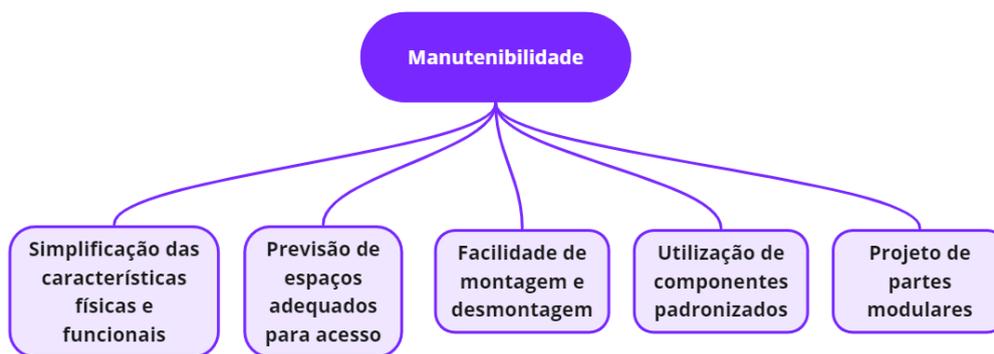
2.5.2.6 Manutenibilidade

Existe alguns autores que defendem a manutenção como sendo uma extensão da construtibilidade, características como facilidade, segurança e economia no desempenho das atividades de manutenção que promovem a manutenibilidade (MEIER; RUSSEL, 2000; DUSTON; WILLIAMSON, 1999). Porém, nem toda ação que aborda/considera a manutenção está ligada à construtibilidade (RODRIGUES, 2005).

Destaca-se a relevância das ações direcionadas à facilitação das atividades de substituição e renovação em edificações, enfatizando a necessidade de uma união harmônica entre componentes interdependentes para otimizar a construtibilidade (SAFFARO; SANTOS; HEINECK, 2004; RODRIGUES, 2005; MESQUITA, 2006). Nesse sentido, o edifício é concebido como um todo formado por uma integração harmoniosa de partes interligadas.

Visando aprimorar a manutenção de edifícios, Back *et al.* (2008) propõem algumas recomendações práticas. Primeiramente, sugere-se a simplificação das características físicas e funcionais, juntamente com a redução do número de componentes, resultando em uma diminuição do nível de habilidade exigido dos operários. A consideração de espaços adequados para acesso visual e atividades de manipulação, incluindo montagem e desmontagem necessárias durante inspeções, reparos e substituições, é também destacada.

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 13, alguns requisitos pelas quais o critério da manutenibilidade se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.



miro

Figura 13 – Critérios da manutenibilidade selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Simplificação das características físicas e funcionais:** Os componentes pré-fabricados podem ser projetados de forma a simplificar suas características físicas e funcionais, reduzindo o número de peças e subconjuntos. Isso facilita a manutenção, pois diminui o nível de habilidade necessário para realizar reparos e substituições;
2. **Previsão de espaços adequados para acesso:** Durante o projeto dos componentes pré-fabricados, é importante prever espaços adequados para acesso visual e para atividades de manipulação, como montagem e desmontagem. Isso facilita a inspeção, reparo e substituição de partes dos componentes pré-fabricados;
3. **Facilidade de montagem e desmontagem:** Os componentes pré-fabricados podem ser projetados para facilitar sua montagem e desmontagem. Isso permite que as partes danificadas ou com defeitos sejam facilmente removidas e substituídas, sem a necessidade de desmontar todo o produto;
4. **Utilização de componentes padronizados:** Os pré-fabricados podem ser produzidos com componentes padronizados, o que facilita a coordenação e garante tolerâncias adequadas. Isso é importante, especialmente em peças que tendem a falhar com mais frequência, facilitando a substituição e reduzindo o tempo de inatividade;
5. **Projeto de partes modulares:** Os componentes pré-fabricados podem ser projetados como partes modulares que podem ser facilmente testadas e

reparadas independentemente do produto total. Isso permite uma manutenção mais eficiente, pois as partes danificadas podem ser substituídas sem afetar o funcionamento do conjunto.

2.5.2.7 Segurança

A construtibilidade é aprimorada quando a segurança é devidamente considerada em todas as fases do processo construtivo (ZUCCHETTI, 2010). Zin e Hassan (2006) e Lam, Wong e Wong (2007) destacam a importância de integrar a segurança no desenvolvimento e organização do projeto, especialmente em atividades relacionadas a fundações e escavações.

Projetos que negligenciam a segurança não apenas enfrentam atrasos no cronograma, mas também geram problemas de acidentes, resultando em danos econômicos e morais para as empresas (LAM;WONG;CHAN, 2005). Esses pesquisadores propõem atributos relacionados à segurança, abrangendo os trabalhos de preparação do terreno (subsolo e fundações), sequências seguras para os pacotes de construção e o uso de materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para manipulação pelos operários. A consideração diligente desses aspectos não apenas contribui para a eficiência construtiva, mas também mitiga riscos associados a acidentes e prejuízos (ZUCCHETTI, 2010).

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 14, alguns requisitos pelas quais o critério de segurança se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.

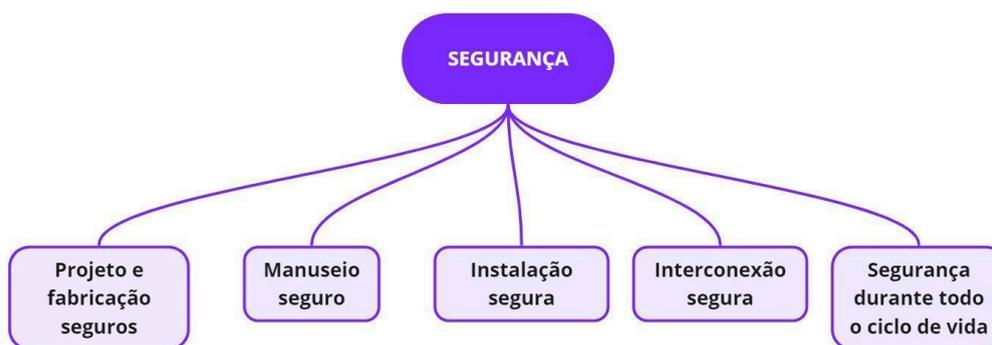


Figura 14 – Critérios da segurança selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Projeto e fabricação seguros:** Os elementos são fabricados em ambientes controlados e podem passar por rigorosos padrões de segurança durante o processo de fabricação. Isso inclui o uso dos equipamentos, procedimentos de trabalho e garantia de qualidade para garantir que os componentes atendem todos os requisitos antes de serem enviados para o local de construção;
2. **Manuseio seguro:** Os pré-fabricados são projetados para serem manuseados e transportados de maneira segura. Isso pode incluir o uso de equipamentos de içamento adequados, como guindastes, e a implementação de procedimentos de segurança durante o carregamento, descarregamento e transporte dos componentes pré-fabricados;
3. **Instalação segura:** Durante a instalação dos componentes pré-fabricados no local de construção, são implementadas medidas de segurança para garantir que os trabalhadores estejam protegidos contra quedas, esmagamentos ou outros riscos. Isso pode envolver o uso de andaimes seguros, barreiras de proteção e equipamentos de proteção individual (EPIs);
4. **Interconexão segura:** Os pré-fabricados são projetados para se conectar de forma segura e estável no local de construção. Isso inclui o uso de técnicas de fixação adequadas, como parafusos, soldagem ou adesivos estruturais, para garantir que os componentes permaneçam firmemente unidos e resistam a forças externas, como vento, chuva ou movimentos sísmicos;

5. **Segurança durante todo o ciclo de vida:** Além da segurança durante a fabricação e instalação, os pré-fabricados também são projetados para garantir a segurança durante todo o ciclo de vida da estrutura. Isso pode incluir a consideração de fatores como manutenção segura, inspeção periódica e capacidade de resistir a condições ambientais adversas ao longo do tempo.

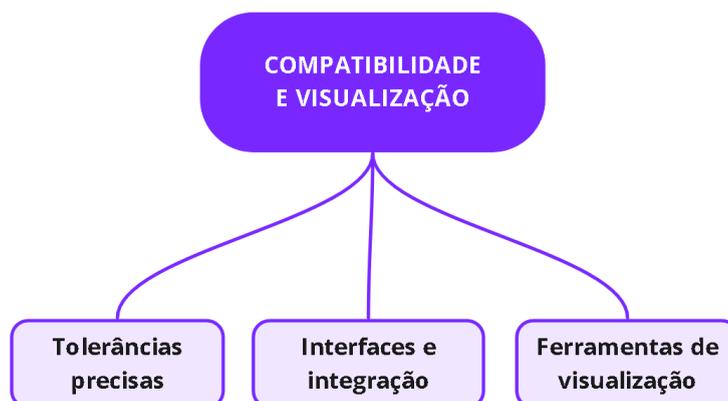
2.5.2.8 Compatibilidade e visualização

A consideração cuidadosa das tolerâncias na construção em canteiro e a distinção entre padrões de tolerância dimensional industrial e construção em canteiro contribuem para níveis superiores de construtibilidade (ZIN, 2004). Problemas significativos de ajuste surgem nas interfaces entre sistemas e componentes construtivos, métodos construtivos, materiais e processos produtivos, exigindo dispositivos que promovam a integração adequada entre os diversos produtos (O'CONNOR; TUCKER, 1986; ZIN; HASSAN, 2006). A incompatibilidade de tolerâncias é identificada como um dos principais obstáculos à construtibilidade, levando a alterações nos projetos, dificuldades construtivas, custos adicionais e atrasos no cronograma (ALSHAWI; UNDERWOOD, 1994; ZIN, 2004).

Para solucionar esses desafios, ferramentas de visualização são recursos valiosos, possibilitando a identificação antecipada de interferências físicas e incompatibilidades dimensionais no canteiro (GANAH *et al.*, 2005; ZIN; HASSAN, 2006). Essas ferramentas superam limitações dos métodos tradicionais de comunicação entre equipes de projeto e construção, proporcionando benefícios como aprimoramento na comunicação e colaboração, redução de problemas de construtibilidade e diminuição dos custos de construção (GANAH *et al.*, 2001).

Na arquitetura e engenharia civil, a visualização virtual permeia todo o ciclo de vida do produto, desde a fase conceitual até simulações de desempenho e manutenção (BOUHLAGHEM *et al.*, 2005). Modelos tridimensionais, criados desde os estágios iniciais do projeto, são utilizados para comunicar a intenção do projeto, comparar opções de arranjos e analisar questões de coordenação, acessibilidade e sustentabilidade (BOUHLAGHEM *et al.*, 2005). Esses modelos virtuais em 3D representam aproximações do produto e do processo construtivo, oferecendo uma visão abrangente e integrada para otimizar a construtibilidade (ULRICH; EPPINGER, 2000).

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 15, alguns requisitos pelas quais o critério da compatibilidade e visualização se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.



miro

Figura 15 – Critérios da compatibilização e visualização selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Tolerâncias precisas:** Os elementos devem ser fabricados com tolerâncias dimensionais precisas e consistentes para garantir que se encaixem corretamente durante a montagem no local de construção. É essencial identificar as tolerâncias que podem ser aplicadas na fabricação em ambiente controlado da fábrica e discernir entre os diferentes padrões de tolerância dimensional da produção industrial e da construção em canteiro;
2. **Interfaces e integração:** Os principais problemas de ajuste nos métodos pré-fabricados geralmente ocorrem nas interfaces entre diferentes sistemas e componentes da construção. Para garantir a compatibilidade, é necessário empregar dispositivos que promovam a adequada integração entre os diferentes produtos (O'CONNOR e TUCKER 1986; ZIN; HASSAN, 2006);
3. **Ferramentas de visualização:** As ferramentas de visualização tridimensional permitem identificar antecipadamente possíveis interferências físicas e incompatibilidades dimensionais que possam ocorrer no canteiro de obras. Isso possibilita que os problemas sejam localizados e solucionados em etapas

anteriores à construção, melhorando a eficiência e reduzindo os custos de construção (GANAH *et al.*, 2005; ZIN; HASSAN, 2006).

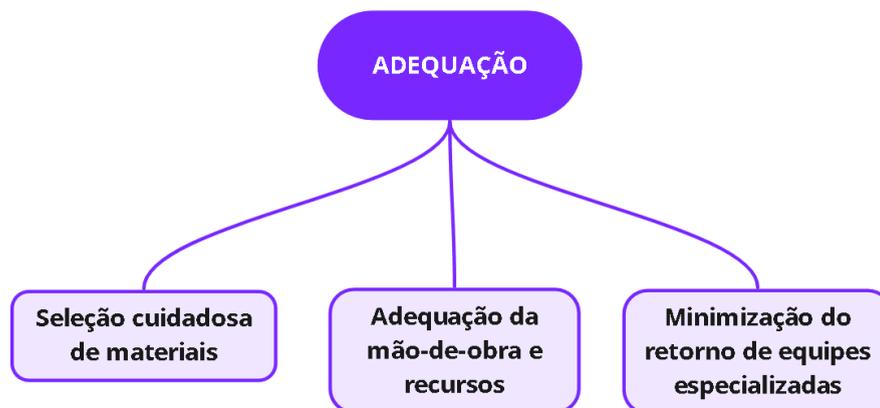
2.5.2.9 Adequação

A adequação dos materiais, definida por Saffaro, Santos e Heineck (2004), refere-se à seleção cuidadosa considerando características como forma, tamanho, coloração e propriedades químicas. A escolha deve visar à redução da variedade de materiais no processo construtivo e à disponibilidade no mercado. A construtibilidade é aprimorada quando materiais apropriados são empregados na construção, sendo crucial a seleção de produtos e materiais, especialmente quando normas ou avaliações de desempenho não estão disponíveis (ZIN; HASSAN, 2006). Além disso, é fundamental considerar o desempenho da edificação e minimizar desperdícios (LAM; WONG ;CHAN, 2006).

A recomendação é utilizar produtos e materiais certificados, preferencialmente seguindo métodos tradicionais de construção e montagem, conhecidos pelos operários e economicamente viáveis. A atenção às recomendações dos fabricantes sobre manipulação, armazenagem, aplicação, montagem e proteção é essencial (ZIN, 2004). A seleção adequada da mão-de-obra e recursos, incluindo instalações, equipamentos, ferramentas e conhecimento, impacta diretamente na construtibilidade (LAM; WONG; CHAN, 2006; ZIN;HASSAN, 2006).

A consideração das competências da mão-de-obra deve levar em conta as variações entre projetos e locais, exigindo avaliações sobre o nível de habilidade disponível e a adaptação aos novos materiais e técnicas construtivas (ZIN, 2004). Zin (2004) destaca a importância de minimizar o retorno de equipes especializadas, relacionado ao grau de especialização dos trabalhadores e ao planejamento do cronograma de construção. A redução desse retorno é uma estratégia para melhorar os níveis de construtibilidade, principalmente em sistemas, elementos ou componentes específicos (ZIN, 2004).

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 16, alguns requisitos pelas quais o critério da adequação se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.



miro

Figura 16 – Critérios da adequação selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

1. **Seleção cuidadosa de materiais:** A seleção dos materiais pré-fabricados deve considerar suas características, como forma, tamanho, coloração e propriedades químicas, para garantir sua adequação ao local de aplicação e ao desempenho correto da edificação;
2. **Adequação da mão-de-obra e recursos:** A seleção adequada da mão-de-obra e dos recursos, incluindo instalações, equipamentos e ferramentas, deve considerar sua disponibilidade local e sua adequação à tecnologia embutida no projeto. O desenvolvimento dos projetos deve incluir avaliações sobre o nível de habilidade disponível em determinado local ou equipe de construção, além de comunicar os novos materiais e técnicas construtivas aos responsáveis pela execução;
3. **Minimização do retorno de equipes especializadas:** Uma forma de melhorar os níveis de construtibilidade é minimizar o retorno de equipes de especialistas em determinado sistema, elemento ou componente construtivo, garantindo que as atividades sejam realizadas de uma só vez.

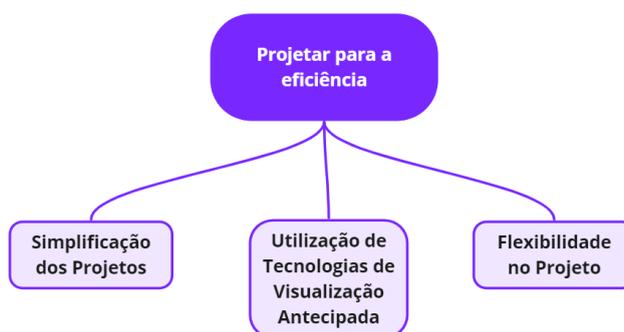
2.5.2.10 Projeto para a eficiência

O requisito de flexibilidade na fase de projeto e planejamento é crucial para aprimorar a eficiência construtiva, envolvendo elementos como simplicidade, disponibilidade de mão-de-obra e tecnologias de visualização antecipada da construção. Essa abordagem visa também a minimização da substituição de produtos, contribuindo para a melhoria do processo construtivo (CII, 1987).

A flexibilidade, de acordo com o Construction Industry Institute (CII, 1987), capacita os envolvidos na construção a analisar e selecionar abordagens construtivas alternativas ou inovadoras com base no desempenho esperado da construção, não na prévia seleção de métodos. Lam, Wong e Chan (2006) destacam que a flexibilidade favorece a aplicação de pré-montagens e o uso de elementos e sistemas intercambiáveis, promovendo assim a construtibilidade.

A substituição de produtos sem uma análise prévia impacta negativamente na eficiência construtiva, podendo resultar em aplicação inadequada, desempenho inadequado da edificação e aumento de custos (CII, 1987). Portanto, a consideração cuidadosa da flexibilidade e a minimização da substituição são elementos essenciais para otimizar o processo construtivo e garantir resultados eficientes.

Com base nas informações apresentadas, foram elaborados alguns requisitos para ser usado na análise posteriormente. Pode-se observar, com mais detalhe, no esquema apresentado na Figura 17, alguns requisitos pelas quais o critério de projetar com eficiência se aplica ao método construtivo dos pré-fabricados.



miro

Figura 17 – Critérios do projetar para a eficiência selecionados para avaliação da montagem de estruturas de concreto pré-fabricadas. Elaborado pelo autor.

- 1. Simplificação dos Projetos:** Isso envolve a busca por soluções construtivas simples e diretas, que permitam a fabricação e montagem dos componentes pré-fabricados de forma eficiente. A redução da complexidade dos projetos facilita não apenas a produção dos componentes, mas também a sua montagem no local da construção, resultando em economia de tempo e recursos;
- 2. Utilização de Tecnologias de Visualização Antecipada:** desempenha um papel importante na promoção da eficiência construtiva. Ferramentas de modelagem e simulação tridimensional permitem uma análise detalhada do projeto antes mesmo do início da construção, identificando possíveis problemas e otimizando o processo de fabricação e montagem dos componentes pré-fabricados;
- 3. Flexibilidade no Projeto:** é essencial para a aplicação eficaz dos métodos construtivos pré-fabricados. Isso envolve a especificação do desempenho esperado da construção e edificação, em vez da prévia seleção de abordagens específicas. A flexibilidade permite a adoção de abordagens construtivas alternativas ou inovadoras, adaptadas às necessidades específicas do projeto, contribuindo para a melhoria da construtibilidade e eficiência global do processo (CII, 1987).

A fim de facilitar o entendimento do leitor, na Figura 18 estão todos os critérios de avaliação da construtibilidade para elementos pré-fabricados em uma única imagem.



Figura 18 – Resumo dos critérios de avaliação da construtibilidade para elementos pré-fabricados. Elaborado pelo autor.

3. METODOLOGIA

Foi feito uma análise de como esses critérios de avaliação podem ser aplicados ao método construtivo de pré-fabricados e selecionar quais serão considerados ao longo do trabalho, já que o foco da pesquisa é na etapa de montagem e avaliar os manuais de montagem utilizados como objeto de estudo, como ilustrado no fluxograma presente na figura 19:

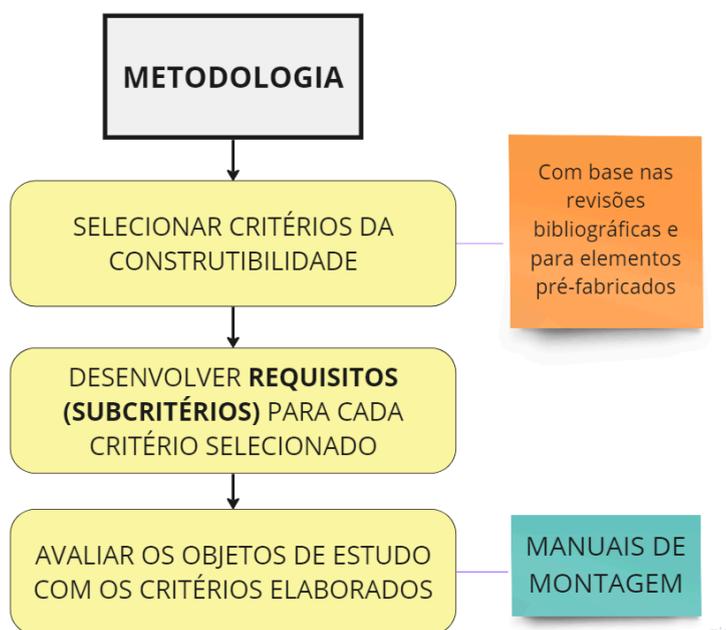


Figura 19 – Fluxograma do método utilizado neste trabalho. Elaborado pelo autor.

3.1 Seleção dos critérios de avaliação

Para seleção dos critérios de avaliação, foram apresentadas as mesmas figuras só que na cor preta e os requisitos variam entre verde e preto. Em verde são os requisitos selecionados e, conseqüentemente, os pretos são os que foram descartados.

3.1.1. Simplificação

A simplificação visa reduzir a complexidade da etapa de projetos e construção, buscando elementos compatíveis e processos eficientes para garantir uma execução mais simples. Na Figura 20, estão apresentados os requisitos selecionados deste critério para analisar os manuais técnicos:

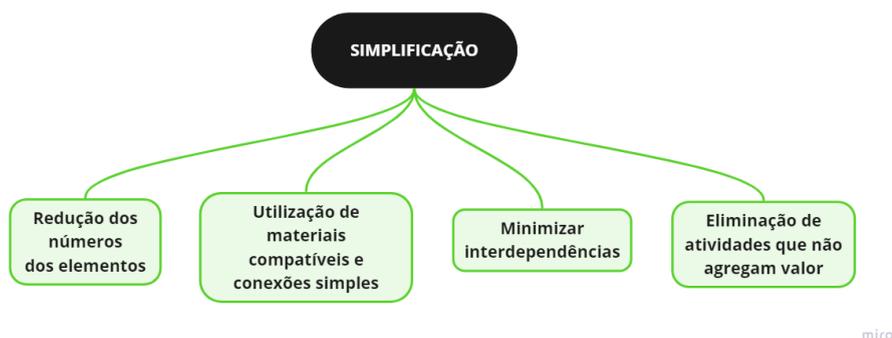


Figura 20 - Requisitos do critério de simplificação selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

Serão analisados os requisitos de utilização de materiais compatíveis e conexões simples, redução dos números dos elementos e minimizar interdependências. Buscando situações que existam elementos com mais de uma função e se existe ações que buscam minimizar interdependências no processo de montagem dos elementos. O requisito da eliminação de atividades que não agregam valor, também será analisado em busca de identificar atividades que simplificam a execução comparado com o sistema convencional, como, por exemplo, remanejamento de materiais dentro do canteiro.

3.1.2 Padronização

A padronização contribui para a eficiência, qualidade e economia do processo construtivo. Tem relação direta com os pré-fabricados em todas as suas etapas, projetos, fabricação, montagem e manutenção. Na Figura 21, estão apresentados os requisitos selecionados para a analisar o processo de montagem do sistema construtivo dos pré-fabricados.



miro

Figura 21 - Requisitos do critério de padronização selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

Serão analisadas a padronização dos elementos, repetição de módulos e detalhes de conexão e também a facilidade de montagem, a fim de melhorar a produtividade e intensificar o aprendizado de tarefas repetitivas.

3.1.3 Acessibilidade

A acessibilidade envolve a adoção de estratégias e tecnologias que facilitem o acesso dos trabalhadores, materiais e equipamentos no canteiro de obras, garantindo assim a eficiência, segurança e qualidade do processo construtivo. Na Figura 22, estão apresentados os requisitos selecionados deste critério para analisar os manuais técnicos:



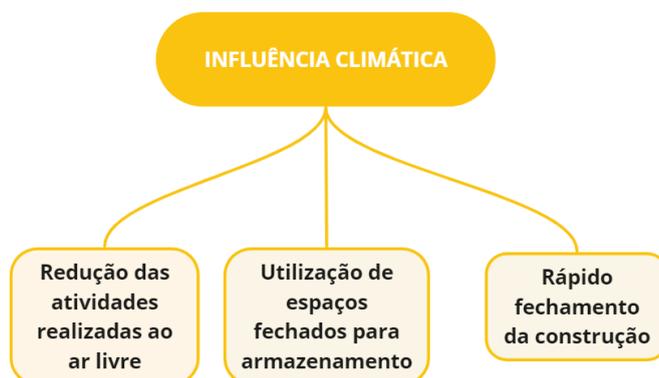
miro

Figura 22 - requisitos do critério da acessibilidade selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

O critério de acessibilidade é importante tanto para etapa de projetos como para de montagem, para o caso deste trabalho, será analisado os requisitos de espaços para armazenamento e a facilidade de acesso para materiais e equipamentos. Os requisitos em preto foram descartados por se tratar de outra etapa do método construtivo, estão relacionados com a etapa de projetos e planejamento.

3.1.4 Influência Climática

Os pré-fabricados são adequados para minimizar os efeitos das condições climáticas adversas. Isso porque esses elementos podem ser fabricados em ambientes controlados, protegidos das intempéries, e montados rapidamente no local de construção, reduzindo assim o tempo de exposição a condições meteorológicas mais severas. Na Figura 23, estão apresentados os requisitos selecionados deste critério para analisar os manuais técnicos:



miro

Figura 23 - Requisitos do critério minimização da influência climática selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

O critério da minimização da influência climática não foi encontrado em nenhum dos manuais, entretanto, devido a importância deste critério e como o impacto acontece na montagem com o rápido fechamento da construção comparado ao sistema convencional, será considerado na análise deste trabalho.

3.1.5 Otimização de técnicas e processos de construção

Este critério envolve garantir uma melhora na produção, tanto na eficiência construtiva, segurança, qualidade e redução de custos e desperdícios. Na Figura 24, estão apresentados os requisitos selecionados deste critério para analisar os manuais técnicos.



Figura 24 - requisitos do critério da otimização selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

Para a etapa de montagem, serão analisados os requisitos de garantia de qualidade e inovação e a aprimoração de métodos ou equipamentos. Os requisitos em preto foram descartados da análise por se tratar de outra etapa, a da fabricação dos elementos.

3.1.6 Manutenibilidade

O critério de manutenibilidade se trata de uma outra etapa construtiva, portanto não será relevante para o resultado, por isso esse critério não foi utilizado.

3.1.7 Segurança

O critério de segurança é considerado desde o projeto e fabricação até a instalação e uso contínuo da estrutura, visando proteger tanto os trabalhadores envolvidos na construção quanto os usuários finais da edificação contra riscos e acidentes. Na Figura 25, estão apresentados, marcados em verde, os requisitos selecionados para análise dos manuais técnicos.

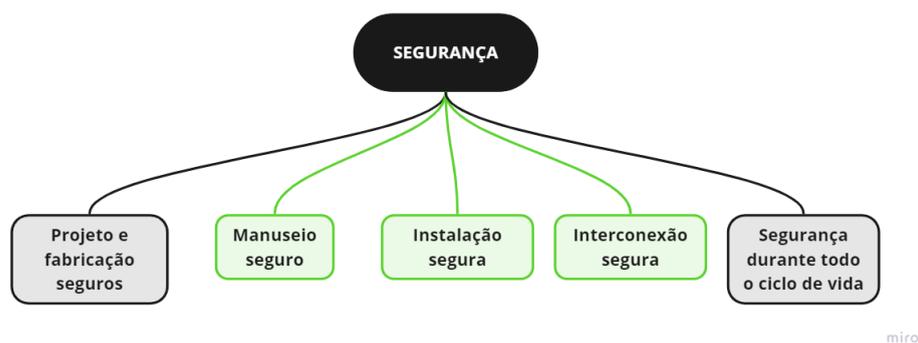
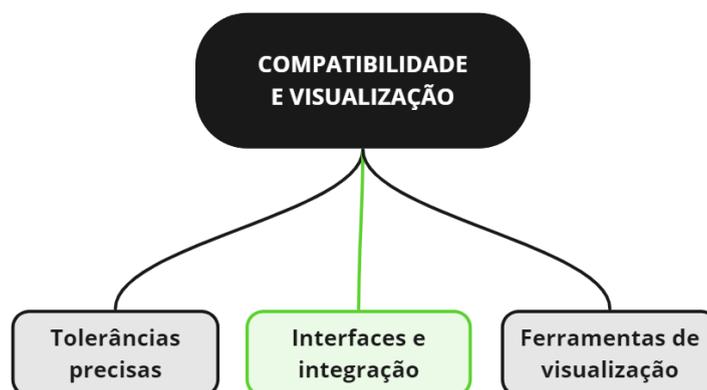


Figura 25 - Requisitos do critério da segurança selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

O critério de segurança é essencial em todas as etapas, entretanto, serão analisados apenas os pontos que têm relação com a etapa de montagem, como o manuseio, instalação e interconexão segura. Buscando como é recomendado pelos manuais técnicos os processos de verificações, tanto de equipamento como da própria estrutura e qual o cuidado com a mão-de-obra durante a instalação. Os requisitos não selecionados estão relacionados com a etapa de projeto, fabricação e manutenção, por isso foram descartadas da análise.

3.1.8. Compatibilidade de tolerâncias e visualização de ferramentas

A garantia de compatibilidade nos métodos construtivos pré-fabricados é essencial para evitar atrasos, custos adicionais e dificuldades construtivas. Na Figura 26, pode-se observar o requisito selecionado para analisar os manuais técnicos.



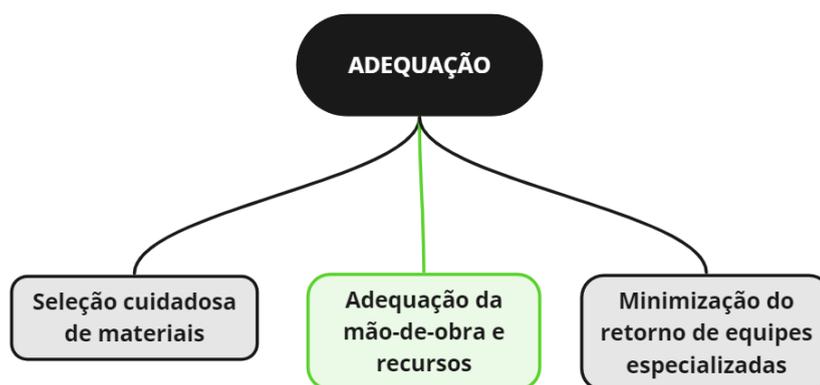
miro

Figura 26 - Requisitos do critério da compatibilização e visualização selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

Durante a etapa de montagem será analisada apenas integração de sistemas e elementos, onde pode causar problemas e é o único requisito que se enquadra na etapa alvo. Buscando avaliar os processos que há integração entre sistemas construtivos, como a vedação de alvenaria e a ligação da fundação com os elementos pré-fabricados.

3.1.9. Adequação

A garantia da adequação dos materiais, métodos construtivos, mão-de-obra e recursos utilizados nos métodos pré-fabricados é essencial para garantir a eficiência, qualidade e sucesso do projeto de construção. Na Figura 27 observa-se o requisito selecionado, em verde, para análise dos manuais técnicos.



miro

Figura 27 - Requisitos do critério da adequação selecionados para avaliar os manuais técnicos em relação a etapa de montagem

A adequação de mão-de-obra e recursos é válida para a etapa de montagem dos pré-fabricados, portanto, este também vai ser um critério utilizado para a análise deste trabalho. Os requisitos em preto, não selecionados, não estão relacionados com a etapa de montagem, por isso não serão considerados na análise.

3.1.10. Projetos para a eficiência

O critério de projetar para a eficiência da construção é fundamental para garantir a viabilidade e o sucesso do processo.

Este critério por se tratar, exclusivamente, da etapa de projetos, não se adequa ao objetivo desta pesquisa, portanto, os critérios de **manutenibilidade** e **projetar para a eficiência** não serão considerados na análise dos guias de montagem presentes no próximo tópico.

Finalizando o tópico sobre a seleção dos requisitos de avaliação, desenvolveu-se o quadro 2 onde estão apresentados os requisitos que serão utilizados na análise de construtibilidade.

Cr�terios	Requisitos seleccionados
Simplificac�o	Redu�o do n�mero de elementos; Utiliza�o de materiais compat�veis e conex�es simples; Minimizar interdepend�ncias;
Padroniza�o	Padroniza�o de componentes e materiais; Repeti�o de m�dulos e detalhes de conex�o; Facilidade de produ�o e montagem;
Acessibilidade	Facilidade de acesso aos materiais e equipamentos; Considera�o de espa�os para armazenamento;
Influ�ncia Clim�tica	Utiliza�o de pr�-fabricados para r�pido fechamento da constru�o;
Otimiza�o	Garantia de qualidade; Inova�o ou aprimora�o de m�todos ou equipamentos;
Seguran�a	Manuseio seguro; Instala�o segura; Interconex�o segura;
Compatibilidade e Visualiza�o	Interfaces e integra�o;
Adequa�o	Adequa�o da m�o-de-obra e recursos;

Quadro 2: Cr terios e requisitos seleccionados para an lise dos manuais para a etapa de montagem. Elaborado pelo autor.

3.2. Estudo de casos: Descri o dos objetos de estudo

Como objeto de estudo ser o utilizados dois guias de montagem, o Manual de Montagem de Pr -Moldados da ABCIC/NETPre (2008), dispon vel no Anexo A e o Manual t cnico da Munte (2007), disponibilizado no Anexo B. Para a avalia o foram consideradas as informa es e imagens dispon veis nestes documentos.

3.2.1 Manual de Montagem de Pré-Moldados da ABCIC/NETPre

O primeiro documento a ser abordado é o Manual de Montagem de Pré-Moldados da ABCIC/NETPre (Anexo A), que apresenta um conjunto de procedimentos essenciais para a operação de montagem de elementos de concreto pré-fabricado. Um dos pontos-chave destacados no manual é a importância da qualificação dos profissionais envolvidos, ressaltando a necessidade de experiência para um planejamento eficaz. O objetivo principal do planejamento é prevenir situações que possam comprometer a segurança dos envolvidos, a integridade da estrutura e o cumprimento do cronograma.

No processo de planejamento é fundamental considerar fatores como a determinação de acessos adequados para os veículos e equipamentos de montagem, bem como a identificação de obstáculos e riscos potenciais no local da obra. A existência de acessos firmes, nivelados e adequadamente compactados é crucial para evitar danos aos elementos pré-fabricados e garantir a segurança durante a montagem. Além disso, a inspeção dos elementos pré-fabricados antes do descarregamento é recomendada, com atenção para itens como identificação, selo de qualidade, fissuras, flecha, lascas, riscos, etiqueta vermelha e condições de içamento (DONIAK, 2008).

A elaboração de um Plano de Montagem é outro aspecto fundamental abordado no manual. Esse plano deve contemplar aspectos contratuais, requisitos específicos do cliente, cronograma, responsabilidades, autoridades e sequência de montagem. A definição de uma sequência adequada é essencial para manter a estabilidade da estrutura e limitar a inserção de cargas excêntricas. A coordenação com a produção e a disponibilidade de materiais e equipamentos são aspectos críticos a serem considerados no planejamento (DONIAK, 2008)

A montagem de cada elemento em uma estrutura pré-fabricada requer atenção a detalhes específicos para garantir a correta instalação e funcionamento da estrutura como um todo. No Manual de Montagem de Pré-Moldados da ABCIC/NETPre (DONIAK, 2008), são fornecidas orientações detalhadas para a montagem de diferentes elementos, levando em consideração as peculiaridades de cada projeto. Abaixo, segue um resumo detalhado sobre a montagem de alguns elementos.

A. Montagem de Pilares

- A montagem dos pilares envolve a correta colocação no bloco de fundação, garantindo que fiquem no prumo, alinhados e devidamente chumbados;
- É importante verificar a tolerância em planta para a posição final de estacas ou tubulões, o posicionamento dos blocos de fundação, o nível do fundo dos blocos e a face superior do bloco de apoio;
- Os equipamentos utilizados devem ter capacidade adequada ao tipo de peça a ser içada, e é essencial fazer uma programação logística da ordem de montagem das peças.

B. Montagem de Lajes Alveolares

- A montagem de lajes alveolares requer cuidados especiais para garantir a correta distribuição das cargas e a estabilidade da estrutura;
- É importante verificar a correta posição e encaixe das lajes, bem como a adequada fixação e nivelamento;
- A inspeção das lajes antes da montagem é fundamental para identificar possíveis danos durante o transporte;

C. Montagem de Painéis de Fechamento

- A montagem de painéis de fechamento exige atenção à correta fixação e alinhamento dos painéis;
- Verificar a existência de eventuais danos nos painéis e garantir que estejam devidamente identificados e posicionados conforme o projeto;
- A utilização de dispositivos auxiliares para o içamento dos painéis, como cabos de aço e garras, é essencial para garantir a segurança durante a montagem.

Essas são apenas algumas das orientações específicas fornecidas no manual para a montagem de elementos pré-fabricados. Cada tipo de elemento requer cuidados e procedimentos específicos para assegurar a qualidade e segurança da estrutura final.

3.2.2 Manual de Montagem Munte

O manual técnico da Munte (MUNTE, 2007) apresenta uma abordagem abrangente sobre sistemas pré-fabricados de concreto, fornecendo também informações para profissionais de projeto e construção. O documento apresenta inicialmente a importância da modulação construtiva, destacando como a escolha adequada da modulação pode otimizar a utilização das peças pré-fabricadas, ampliando a viabilidade

econômica do empreendimento. A padronização dos tipos de peças e a utilização de módulos repetitivos são fundamentais nesse processo.

Os subsistemas construtivos abordados no manual incluem fundações, pilares, vigas, pontes rolantes, escadas, lajes, cobertura e fechamento. Cada subsistema é detalhadamente explorado, fornecendo orientações técnicas e práticas para sua implementação. Como as recomendações são semelhantes com o que já foi apresentado no item 3.2.1, não será descrito novamente neste item.

Destaca-se a cobertura contínua, um sistema construtivo que prevê a sobreposição das telhas de concreto de forma inclinada, direcionando as águas pluviais para uma viga-calha na extremidade do edifício. Esse sistema elimina a captação de águas pluviais no interior do edifício, reduzindo custos e eliminando possíveis problemas de vazamentos.

Além disso, o manual aborda aspectos específicos, como a instalação de vigas de rolamento para pontes rolantes, a vedação entre telhas de concreto e a utilização de pendurais como elementos indispensáveis em sistemas de cobertura.

4. RESULTADOS

Neste tópico foi realizado uma avaliação da construtibilidade considerando a etapa de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto armado, utilizando critérios de avaliação e seus requisitos selecionados na etapa do método. Esta análise foi feita a partir dos manuais de montagem apresentados anteriormente e a ordem dos resultados estão de acordo com o próprio método de montagem indicado nos materiais.

4.1 Análise da construtibilidade dos elementos pré-fabricados através dos manuais de montagem

Como o manual de montagem de pré-moldados da ABCIC/NETPre (2008) relata, planejar a montagem de uma obra pré-fabricada é uma atividade essencial e o primeiro item destacado já está relacionado com um dos critérios selecionados, **acessibilidade**, que trata da determinação dos acessos. O manual exige que sejam consideradas as condições de acesso tanto dos veículos que transportam as peças quanto dos equipamentos que serão utilizados durante a montagem. Os acessos adequados são importantes para uma melhor construtibilidade, caso contrário, pode gerar danos aos veículos de transporte, ineficiência na movimentação do guindaste, podendo ocasionar em prejuízos financeiros, e a falta de segurança se os acessos não estiverem adequados.

Outro ponto que o manual destaca é sobre a questão de identificação de obstáculos e riscos potenciais, que é exatamente o que foi abordado no critério de **segurança** no ponto de manuseio seguro. Deve-se inspecionar o local da obra procurando identificar obstáculos como rede de energia elétrica, galhos de árvores e entre outros que possam interferir na mobilidade dos equipamentos de montagem.

Em sequência, este mesmo manual aborda sobre a armazenagem dos elementos pré-fabricados no canteiro e destaca a importância de serem utilizados apoios para regularizar o solo ou para manter um afastamento da peça com o solo. No caso de empilhar os elementos deve-se colocar um apoio entre eles para que não haja contato superficial entre as peças de concreto. Este trecho reforça um dos critérios, o de **acessibilidade** novamente, no ponto de consideração dos espaços para armazenamento.

O manual ainda destaca que deve haver uma padronização da armazenagem dos elementos quando não for possível descarregar e montar em sequência, o que engloba a **padronização** de componentes, materiais e sistemas.

Este manual ainda relata dois pontos referentes aos cuidados que se deve ter para montagem, o primeiro é uma verificação geral a fim de garantir a segurança e o segundo se trata da locação do guindaste. Será detalhado ambos os pontos e analisar como esses pontos afetam a construtibilidade com estruturas de pré-fabricados de concreto armado. Sobre a verificação, recomenda-se rever a locação ou as condições da estrutura *in loco* que possam em sua interface impactar na montagem subsequente dos elementos pré-fabricados, o que se encaixa no critério de **segurança e padronização** em relação ao ponto de interconexão segura e da repetição de detalhes de conexão, respectivamente. No manual ainda é detalhado todos os pontos que devem ser verificados da locação das fundações. Sobre a posição do guindaste, é um dos fatores que influenciam numa montagem correta e na economia, onde é recomendado que o guindaste seja locado no lugar onde o maior número de elementos serão suspensos e colocados, antes que o guindaste precise se movimentar novamente, isso otimiza e torna a montagem mais eficiente, o que engloba o critério da **otimização**, referente ao requisito de aprimoramento de equipamentos.

Partindo para a montagem dos elementos, começando pela montagem dos pilares, nota-se, em ambos os manuais, aspectos relacionados à construtibilidade, considerando os critérios apresentados neste trabalho.

A montagem consiste na instalação do pilar no bloco de fundação, geralmente, esses blocos são moldados *in loco* por uma equipe especializada. Os blocos são divididos em duas partes: base e colarinho (nicho), e é o colarinho que forma um vazio para o encaixe do pilar. A conferência dos níveis de bases dos pilares deve ser executada antes da colocação dos mesmos, com utilização de aparelho de nível ou mangueira d'água e de acordo com o projeto de montagem. Neste processo, percebe-se um dos critérios que se busca analisar, que é o de **compatibilidade e visualização em relação a interfaces e integração**, este é um dos principais problemas de ajuste nos pré-fabricados. Na figura 28 é apresentado um pilar pré-fabricado sendo manuseado para sua instalação.



Figura 28 - Montagem do pilar no bloco de fundação. (Fonte: manual da ABCIC/distribuição livre)

Outro ponto que merece destaque na montagem dos pilares é a série de verificações que o manual recomenda, como verificar cota de assentamento e eixos ortogonais, a furação da chapa soldada no pilar com os chumbadores do bloco, verificações sobre o içamento e entre outros que são descritos no manual da ABCIC (DONIAK, 2008), tudo isso engloba o critério de **segurança** referentes aos requisitos de manuseio, instalação e interconexão dos elementos.

O manual Munte (2007) destaca que após o içamento e colocação do pilar no nicho do colarinho do bloco, são instaladas cunhas de madeira que garantem o correto posicionamento do pilar, liberando o guindaste para a montagem de outras peças. Neste procedimento identifica-se a aplicação de dois critérios da construtibilidade, o da **simplificação**, por liberar o guindaste o quanto antes a fim de minimizar interdependências e o da **otimização** pela garantia da qualidade devido as verificações feitas a fim de evitar retrabalhos.

Os pilares pré-fabricados apresentam consoles para o apoio das vigas, que podem estar em níveis e ângulos diversos, e tem internamente o condutor de águas pluviais, além da possibilidade de abrigarem as descidas de pára-raios incorporadas

(MUNTE, 2007). Incorporar multifunções em um só elemento é um dos principais pontos para melhorar a construtibilidade, para a análise isso se encaixa no critério de **simplificação**, afinal simplificar é o que vai melhorar qualquer método construtivo. (Rodrigues, 2005).

Os consoles dos pilares e seu preparo para ligação com a viga, é onde se enquadra o critério de **adequação de materiais e mão-de-obra**, uma vez que, os consoles apresentam pinos para essa ligação e recebem aparelhos de neoprene, responsável por impedir o contato direto entre superfícies de concreto, assim é possível obter ligações mais eficientes e preservar a integridade dos elementos. A construtibilidade é aprimorada quando materiais apropriados são empregados na construção e é fundamental para o desempenho da edificação.

Na figura 29 é apresentado um exemplo de um pilar pré-fabricado com consoles trapezoidais.



Figura 29 - Pilar pré-fabricado com consoles trapezoidais (Fonte: Prefor/distribuição livre)

A última análise dos pilares trata da interface com a alvenaria, como todas as peças pré-fabricadas, os pilares são chanfrados nos cantos, com bizotes de 15 mm. Portanto, se a alvenaria for realizada alinhada em sua face com a face do pilar, é necessário a realização de friso do revestimento (ou argamassa) para arremate. Caso contrário, a alvenaria deve estar recuada. Esta interface com a alvenaria se aplica ao critério de **compatibilização** referente ao requisito de integração e interface, é importante que haja um cuidado com a integração de sistemas para não causar danos às estruturas e atrasos posteriormente.

Tratando-se das vigas pré-fabricadas, elas são montadas sempre sobre aparelhos de apoio com base em neoprene nas duas extremidades, como mencionado nos consolos dos pilares. No manual da ABCIC (DONIAK, 2008), é apresentado o procedimento de montagem, indicando a verificação das condições de apoio, o cuidado para posicionar a viga para que as folgas sejam iguais nas duas extremidades, passar o cabo de içamento nas manilhas e verificar a posição dos neoprenes para, finalmente, posicionar a sobre os consoles. E assim como nos pilares, essas verificações antes da montagem aplica-se ao critério de **segurança** e também da **padronização**, garantindo segurança e repetição dos detalhes de conexão. Na figura 30 é apresentada uma viga pré-fabricada sendo içada para sua instalação.



Figura 30 - Montagem de viga pré-fabricada (Fonte: manual da ABCIC/distribuição livre)

Assim como os pilares, as vigas calhas exercem mais do que uma função, a fim de simplificar o sistema, o que se encaixa no critério da **simplificação**. Estas vigas são protendidas para que a mesma tenha uma contra-flecha que auxilia no escoamento da água pluvial pela calha de concreto e também são utilizadas para apoio das telhas de concreto.

As vigas pré-fabricadas, sendo parte do travamento da estrutura, acompanham as movimentações globais da edificação. Por isso, não é recomendado o encunhamento efetivo da alvenaria na vigas para evitar manifestações patológicas devido à movimentação natural da estrutura. Neste ponto aplica-se ao critério da **segurança** e também o da **compatibilidade**, relacionado à integração, como é um dos principais problemas deste sistema, todo cuidado é necessário para que o método não perca efetividade e qualidade.

As lajes e os painéis pré-fabricados também vão cumprir com aspectos que se enquadram no critério de **segurança**, os procedimentos de montagem de cada um estão detalhados no manual ABCIC (2008), no caso da laje, por exemplo, é necessário verificar as condições de içamento, tanto o cabo quanto a garra, nivelar a superfície de apoio e posicionar a laje de acordo com as especificações de projeto. Quanto aos painéis, é necessário verificar se as vigas e os pilares estão liberados para servir de apoio e verificar se os equipamentos necessários estão disponíveis para montagem. Na figura 31 (a) e (b) são apresentadas a montagem dos painéis e das lajes pré-fabricadas.

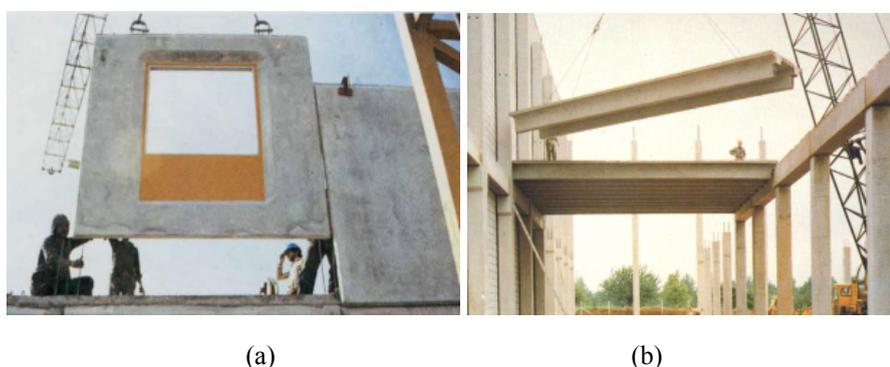


Figura 31: (a) montagem de painéis; (b)montagem das lajes pré-fabricadas
(Fonte: manual da ABCIC/distribuição livre)

As lajes alveolares são produzidas em pista de protensão e tem a modulação de 120 cm de largura, o que as tornam padronizadas. Caso haja a necessidade de ajuste em algum ponto específico, podem ser realizadas cortes, contudo não é recomendado por terem um custo maior por m². Isso aborda o critério de **padronização** dos elementos, referente aos requisitos de **padronização de componentes e materiais**, tudo isso impacta diretamente a construtibilidade da construção.

Deve-se destacar que o manual ABCIC (DONIAK, 2008), traz um ponto importante, que se enquadra no critério de **segurança** referente ao manuseio seguro, para evitar acidentes: antes de iniciar o içamento de qualquer peça, deve-se realizar o isolamento de todas as áreas sob as quais se realizará o trabalho de montagem.

Há também a montagem das telhas, assim como todos os outros elementos, é necessário uma série de verificações por questão de **segurança**. No sistema de cobertura Munte (2007), as telhas também são padronizadas em 125 cm de largura nos três perfis. Para a modulação da cobertura deve ser considerado que as telhas não possuem juntas e

não podem ser cortadas no sentido longitudinal, trabalhando-se portanto, com dimensões múltiplas de 1,25m no eixo transversal às telhas. Isso aumenta a construtibilidade através da **padronização** da largura e a **simplificação**, utilizando materiais compatíveis e de conexão simples. Na figura 33 é apresentado o esquema de montagem das telhas apoiadas na vilhas calhas.

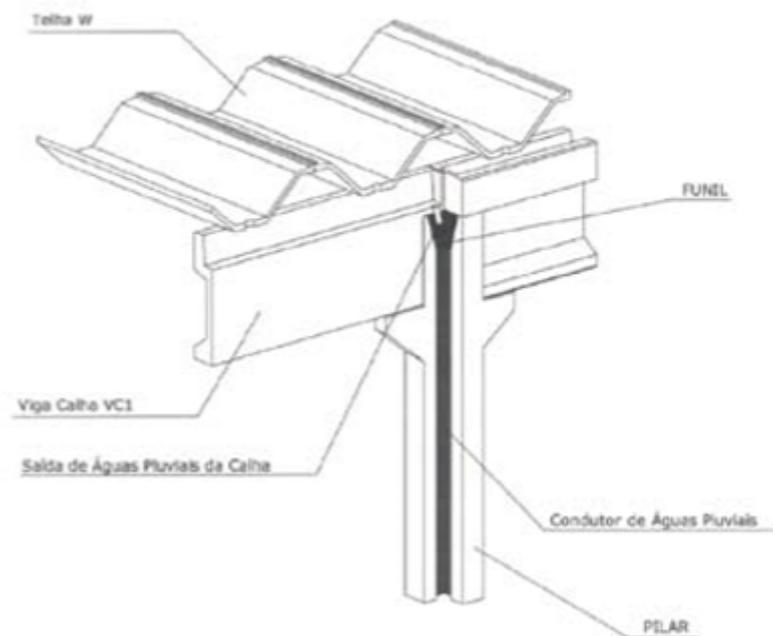


Figura 33 - Montagem da telha pretendida de concreto (Fonte: manual da MUNTE/distribuição livre)

Nota-se que o único critério não citado na análise até então é o de **influência climática**, nos materiais de estudo usados neste trabalho, não observou-se informações que considerem o rápido fechamento de um edifício, a fim de reduzir o tempo de exposição às intempéries, mas é um critério relevante para a construtibilidade se tratando do processo de montagem dos pré-fabricados. Como a instalação dos elementos pré-fabricados é rápida comparado ao sistema convencional, o tempo de exposição da estrutura às intempéries, como chuva, é significativamente reduzido. Isso minimiza o risco de danos causados pela água e permite que outras etapas da construção continuem sem interrupções significativas.

Com o propósito de organizar todas as informações escritas neste tópico, será apresentado um resumo no quadro 3 das análises de correlação entre os critérios

selecionados e as informações encontradas nos manuais. O único que não foi encontrado, é o critério da minimização da influência climática, por isso o destaque em amarelo abaixo.

Crítérios	Requisitos selecionados	Aspectos observados nos manuais de montagem
Simplificação	<p>Redução do número de elementos</p> <p>Utilização de materiais compatíveis e conexões simples</p> <p>Minimizar interdependências</p>	<p>Rápida liberação do guindaste, usando cunhas para garantir a posição do pilar;</p> <p>Pilares pré-fabricados apresentam consoles, condutor de água pluviais interno e possibilidade de abrigarem as descidas de pára-raios incorporadas;</p> <p>Vigas calhas auxiliam no escoamento de água pluvial.</p>
Padronização	<p>Padronização de componentes e materiais</p> <p>Repetição de módulos e detalhes de conexão</p> <p>Facilidade de produção e montagem</p>	<p>Padronização da largura das lajes em 120 cm;</p> <p>Padronização das larguras das telhas em 125 cm;</p> <p>Padronização na armazenagem;</p>
Acessibilidade	<p>Facilidade de acesso aos materiais e equipamentos</p> <p>Consideração de espaços para armazenamento</p>	<p>Determinação dos acessos;</p> <p>Utilizar apoios para manter um afastamento do solo ou para regularizá-lo.</p>
Influência Climática	<p>Utilização de pré-fabricados para rápido fechamento da construção:</p>	<p>Rápido fechamento de um edifício a fim de reduzir o tempo de exposição às intempéries</p>
Otimização	<p>Garantia de qualidade:</p> <p>Inovação ou aprimoração de métodos ou equipamentos</p>	<p>Locação do guindaste;</p> <p>Programa de controle de qualidade.</p>
Segurança	<p>Manuseio seguro</p> <p>Instalação segura</p> <p>Interconexão segura</p>	<p>Identificação de obstáculos e riscos potenciais;</p> <p>Verificação da locação das fundações;</p> <p>Programa de controle de qualidade;</p> <p>Verificações das peças e condições dos equipamentos antes do içamento;</p> <p>Isolamento das áreas antes da movimentação das peças;</p>

Compatibilidade e Visualização	Interfaces e integração	Colocação do pilar no colarinho do bloco de fundação; Interface com alvenaria; Colocação da viga nos consoles com folgas iguais nas duas extremidades.
Adequação	Adequação da mão-de-obra e recursos	Os consoles apresentam pinos para ligação viga-pilar e recebem aparelhos de neoprene para impedir o contato direto entre superfícies

Quadro 3 - Resumo das análises dos critérios aplicados nos manuais de montagem. Elaborado pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos critérios de construtibilidade aplicados ao método construtivo dos pré-fabricados revela a importância fundamental de considerar a facilidade de construção desde as fases iniciais do projeto até a etapa de montagem final, o que auxilia, inclusive na etapa de manutenção das construções. Os pré-fabricados, por sua natureza industrializada, oferecem uma oportunidade única para otimizar a construtibilidade e alcançar benefícios significativos em termos de produtividade, qualidade e segurança no canteiro de obras.

Dessa forma, o trabalho analisou o processo de montagem considerando as informações constantes em manuais de montagem e a partir da seleção de alguns critérios abordados na bibliografia.

As informações apresentadas nos manuais de montagem, objeto de estudo deste trabalho, foram aplicadas aos oito critérios selecionados na etapa de seleção e as análises dessa aplicação demonstram que dos oito critérios, sete foram identificados nos manuais de montagem.

Foi identificado em algumas etapas da montagem o critério da simplificação, atribuindo mais de uma função em um só elemento, como a viga calha, como também de ações para minimizar as interdependências através da rápida liberação do guindaste na instalação do pilar.

Foi utilizado o critério da padronização nas dimensões das lajes, dos painéis e na armazenagem dos elementos que não podem ser instalados assim que são descarregados, e também, na repetição dos detalhes de conexão.

Nota-se o critério de acessibilidade quando é abordado a determinação dos acessos dos equipamentos necessários para montagem, assim como a movimentação do próprio elemento, e também quando considera os espaços de armazenamento para os elementos pré-fabricados.

O critério de otimização só foi observado no posicionamento do guindaste, quando o manual da ABCIC cita a importância de posicionar o pilar para que seja possível içar o maior número de peças sem precisar mover o guindaste novamente e também, nas verificações que são exigidas para evitar retrabalhos.

O critério mais presente, em ambos os manuais, foi o da segurança, presente nos manuseios, instalações e conexões. Em todo processo de montagem, independente do

elemento, vai ser exigido esses requisitos, por isso é o critério mais presente nos manuais e conseqüentemente, na análise realizada.

Sobre o critério da compatibilização e visualização, foi encontrado apenas o requisito de interface e integração entre sistemas nos manuais. Este está presente na colocação do pilar no colarinho do bloco de fundação, interface do pilar com a alvenaria e a colocação das vigas nos consoles com folgas iguais nas duas extremidades.

E por último, o critério da adequação foi aplicado através da ligação viga-pilar, onde os consoles apresentam pinos para conexão e o uso dos aparelhos de neoprene para impedir o contato direto entre superfícies, isso se enquadra no requisito selecionado de adequação de mão-de-obra e recursos.

Não foi encontrado, em nenhuma etapa descrita nos manuais, sobre um rápido fechamento da construção, por isso o critério da minimização da influência climática não pode ser analisado através dos objetos de estudos apresentados.

Sabe-se que a construtibilidade é um conceito amplo e complexo, que não pode ser totalmente abordado em um único trabalho. O objetivo principal desta análise foi avaliar a construtibilidade de uma etapa do método construtivo dos pré-fabricados de concreto, identificando a sua consideração nos manuais de montagem de estruturas. Observou-se que os dois manuais acabaram se completando, o Manual Munte aborda não apenas sobre o processo de montagem como traz especificações padrões de cada elemento e as suas funções, já o manual da ABCIC é voltado para montagem, estando alinhado com as recomendações da NBR 9062 (ABNT, 2017).

Espera-se que este trabalho possa inspirar e servir de base para pesquisas futuras sobre o assunto, incentivando uma compreensão mais aprofundada e trazendo um senso crítico com os critérios estudados ao longo do trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062 - **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

ALSHAWI, M., UNDERWOOD, J. **A Process and An Object Oriented Analysis to Integrate Design and Construction**. Proceedings of CIB W78 Workshop on Computer Integrated Construction. Helsinki, Finland, 20 pag., ago, 1994.

BOUHLAGHEM, D., SHANG, H., WHYTE, J., GANAHI, A. **Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC)**. Journal Automation in construction, v. 14 , n. , p. 287- 295, 2005.

CASSOL, **ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS**. 2024. Disponível em: <<https://www.cassol.ind.br/elementos-pre-fabricados/>> Acesso em: 04/02/2024

CIRIA. Buildability: An Assessment. 1983.. CIRIA Publications, Special publication no. 26

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability Concepts File**. Universidade do Texas em Austin, Austin, ago. 2., 1987.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). **Preview of Constructability Implementation**. Austin, Texas, 1993.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). **Prefabrication, preassembly, modularization, an offsite fabrication in industrial construction: A framework for decision-making**. Austin, Texas, 2002.

CROWTHER, P. Design for Buildability and the Deconstruction Consequences. **In: CIB Task Group 39 - Deconstruction**, Annual Meeting, Karlsruhe, Germany, abr. 2002.

CROWLEY, A. **Construction as a manufacturing process: Lessons from the automotive industry**. **In: Computers and Structures**, Vol. 67,p. 389-400, 1998

DELEGREGO, V. **CONSTRUTIBILIDADE: LIÇÕES INTERNACIONAIS E APLICAÇÕES PARA O BRASIL**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DONIAK, I. L. O. **MANUAL DE MONTAGEM DE PRÉ-MOLDADOS ABCIC/NETPre**. 2008. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/67734594-Manual-de-montagem-de-pre-moldados-abcic-netpre.html>> Acesso em: 07/11/2023

DUNSTON, P. S.; WILLIAMSON, C. E. **Incorporating Maintainability in Constructability Review Process**. Journal of Management in Engineering. Vol. 15, n. 5, p. 56-60, sept/oct. 1999.

GRIFFITH, A., SIDWELL, A.C. **Development of constructability concepts, principles and practices**. Journal of Engineering, Construction and Architectural Management, vol 4, n.4, p. 295-310, 1997.

HAAS, C.T., O'CONNOR, J.T., TUCKER, R.L., EICKMANN, J.A FAGERLUND.W. R. **Prefabrication and Preassembly Trends and Effects on the Construction**

Workforce. Center for Construction Industry Studies, Report No. 10, University of Texas at Austin, 2000

HASSAN, Zainuddin et al. **CONPLAN: construction planning and buildability evaluation in an integrated and intelligent construction environment.** 1997. Tese de Doutorado. University of Salford. Department of Surveying.

LAM, Patrick TI; WONG, Franky WH; TIONG, R. An Empirical Study of the Relationship Between Buildability and Productivity in Singapore—Lessons for Hong Kong SAR. In: **CRIOCM 2006 International Research Symposium, The Chinese Research Institute of Construction Management and North China Electric Power University.** 2006. p. 3-5.

LAM, Patrick TI et al. A scheme design buildability assessment model for building projects. **Construction Innovation**, v. 12, n. 2, p. 216-238, 2012.

LOW, S.P. **Quantifying the relationships between buildability**, structural quality and productivity in construction. *Structural Survey*, vol 19, n.2, pp. 106-112, 2001.

MEIER, J. R.; RUSSELL, J. S. **Modelo Process for Implementing Maintainability.** *Journal of Construction Engineering and Management.* New York, vol. 126, n. 6, p. 440-450, nov/dec. 2001.

MUNTE. **MANUAL TÉCNICO MUNTE.** 2007. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Munte.pdf>> Acesso em: 13/10/2023

NETO, N. M. **ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO PARA EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS DE PEQUENA ALTURA : UMA ANÁLISE CRÍTICA.** Dissertação de mestrado em Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

NIMA, M.A; ABDUL-KADIR, M.R.; JAAFAR, M.S.**Evaluation of the role of the contractor's personnel in enhancing the project constructability.** *Structural Survey*, 2002.

O'CONNOR, J. T.; DAVIS, V. S. **Constructability improvement during field operations.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v.114, n.4, p.548-64, Dec., 1988

O'CONNOR, J. T; MILLER, S. J. **Barriers to Constructability Implementation.** *Performance of Constructed Facilities*, Vol. 8, No. 2, May 1994, p. 110-128.

O'CONNOR, J. T., RUSCH, S. E., SCHULZ, M. J. **Constructability Concepts for engineering and procurement.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v.113, n.2, p.235-48, Jun., 1987.

O'CONNOR, J. T., TUCKER, R. L. **Industrial project constructability improvement.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 112, n. 1, p.69-81, Mar., 1986.

PRECON, **PRÉ-FABRICADOS E A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.** 2024. Disponível em: <<https://preconprefabricados.com.br/pre-fabricado-de-concreto-nossos-produtos/>> Acesso em: 04/02/2024

RODRIGUES, Marilucy Butinholi. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

SAFFARO, F. A.; SANTOS, D.G.; HEINECK, L.F. **Uma proposta para a classificação de decisões voltadas a melhoria da construtibilidade.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004.

TATUM, C. B. **Improving Constructability During Conceptual Planning.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 113, n. 2, p. 191-207, jun. 1987.

TATUM, C. B., VANEGAS, J. A.; WILLIAMS, J. M. **Constructability Improvement Using Prefabrication, Preassembly, and Modularization.** Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, 1987.

ULRICH, K.T., EPPINGER, S.D. **Product design and development.** 2nd ed. London: McGraw-Hill, 2000.

WONG, F. W. H. et al. A review of buildability performance in Hong Kong and strategies for improvement. **Surveying and Built Environment**, v. 17, n. 2, p. 37-48, 2006.

WONG, Wing-hei. **Developing and implementing an empirical system for scoring buildability of designs in the Hong Kong construction industry.** 2007. Tese de Doutorado. The Hong Kong Polytechnic University. Hong Kong.

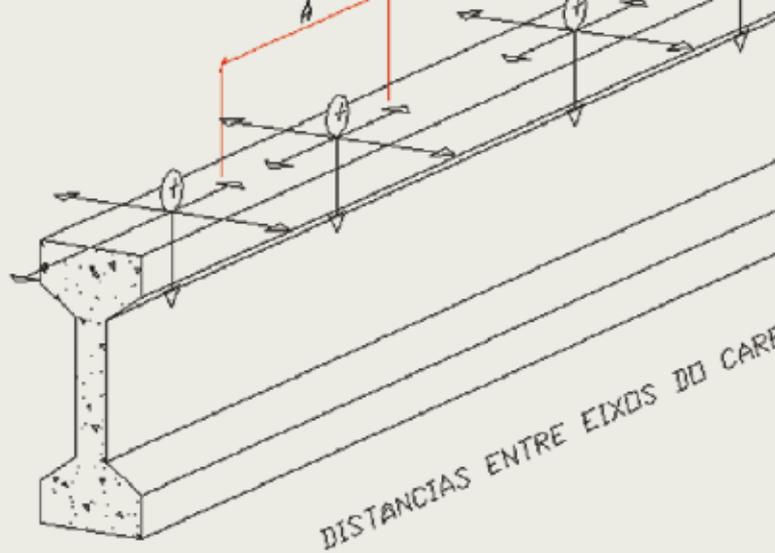
ZIN, R. M. **Design phase constructability assessment model.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia Civil, Universidade de Tecnologia da Malasia, 2004.

ZUCCHETTI, L. **A construtibilidade como requisito de avaliação de componentes para a edificação: o caso do Elemento de Integração alvenaria/ esquadria.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ANEXO A
MANUAL TÉCNICO MUNTE

Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Munte.pdf>>

Accesso em: 13/10/2023

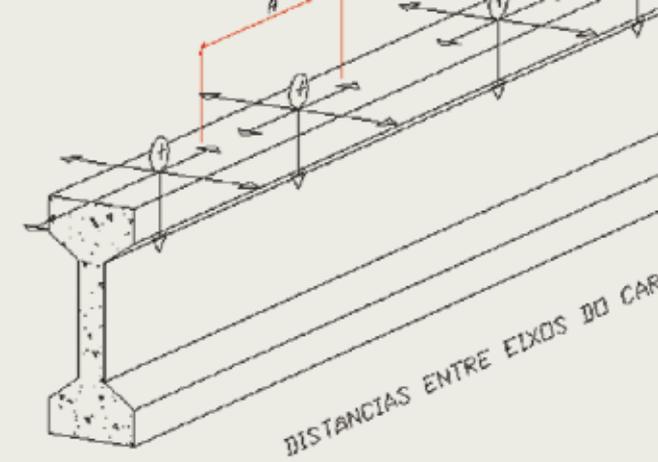


MANUAL TÉCNICO

MUNTE



soluções concretas



MANUAL TÉCNICO

MUNTE



soluções concretas

Este manual técnico apresenta os sistemas pré-fabricados construtivos Munte, visando auxiliar aos profissionais de projeto e construção na execução de projetos de estruturas pré-fabricadas de concreto.

As informações contidas neste manual são frutos de mais de trinta anos de desenvolvimento tecnológico aplicado ao projeto, fabricação e montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto aplicadas aos mais variados usos, desde indústrias de grande porte, passando por shopping centers, até fachadas em painéis acabados.

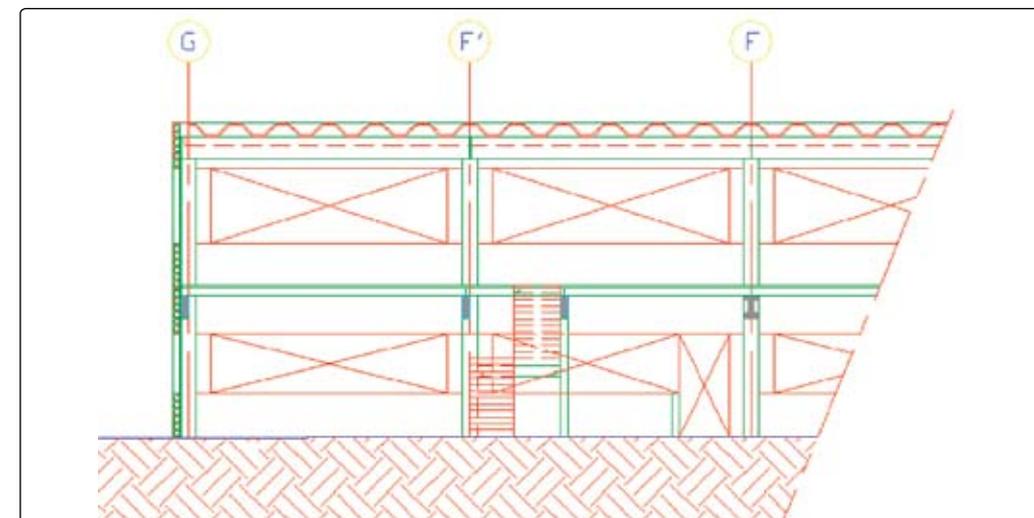
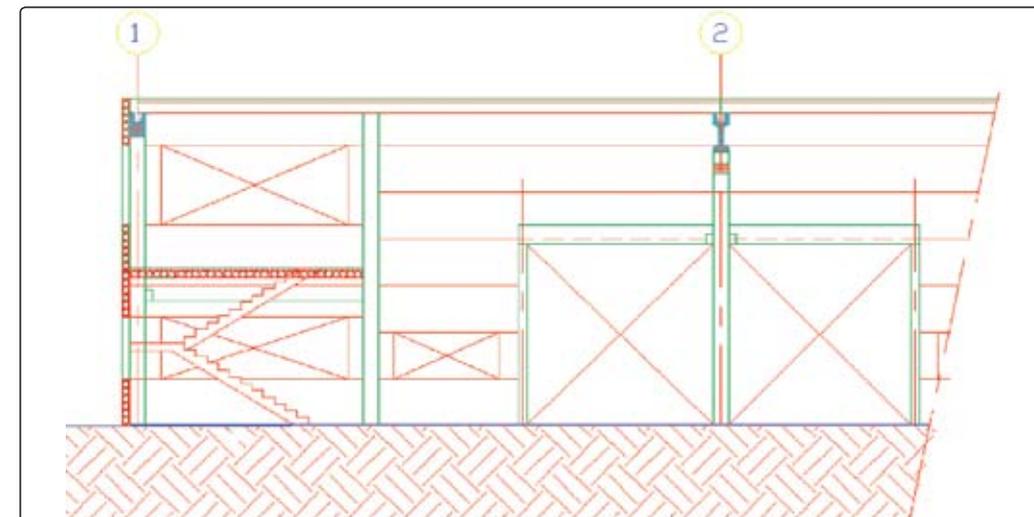
O primeiro capítulo apresenta conceitos básicos da modulação construtiva, item fundamental para quem projeta em sistemas industrializados. Os capítulos seguintes apresentam os subsistemas construtivos, que foram divididos em caráter didático conforme segue:

- Fundações;
- Pilares;
- Vigas;
- Pontes Rolantes;
- Escadas;
- Lajes;
- Cobertura;
- Fechamento.

A Área Técnica da Munte, em sua busca constante pela melhoria das soluções Munte, se reserva o direito de alterar as informações contidas neste manual sem prévio aviso, e permanece à disposição para sugestões ou solicitações pelo endereço eletrônico munte@munte.com.br.

O Início do Projeto é determinado pela escolha da modulação, que define a melhor utilização do sistema pré-fabricado. A padronização dos tipos de peças, bem como, a utilização de módulos repetitivos amplia a viabilidade econômica do empreendimento. Com a escolha adequada da modulação, é possível otimizar as peças pré-fabricadas, utilizando-as em sua máxima capacidade.

A modulação da obra é determinada pela modulação da cobertura, definida pelas telhas de concreto, que têm largura padrão de 125 cm.



2.1 MODULAÇÃO – TELHAS

4

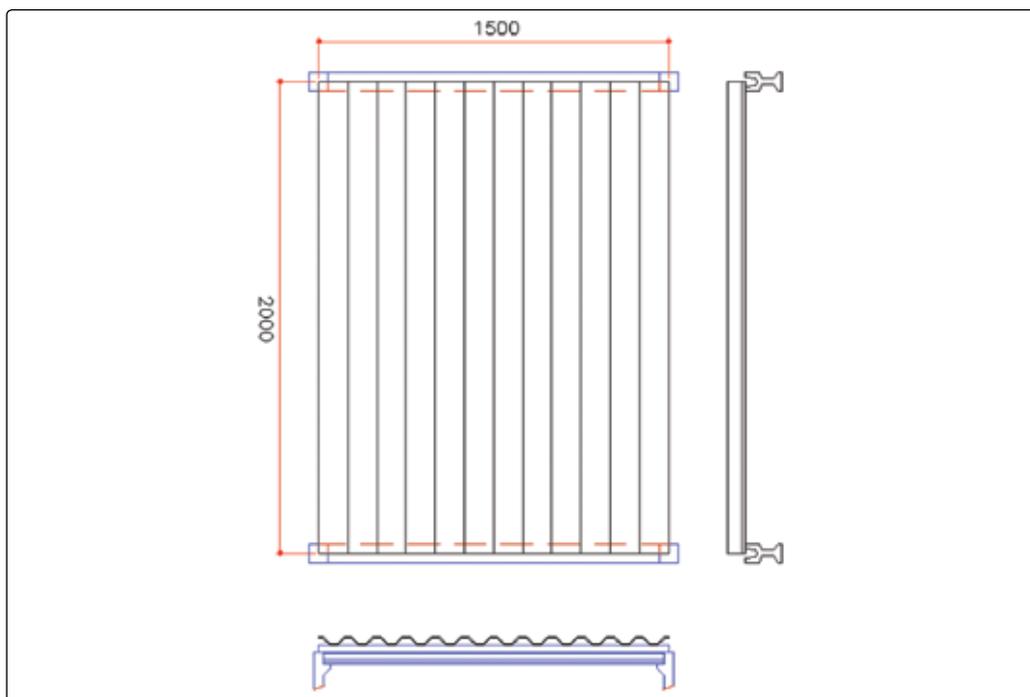
O comprimento das telhas pode variar de acordo com a necessidade do empreendimento. As telhas mais econômicas, de altura 36,5 cm, podem atingir o máximo vão de 20m. Para vãos até 25 m, utiliza-se a telha com altura de 49,5 cm. Ainda para vãos até 30 m, utiliza-se a telha com altura de 60 cm.

A modulação padrão da Munte é de 15 m x 15 m, podendo chegar a 15 m x 30 m, onde ocorre a máxima utilização da telha de 30 cm, mas com vigas maiores.

As telhas se apóiam em vigas calhas, que podem ser no formato retangular, denominada viga calha U (VCU), ou em vigas tipo “I” (VCI).

As vigas VCU podem ser protendidas ou armadas no caso de armadas, procura-se adotar pequenos vãos. Esta viga calha se apóia diretamente no topo do pilar, dispensando a utilização de consoles, sendo muito utilizadas na região do mezanino administrativo.

As vigas calhas no formato “I” (VCI), podem atingir vãos de até 25 m, ou ainda maiores se pré-moldadas no canteiro.



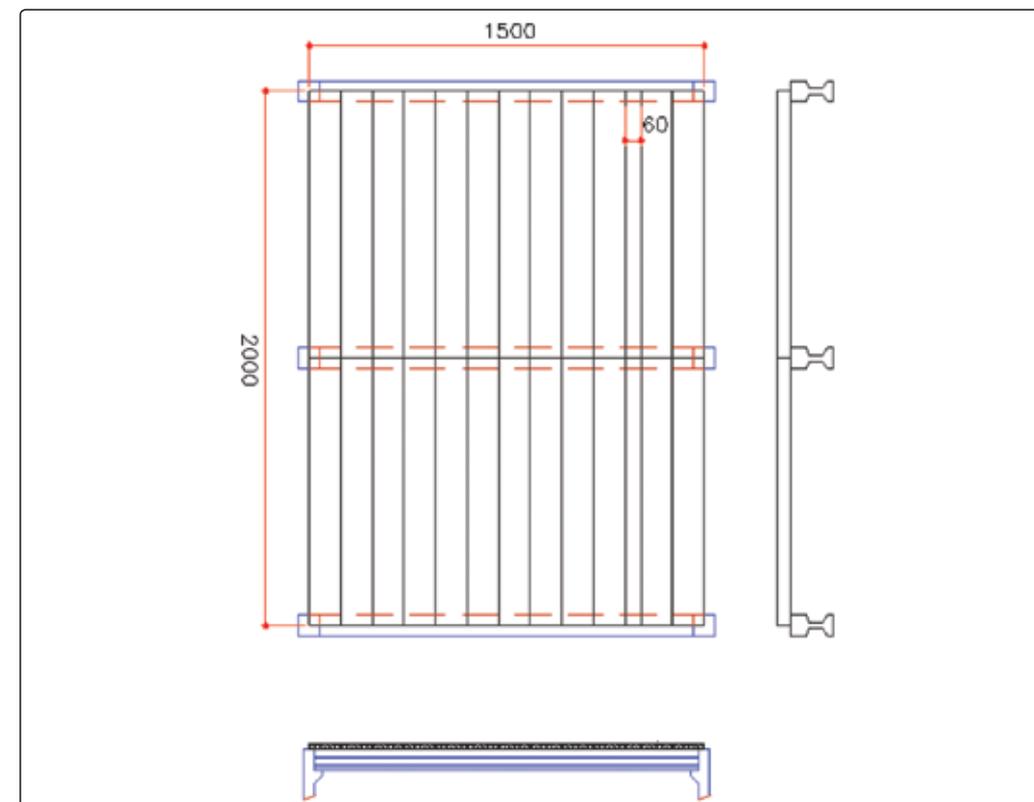
2.2 LAJES DE PISO – MEZANINO

5

As lajes de piso do tipo alveolares apresentam a modulação de 120 cm, e podem ser recortadas para se ajustarem a qualquer vão, no sentido da sua largura.

A capacidade das lajes varia de acordo com a sobrecarga e o vão utilizado, que pode variar de 3,00 a 14,50 m.

As lajes alveolares têm a espessura de 20 cm ou 26,5 cm, e devem ter uma capa estrutural complementar moldada in loco de 5 a 7cm, de acordo com o projeto.



2.3 PILARES

Os pilares apresentam a seção padrão de 40 x 40 cm, podendo variar sua seção conforme o dimensionamento específico de cada projeto.

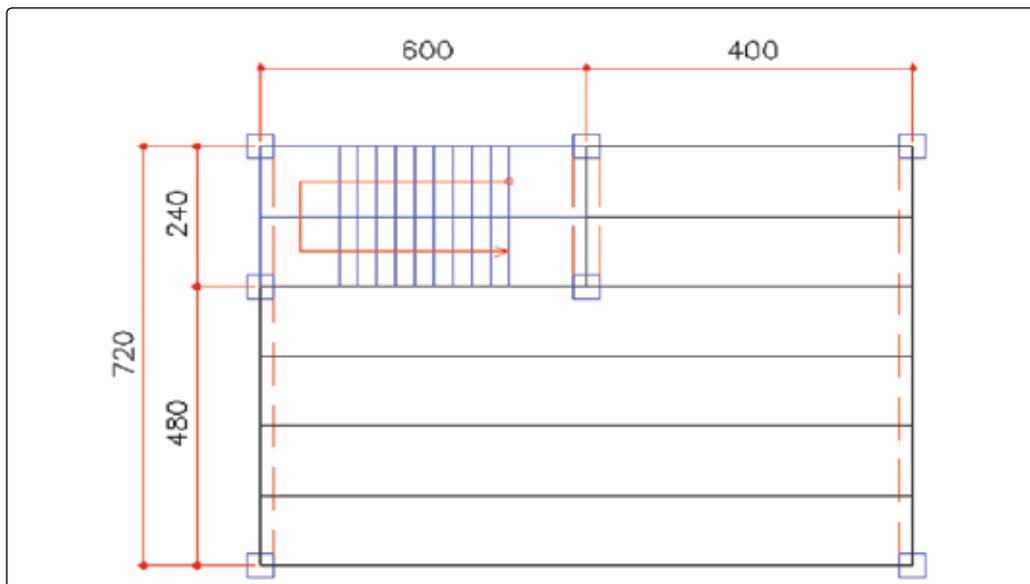
As escadas têm a largura mínima de 120 cm. O comprimento ideal está compreendido entre 5 e 7,5 m, podendo chegar a 10 m.

Os degraus apresentam medidas fixas padronizadas, de 29 cm de piso x 17,5 cm de espelho. Portanto, a altura piso a piso dos mezaninos devem ser múltipla de 17,5 cm.

Os pilaretes de apoio das escadas podem ter dimensões menores, como 30 x 40 cm.

A máxima largura numa peça única é de 220 cm

O máximo lance de escada em peça única deve ser de 245cm, com 14 degraus contínuos.



2.5 FACHADAS

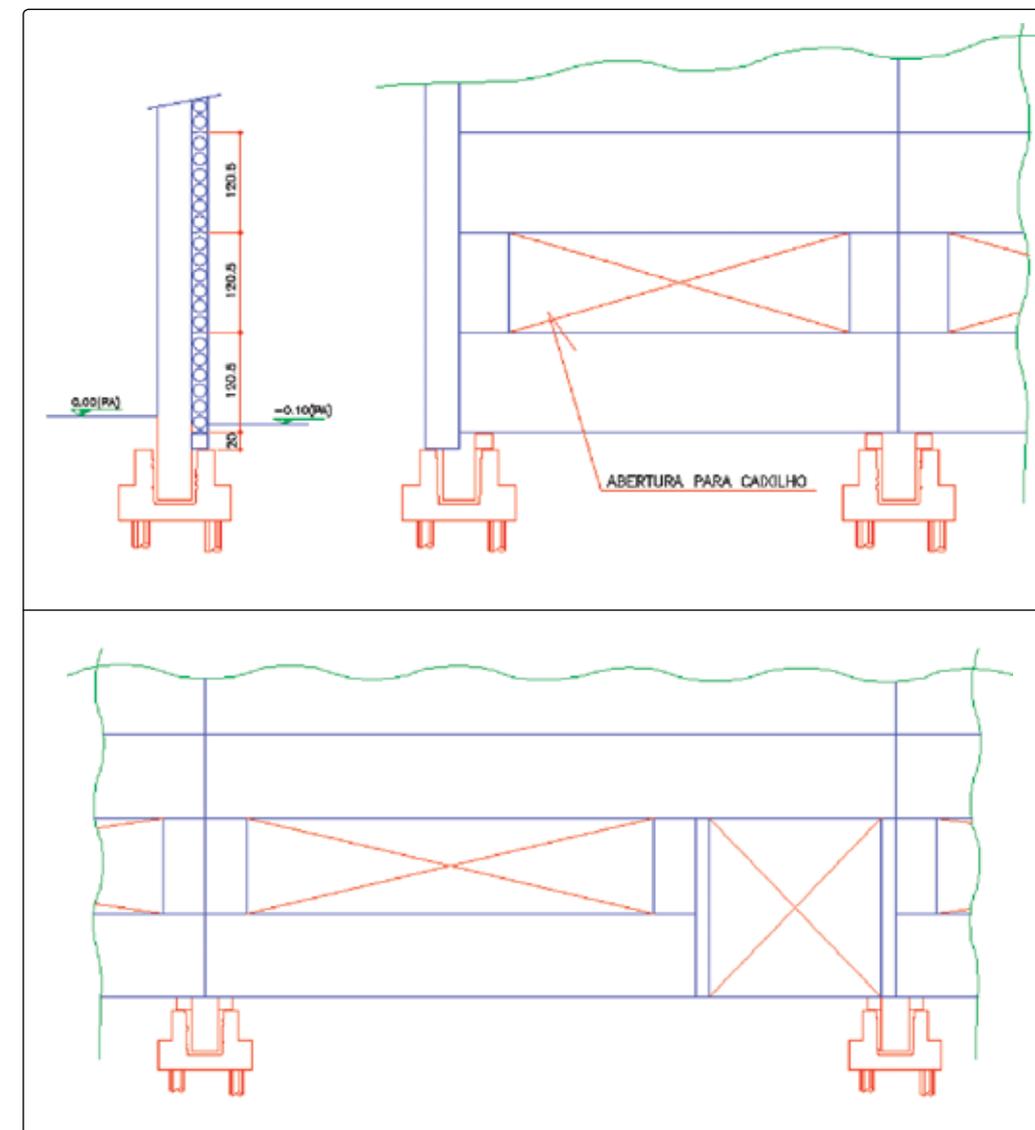
As fachadas podem ser desenvolvidas em vários formatos e materiais. As fachadas em painéis alveolares foram desenvolvidas com o estudo completo de todas as interfaces, formando um sistema completo com a estrutura.

Os painéis alveolares têm a modulação na largura de 120 cm, e não podem ser recor-

tados. O comprimento máximo dos painéis é de 15,00 m, e por serem auto portantes, dispensam a utilização de vigas baldrames de apoio, fixando-se diretamente nos pilares e blocos.

As aberturas de janelas devem ser consideradas com a retirada do painel, onde é introduzida uma peça de apoio junto aos pilares de 60 cm de largura.

Nas aberturas para portas, são necessários pilaretes para a fixação dos painéis.



O início do processo de construção da edificação está compreendido na execução das fundações.

3.1. SONDAGENS E FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Para início dos trabalhos no campo, é necessária a execução de uma sondagem do subsolo do terreno.

Esta investigação é necessária para a determinação do tipo, bitola e profundidade das fundações profundas da edificação. A determinação da solução técnica é realizada por engenheiro geotécnico responsável, contratado pela Munte.

Usualmente são utilizadas as soluções em estacas pré-fabricadas ou tubulões.

As sondagens podem ser por percussão ou método rotativo, fornecendo amostras do solo e SPT.

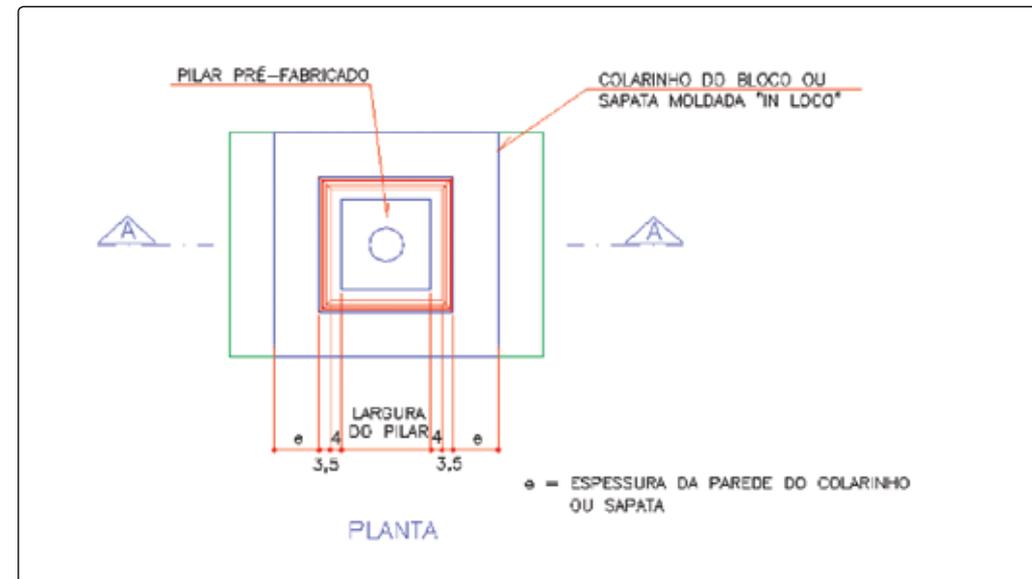
3.2 BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Sobre a fundação profunda, são realizados blocos de concreto, moldados no local por equipe especializada. Os blocos são divididos em duas partes distintas: base e colarinho.

A base do bloco realiza a interface entre o elemento moldado in loco e as fundações profundas. Sobre a base, se encontra o colarinho, que forma um vazio para encaixe dos pilares pré-fabricados.

No projeto das fundações, são determinadas as nomenclaturas:

- FSB – Face superior do bloco – Corresponde ao nível superior do bloco, que corresponde ao nível superior do colarinho.
- CAP – Cota de Apoio do Pilar – Corresponde ao nível em que o pilar se apóia dentro do bloco. Normalmente coincide com a face superior da base do bloco.
- CAE ou CAT – Cota de arrasamento das estacas ou tubulões – São os níveis em que terminam os elementos das fundações profundas.

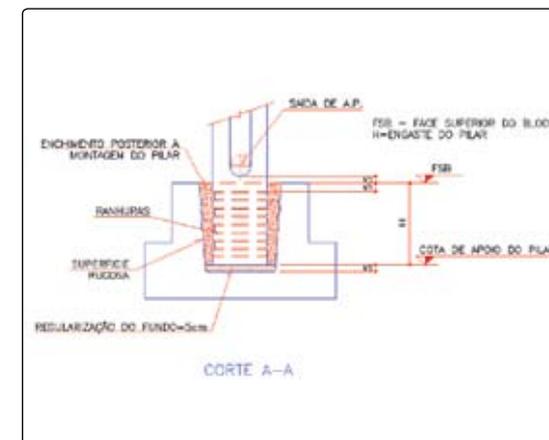


Para os projetos padrões, são utilizadas as seguintes cotas (todas em relação ao piso interno acabado (PA = 0,00)).

- FSB = -0,40 m
- CAP = -0,80 m
- CAE = -1,45 m

Caso o solo tenha boa capacidade de suporte, é possível a utilização da fundação direta, onde o bloco é projetado como sapata.

Obrigatoriamente, o nicho deixado pelo colarinho para a montagem do pilar deve apresentar a superfície rugosa, determinando assim a eficiência da ligação prevista em projeto.



Nos colarinhos são apoiadas as vigas baldrames, que também são executadas no local. As vigas baldrames são utilizadas apenas para apoio das alvenarias a serem executadas.

A face superior das vigas baldrames coincide com a face superior do bloco.

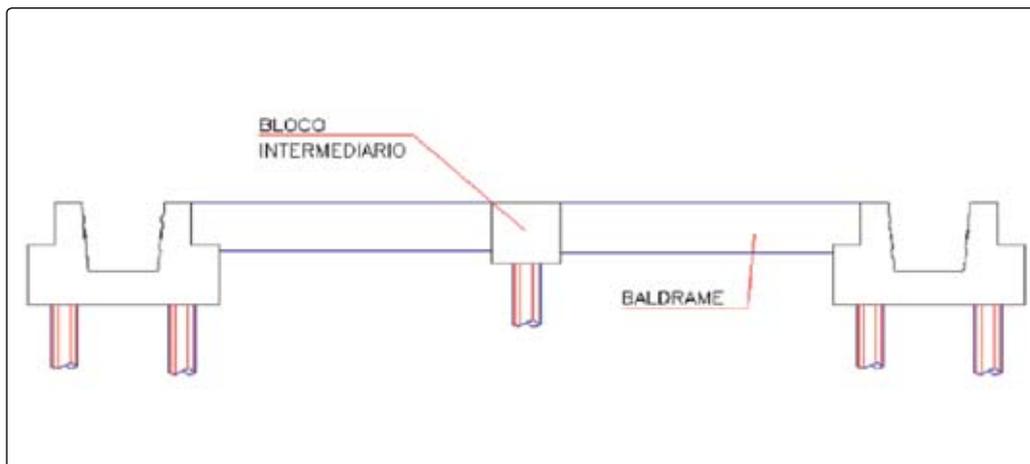
Caso a estrutura solicite vigas de travamento ou vigas alavancas, conforme as necessidades do projeto das fundações, estas vigas são posicionadas na base do bloco estando, portanto, mais baixas que as vigas baldrames.

Nas situações em que exista alvenaria sobre as vigas alavancas ou de travamento, as mesmas podem ser projetadas para receber este carregamento adicional.

Em função da baixa capacidade da alvenaria de absorver as deformações usuais das vigas de concreto, não se recomenda para os baldrames vãos maiores que 7.5 m. Portanto, são necessários pontos intermediários de apoio para os baldrames entre os pilares principais pré-fabricados.

Estes apoios são blocos simples, moldados in loco, sem colarinho, com face superior igual à face superior do baldrame.

Após a execução dos blocos e das vigas das fundações, a equipe de serviços moldados “in loco” deixa à obra, estando prontas as fundações para a montagem do pré-fabricado.



Após a execução dos blocos, é realizado no fundo do colarinho a regularização e nivelamento para apoio dos pilares. Esta operação, denominada “execução do quadrinho”, garante a cota de apoio do pilar prevista em projeto.

Após o içamento e colocação do pilar no nicho do colarinho do bloco, são instaladas cunhas de madeira que garantem o correto posicionamento do pilar, liberando o guindaste para a montagem de outras peças.

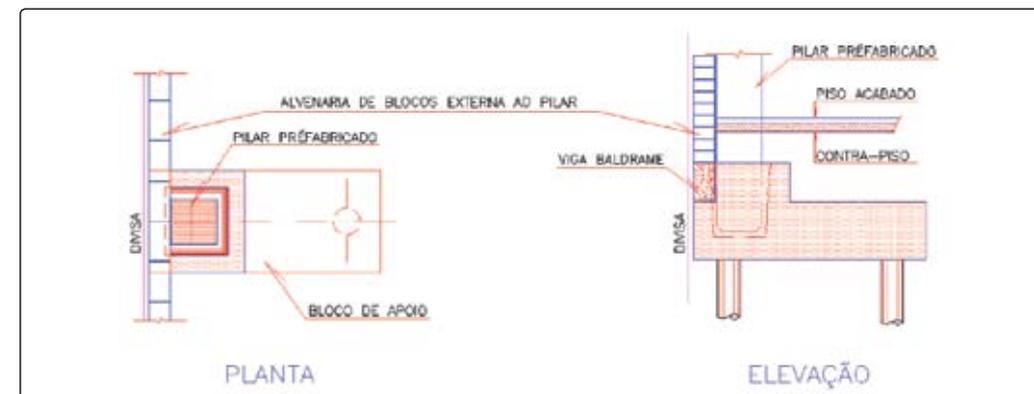
Após o controle e liberação na verificação de alinhamento e prumo do pilar, é lançado o concreto no nicho do colarinho, concreto composto de no máximo brita nº1 e de mesmo fck que o bloco, em concretagem normal até aproximadamente 2/3 da altura disponível, para não concretar as cunhas. Esta operação é denominada grauteamento dos pilares.

No dia seguinte, são retiradas as cunhas e o nicho é completado, terminando assim a solidarização do pilar com o bloco de fundação.

3.5 PILARES DE DIVISA

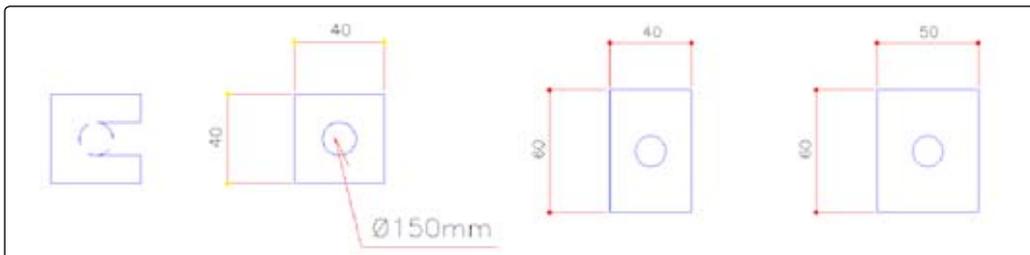
Em função da existência do colarinho, os pilares de divisa preferencialmente devem ter sua locação considerando um afastamento da divisa de no mínimo a espessura do colarinho, que deve coincidir com a espessura da alvenaria de divisa.

Caso não seja possível esta situação, podem ser realizadas ligações metálicas ou de concretagem do colarinho incorporado ao pilar, que diminuem a velocidade de montagem e são economicamente mais caras que a solução padrão.



Os pilares pré-fabricados são as peças mais complexas do sistema, pois apresentam consoles para o apoio das vigas, que podem estar em níveis e ângulos diversos, e tem internamente o condutor de águas pluviais, além da possibilidade de abrigarem as descidas de pára-raios incorporadas.

Os pilares padrões apresentam a seção de 40 x 40 cm. Dentro da linha de fabricação, podem ser adotadas medidas com variações moduladas de 10 cm, mantendo a mínima largura de 30 cm.



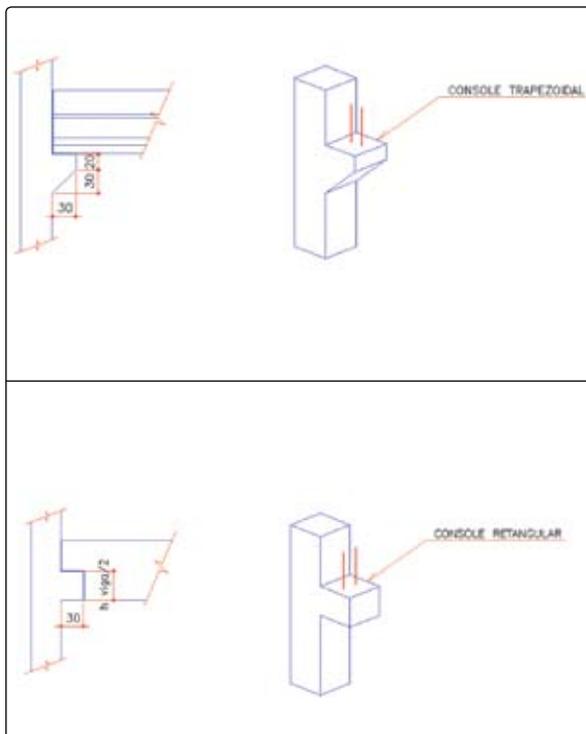
4.1 CONSOLES

Os consoles dos pilares são de dois tipos, retangulares ou trapezoidais.

Os consoles retangulares são utilizados em vigas retangulares que não apresentem a seção “I”, onde é possível a realização do dente chamado Gerber.

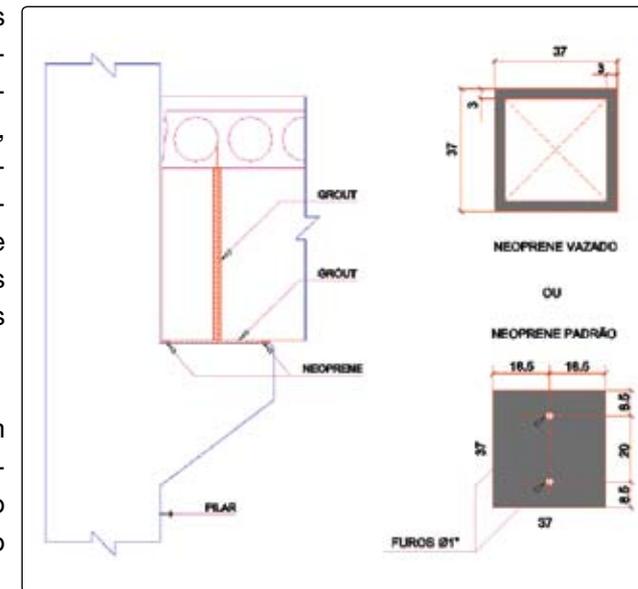
A altura dos consoles são usualmente de metade da altura da viga retangular.

Os consoles trapezoidais são necessários para as vigas no formato “I”, ou retangulares com carregamento muito elevado, tendo a dimensão padrão de 50 cm de altura.



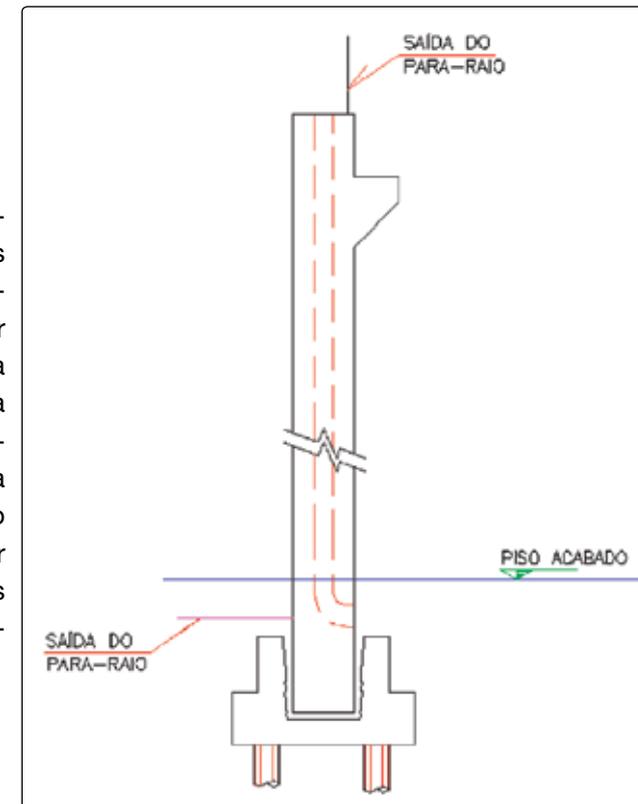
Os consoles apresentam pinos para a ligação das vigas. Durante a montagem, os consoles recebem aparelhos de neoprene, que são elastômeros que impedem o contato direto das superfícies de concreto, obtendo-se assim ligações mais eficientes e preservando a integridade das peças.

As fixações são preenchidas com concreto tipo graute, que garante a ligação das peças e realiza o cobrimento dos pinos de ligação dos consoles com as vigas.



4.2 PÁRA-RAIOS

Os pilares podem ter em seu interior o condutor de pára-raios embutido no concreto. O condutor de pára-raios deve ser contínuo. A Munte fornece uma barra em CA-25 exclusiva para ser utilizada com este fim, saindo do pilar em seu topo e na base, entre o bloco de fundação e o piso acabado, podendo ser conectada às malhas inferiores e superiores a serem executadas pelo contratante.

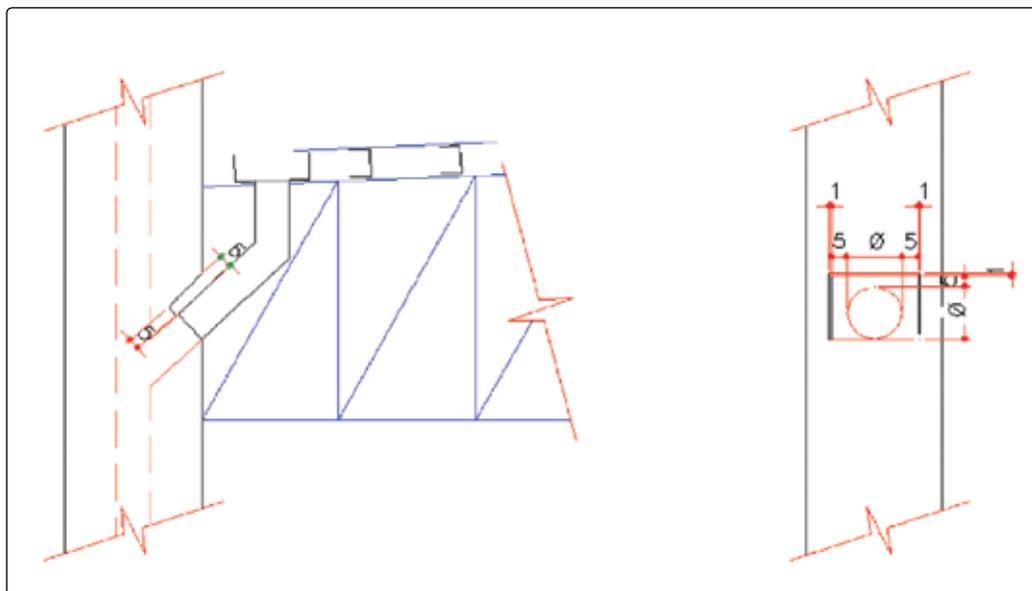


4.3 SAÍDA DE ÁGUA PLUVIAL

Dentro do pilar, encontra-se um tubo de PVC que é utilizado como condutor de água pluvial. Usualmente no diâmetro de 150 mm, este tubo tem a saída padrão do pilar acima 5 cm do topo do bloco de fundação, em bolsa que permite a ligação pelo cliente dos conectores até a caixa de inspeção.

4.4 CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL DE MARQUISES

Para a captação de água pluvial das marquises metálicas fixadas à estrutura, é realizada a coleta com conexão em “Y”, com entrada de diâmetro 100 mm. Esta conexão permite a instalação pelo cliente de conector com entrada no pilar a 45°.



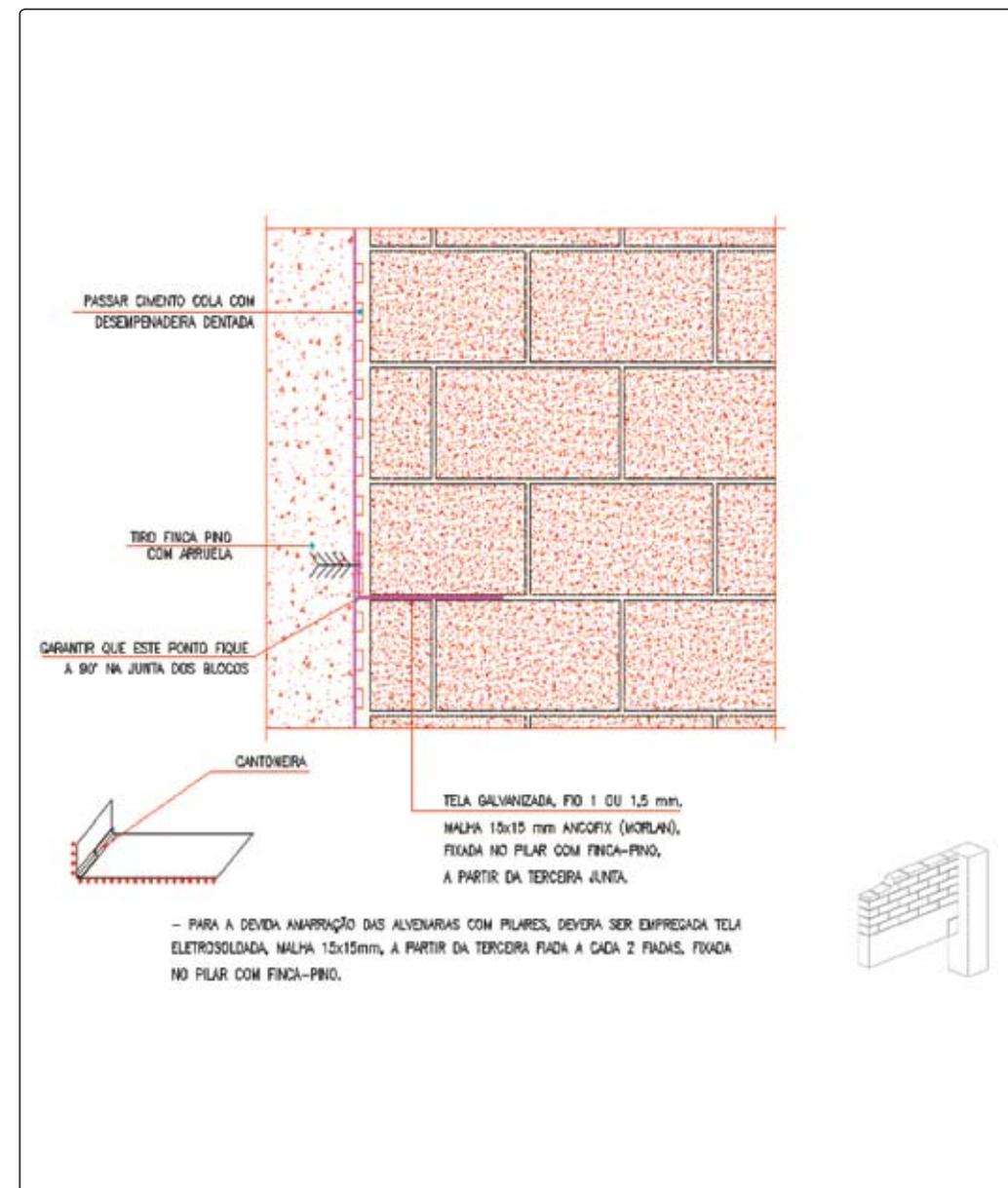
4.5 INTERFACE COM ALVENARIA

Nos pilares pré-fabricados, é possível a fixação da alvenaria a ser realizada futuramente.

Como todas as peças pré-fabricadas, os pilares são chanfrados nos cantos, com bizes de 15 mm. Portanto, se a alvenaria for realizada alinhada em sua face com o a face do pilar, é necessário à realização de friso do revestimento (ou argamassa) para arremate. Caso contrário, a alvenaria deve estar recuada.

Para a fixação da alvenaria, após a montagem do pilar, deve ser fixada tela galvanizada com finca pino e arruela a partir da terceira fiada, a cada 2 fiadas.

A alvenaria não deve ser encunhada na parte superior na viga, telha ou laje pré-fabricada, devendo ser deixado espaço de 2 cm, podendo ser pinada ou não, conforme a necessidade, sendo preenchido o espaço com argamassa “podre”.



As vigas pré-fabricadas podem ser de 2 diferentes tipos de seções: retangulares, em formato I ou viga vazô. Também podem ser diferenciadas pela função: De travamento, suporte de lajes ou calha.

As vigas retangulares se caracterizam por utilizarem consoles do tipo gerber. As vigas no formato I, se apóiam em consoles trapezoidais, conforme as alturas e cargas compatíveis com as condições de apoio.

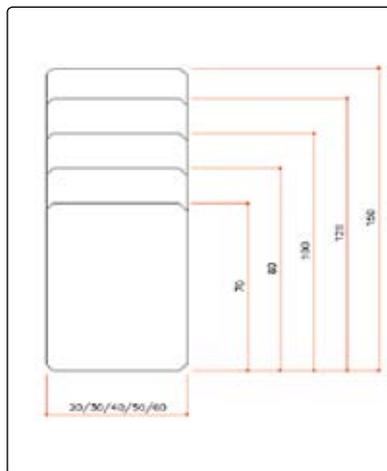
As dimensões das vigas indicas no projeto se referem sempre a dimensão da peça pré-fabricada.

5.1 VIGAS NO FORMATO RETANGULAR

As vigas retangulares apresentam modulações em suas medidas de 10 cm na altura e 5 cm na largura.

Usualmente as vigas de travamento são retangulares com largura de 20 cm.

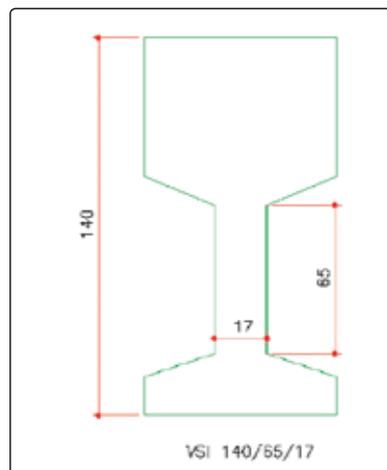
Vigas retangulares protendidas, utilizadas para grandes cargas obrigatoriamente tem 40 cm de largura.



5.2 VIGAS NO FORMATO I

As vigas no formato I, usualmente protendidas, têm a largura padrão de 40 cm. A altura pode variar conforme a disponibilidades de formas metálicas da fábrica da Munte, sendo mais comum as seção de 70 a 120 cm de altura.

As vigas calhas apresentam a seção de um canal livre de calha embutido que conduz a água até as extremidades. Este canal pode variar em função da



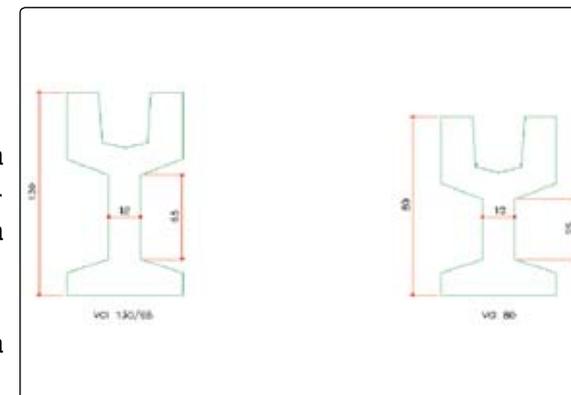
contribuição de água pluvial do telhado.

As vigas calhas no formato I são utilizadas para grandes vão, enquanto a viga retangular, denominada viga calha U devem ser utilizadas até 10 m de comprimento.

5.3 VIGAS CALHAS

As vigas calhas são protendidas para que a mesma tenha uma contra-flecha que auxilia no escoamento da água pluvial pela calha de concreto.

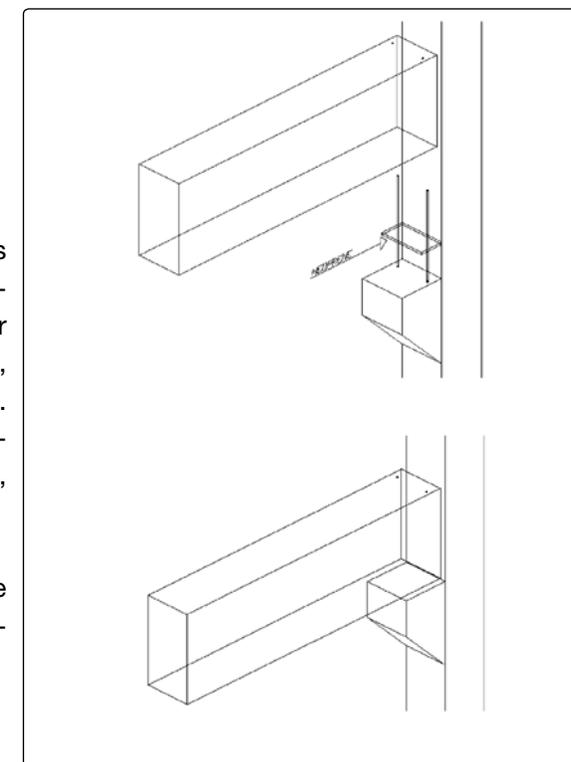
As vigas calhas são utilizadas para apoio das telhas de concreto.



5.4 MONTAGEM

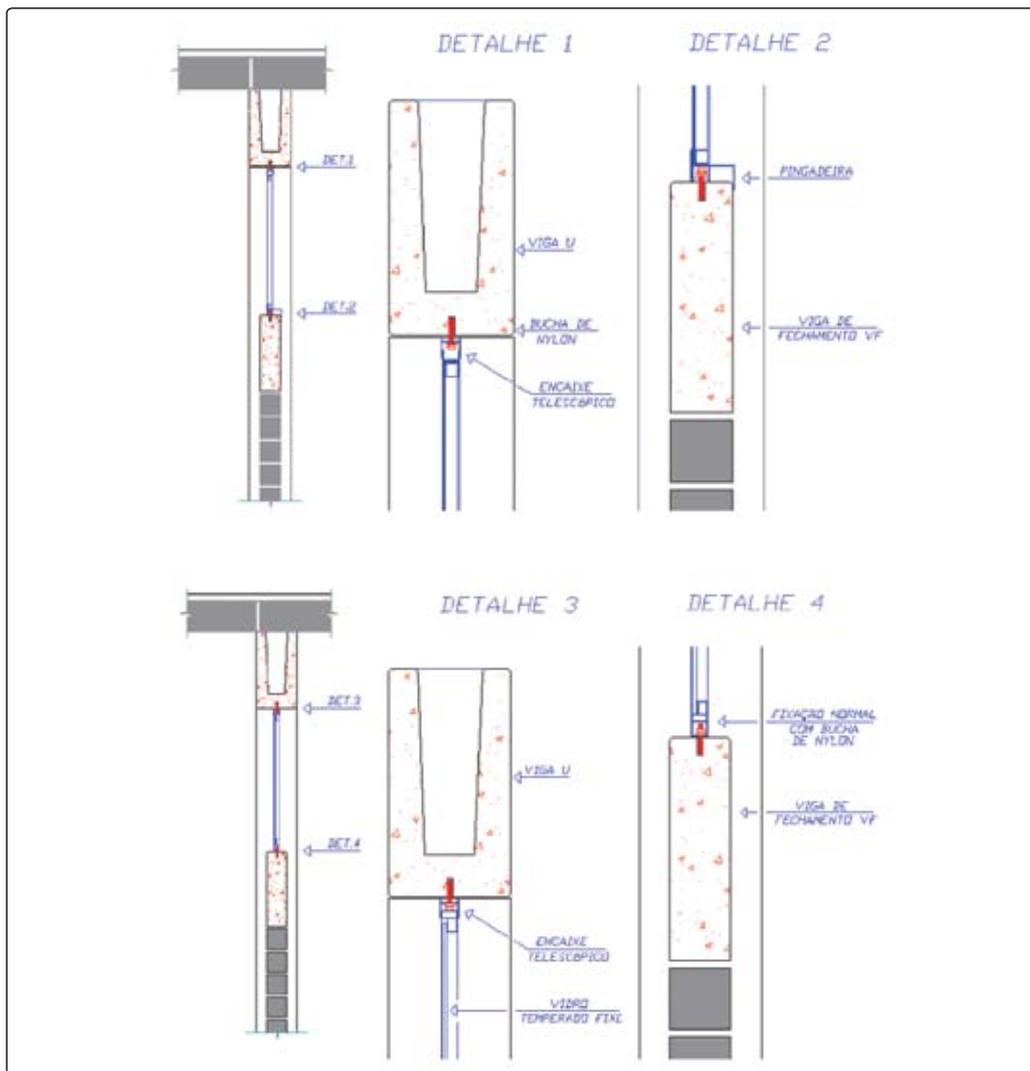
As vigas são elementos estruturais fundamentais no travamento da edificação, portanto no console do pilar são deixados esperas, onde as vigas, que possuem furos, são encaixadas. É de fundamental importância o preenchimento dos furos com groute, para a perfeita ligação estrutural.

O apoio da viga no console sempre se dá através do Neoprene, que uniformiza as tensões de contato da ligação.

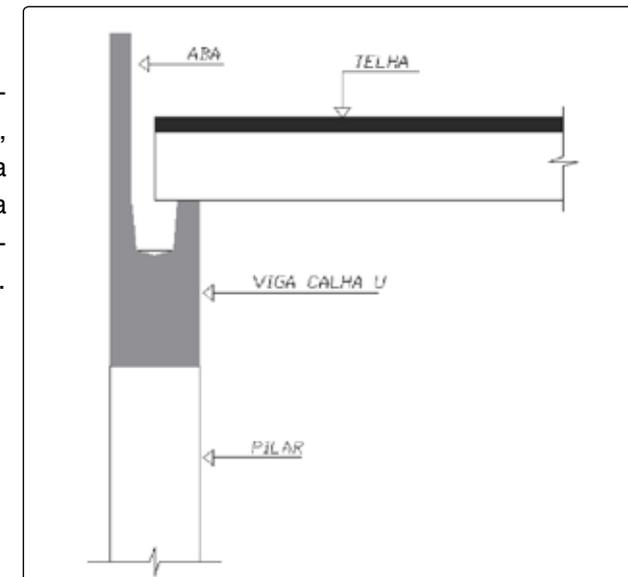


As vigas pré-fabricadas, por fazerem parte do travamento da estrutura, acompanham as movimentações globais da edificação. Portanto, não é recomendado o encunhamento efetivo da alvenaria nas vigas, e principalmente os caixilhos devem ser telescópicos, evitando patologias indesejáveis em elementos de baixa capacidade de movimentação.

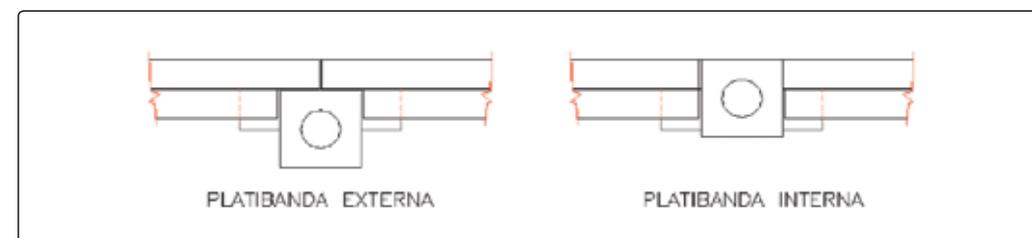
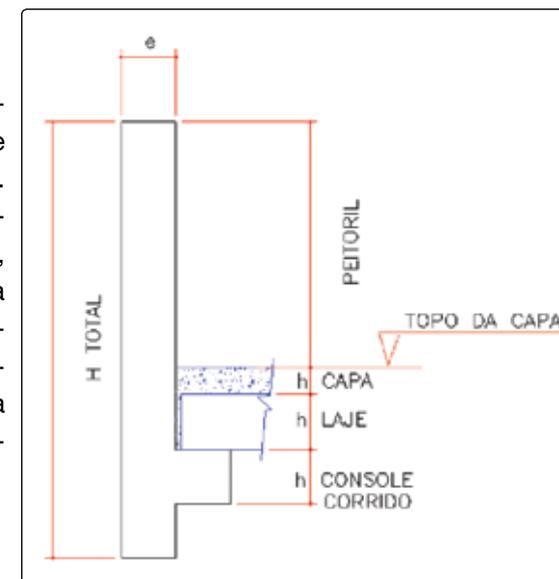
O encunhamento da alvenaria nos últimos 2 cm deve ser realizado com massa “podre”, que não transmite aos blocos de vedação esforços da estrutura.



Para as obras em que o fechamento não arremata a cobertura, pode ser colocada uma aba na viga calha de maneira a impedir a visualização do telhado, formando uma platibanda na cobertura.



Uma das soluções casadas mais difundidas é a utilização da viga suporte das lajes com um painel incorporado. Por ser em uma peça única, as vantagens econômicas são significativas, criando um elemento único que tem a função de viga e de peitoril do ambiente. Podem ser utilizadas em duas versões, com o pilar aparente na fachada (platibanda interna), ou não (platibanda externa).

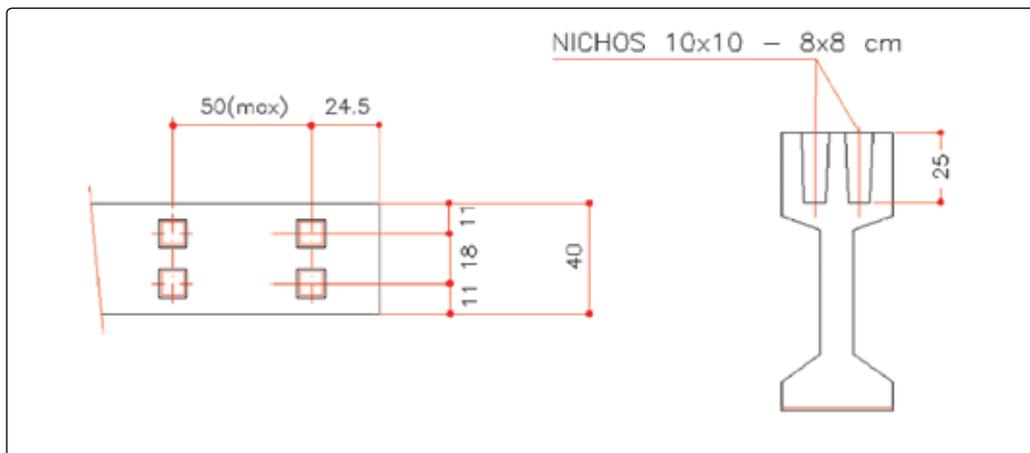


Muito comum nas estruturas pré-fabricadas, a instalação de vigas de rolamento permite a utilização de pontes rolantes de diversas capacidades e formatos.

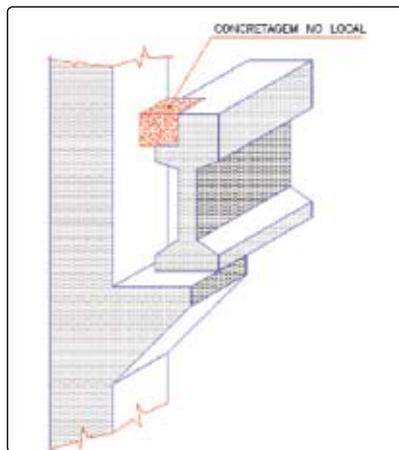
6.1 VIGA DE ROLAMENTO

As vigas de rolamento, usualmente são no formato “I”, pois este formato proporciona a melhor relação custo x benefício. As vigas apresentam nichos para o posterior preenchimento com groute.

Após a montagem da estrutura, com o auxílio de acompanhamento topográfico, devem ser instalados nos nichos das vigas de rolamento os pinos que fixarão o trilho de rolamento da ponte.



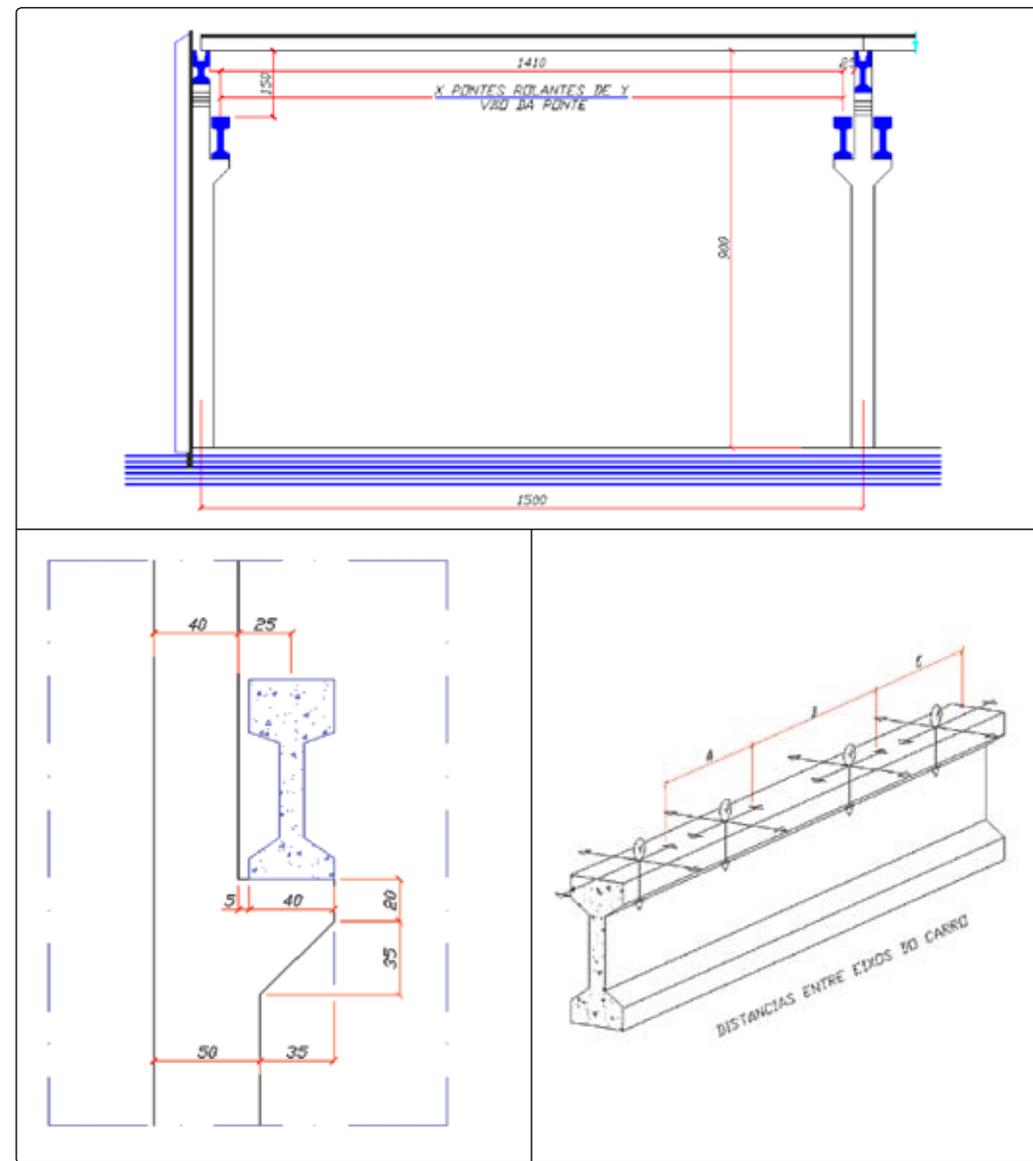
Para resistir às cargas horizontais de frenagem, a viga de ponte rolante é fixada no pilar através de uma solidarização “in loco”, que garante a perfeita transmissão dos esforços da ponte para a estrutura pré-fabricada.



6.2 PÓRTICO ESTRUTURAL

O projeto é desenvolvido de maneira a permitir a instalação dos trilhos que devem ser fixados nas vigas de rolamento.

É imprescindível que as folgas, níveis, cargas e distância entre eixos da ponte sejam verificados durante todas as fases do desenvolvimento do projeto, pois cada ponte rolante tem suas particularidades e detalhes que devem ser seguidos.



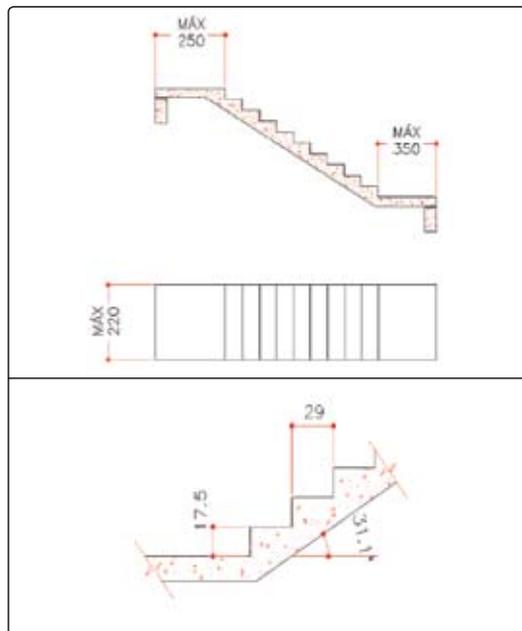
As escadas pré-fabricadas da Munte são do tipo laje-escadas, que se caracterizam por terem um acabamento em sua face inferior sem juntas de peças ou arremates indesejáveis. Visualmente a solução é mais “limpa”, agradando os usuários.

7.1 MODULAÇÃO

As escadas apresentam uma largura e altura do degrau já definidas, piso = 29 cm e espelho = 17.5 cm, (com relação $2h + p = 64$).

A largura usual é de 120 cm, mas cada peça pode ter largura máxima de 220 cm.

Em função da forma metálica na fabricação, fato que garante ótimo acabamento da escada, os patamares inferiores podem ter no máximo 350 cm, e o superior 250 cm de comprimento.



7.2 REVESTIMENTOS E CARGAS

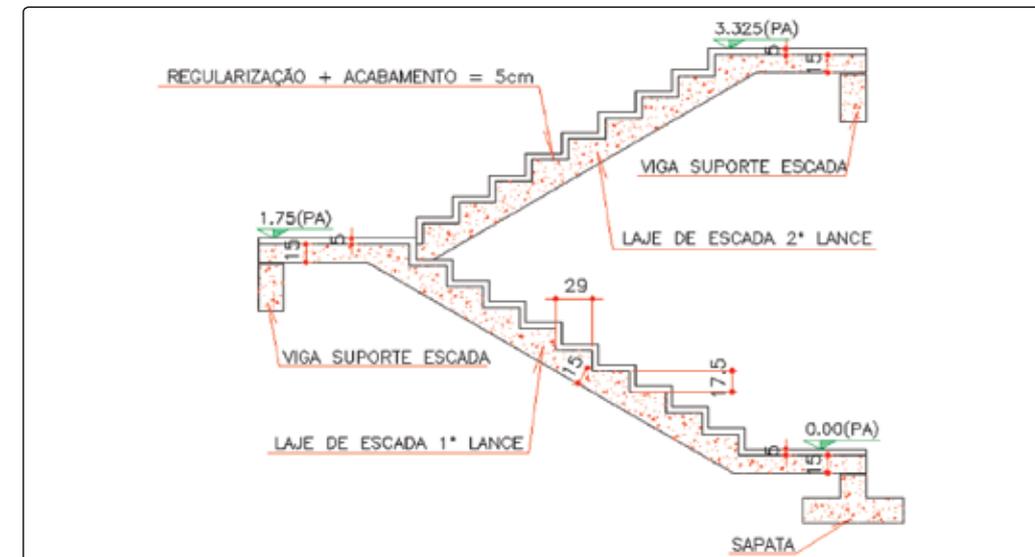
As escadas são projetadas para suportarem um revestimento de 5 cm de espessura. Conforme especificação de projeto, a escada pode ser fabricada com seu piso acabado, ou seja, é realizado o desempenamento no concreto.

A sobrecarga de projeto das escadas é de 300 kg/m², e a sobrecarga permanente do revestimento de 150 kg/m².

A espessura da laje escada varia em função do vão, com:

Espessura (cm)	Vão da escada (m)10
10	5,00
15	6,00
20	7,00
25	8,00

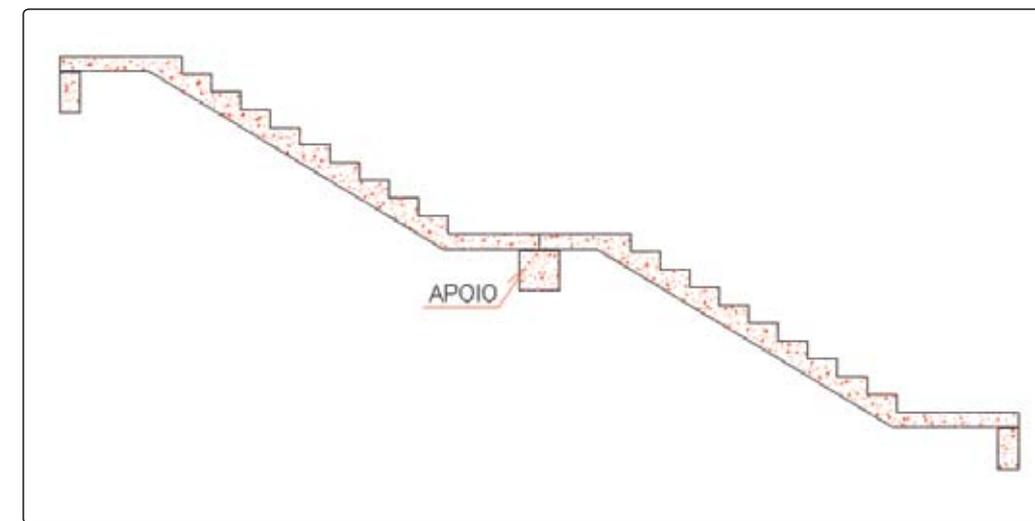
Para maiores vãos, deve ser realizada consulta ao departamento de projetos.



7.3 DETALHES

Usualmente o número de degraus contínuos é limitado em 13 espelhos, podendo ser realizado patamar intermediário, onde é obrigatório apoio em pilar escada.

Obrigatoriamente as escadas se apóiam em vigas intermediárias, e vigas de apoio no pavimento.



As lajes alveolares são produzidas em pistas de protensão e têm a modulação de 120 cm de largura. Podem ser realizadas lajes cortadas para acertar modulações diferentes, mas devem ser evitadas por terem um custo maior por m².

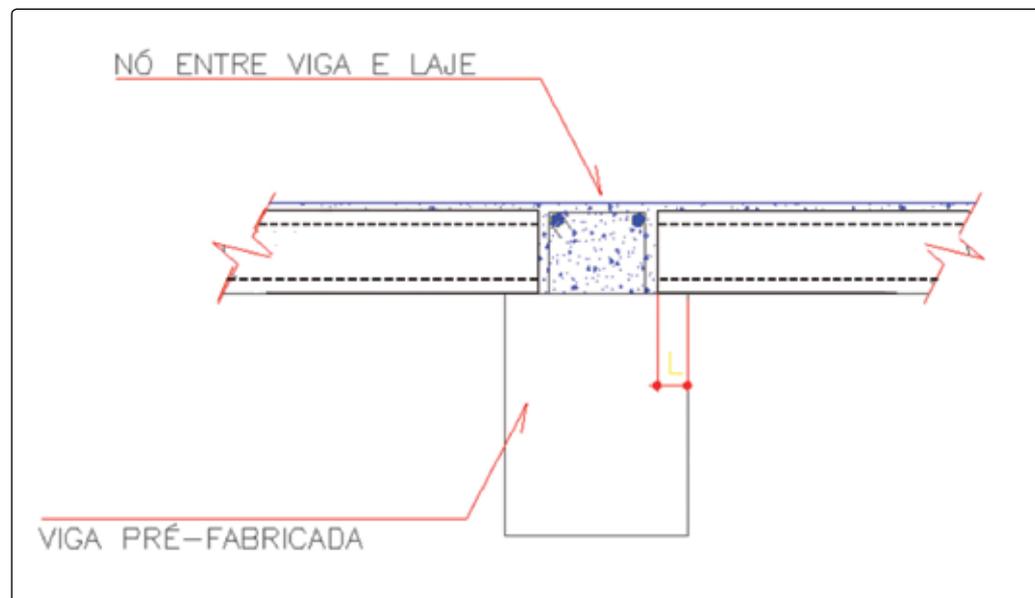
As lajes tem espessura de fabricação de 20 cm ou 26,5 cm. Para aumentar a capacidade de carga, se utilizada como travamento da estrutura e eliminar movimentações diferenciais que poderiam ocasionar fissuras nas alvenarias, é especificado em projeto um complemento estrutural moldado “in loco”, com espessura que pode variar de 5 a 7cm tanto para lajes de 20 como para lajes de 26,5 de altura, com armação complementar.

8.1 APOIOS

As lajes alveolares apóiam-se diretamente sobre uma superfície nivelada, sem qualquer elemento adicional.

Para as lajes de 20 cm, o apoio deve ser $L \geq 7.5$ cm, e para as lajes de 26,5 cm, $L \geq 10$ cm.

Usualmente, na concretagem da capa, o nó entre a viga e a laje é preenchido.

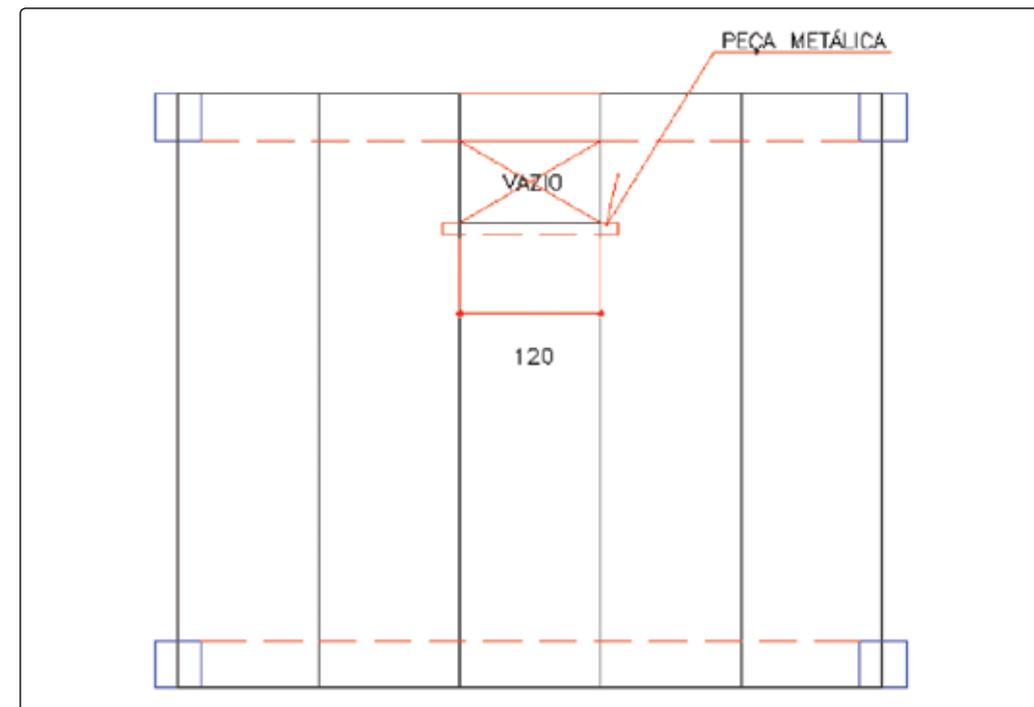


8.2 RECORTES, SHAFTS E PASSAGENS

As lajes alveolares podem ser recortadas para contornar os pilares ou outras interferências.

Podem ser realizados furos com extratora, após a concretagem da capa, onde é realizada uma verificação de projeto pelo departamento técnico da Munte.

Os shaft's podem ser criados com aberturas de uma laje alveolar (largura de 120 cm) por qualquer comprimento, onde é introduzida peça metálica de suporte.



As lajes alveolares apresentam apenas armaduras protendidas, e tem a capacidade resistente variando em função da armação, vão e sobrecarga.

Seguem as tabelas de máxima sobrecarga para as máximas taxas de armadura.

Salientamos que para maiores sobrecargas que o especificado, deve ser realizada consulta ao departamento técnico da Munte.

Vão (m)	Laje de 20 cm + capa de 5 cm Sobrecarga Máxima (kgf/m ²)	Laje de 26,5 cm + capa de 5 cm Sobrecarga máxima (kgf/m ²)
3,00	3011	
3,50	2527	
4,00	2164	
4,50	1882	
5,00	1656	2623
5,50	1472	2343
6,00	1318	2109
6,50	1187	1911
7,00	1076	1741
7,50	979	1594
8,00	894	1465
8,50	756	1352
9,00	628	1251
9,50	520	1160
10,00	428	1079
10,50	349	974
11,00	280	844
11,50	161	731
12,00		631
12,50		543
13,00		465
13,50		395
14,00		333
14,50		206

Pelo fato das diferentes idades de fabricação das lajes alveolares, ocorrem pequenas variações de contra-flechas entre as lajes montadas. O departamento de obras da Munte realiza a operação denominada equalização das lajes, por meio do processo por torniquete, em que as lajes são niveladas, mantendo o pano contínuo sem desalinhamentos.

Juntamente com esta operação, é realizada a concretagem parcial dos nichos entre as lajes, fato que garante o nivelamento das lajes. Esta operação de concretagem, denominada chaveteamento das lajes é obrigatória, e mesmo que por especificação de projeto, não haja necessidade de realização da capa estrutural, o chaveteamento completo deve ser realizado para não haver comprometimento estrutural da edificação.

8.5 CAPA DE CONCRETO

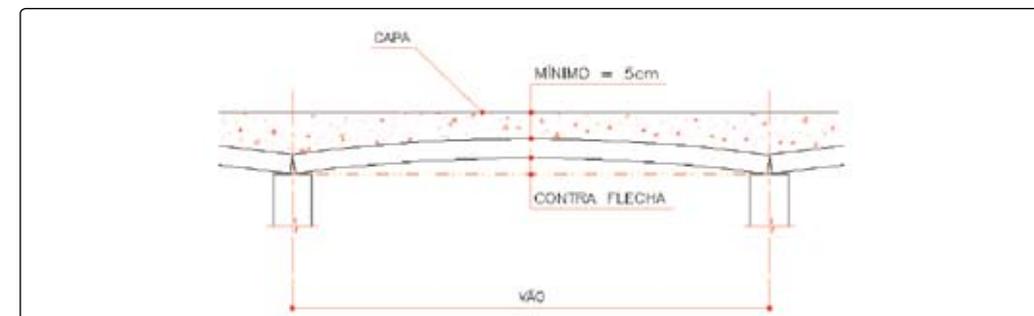
A capa de concreto, a ser realizada posteriormente a montagem das lajes é obrigatória para o funcionamento estrutural previsto da edificação.

A capa de concreto tem a função de realizar o nó entre as vigas e as lajes, garantindo a eficiência das ligações previstas em projeto.

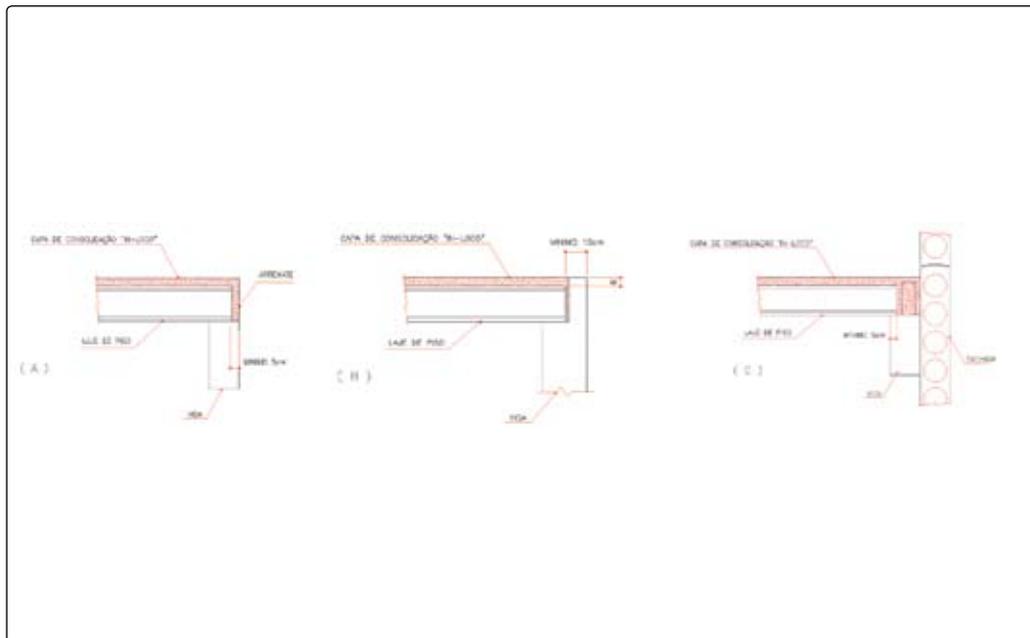
O departamento de projetos da Munte deve fornecer projeto com a armação a ser realizada na capa estrutural, onde está inclusa a armação dos nós das vigas.

A concretagem da capa deve ser realizada com a supervisão do engenheiro de obras da Munte, que poderá orientar os detalhes especificados em projeto.

É fornecido pela Munte, tampas de plástico que são introduzidas nos alvéolos eliminando a necessidade de tamponamento dos mesmos para a concretagem da capa estrutural.



Existem várias maneiras de realizar o arremate da laje alveolar. Seguem abaixo alguns detalhes usuais:



8.7 ALVENARIA NA BORDA DA LAJE

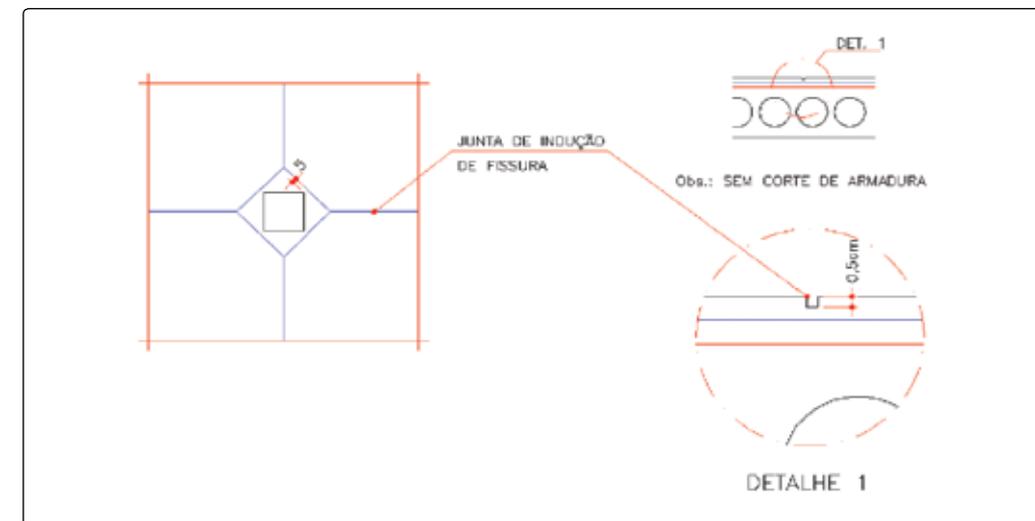
Apesar da capa estrutural realizada sobre a laje alveolar, em sua borda somente é possível o apoio de alvenaria peitoril (1 m de altura), ou carga equivalente. Para maiores cargas, são realizados reforços na capa estrutural, ou previstas vigas de travamento longitudinais às lajes.

8.8 JUNTAS DE CONCRETAGENS

Usualmente as estruturas pré-fabricadas são projetadas para não terem juntas de dilatação. Caso sejam necessárias, as juntas de concretagens estão sempre especificadas em projeto, e devem ser seguidas na concretagem da capa estrutural.

Todavia, para qualquer capa de concreto a ser executada, é necessária a realização de juntas de indução de fissuras. Estas juntas, que são estudadas caso a caso, principalmente pelo consultor de pisos (nas situações de piso acabado), evitam as fissuras de

retração do concreto. Principalmente junto aos pilares, devem ser executadas juntas no formato diamante.



8.9 LAJES EM BALANÇO

Por serem lajes protendidas industrializadas, as lajes alveolares quando utilizadas em balanço, devem ter uma armação complementar adicional, fato que minimiza o caráter industrializado do processo, devendo ser evitado.

Os balanços economicamente favoráveis apresentam até 120 cm de comprimento, onde não é necessário nenhum escoramento para as lajes.

Usualmente as estruturas pré-fabricadas são projetadas para não terem juntas de dilatação.

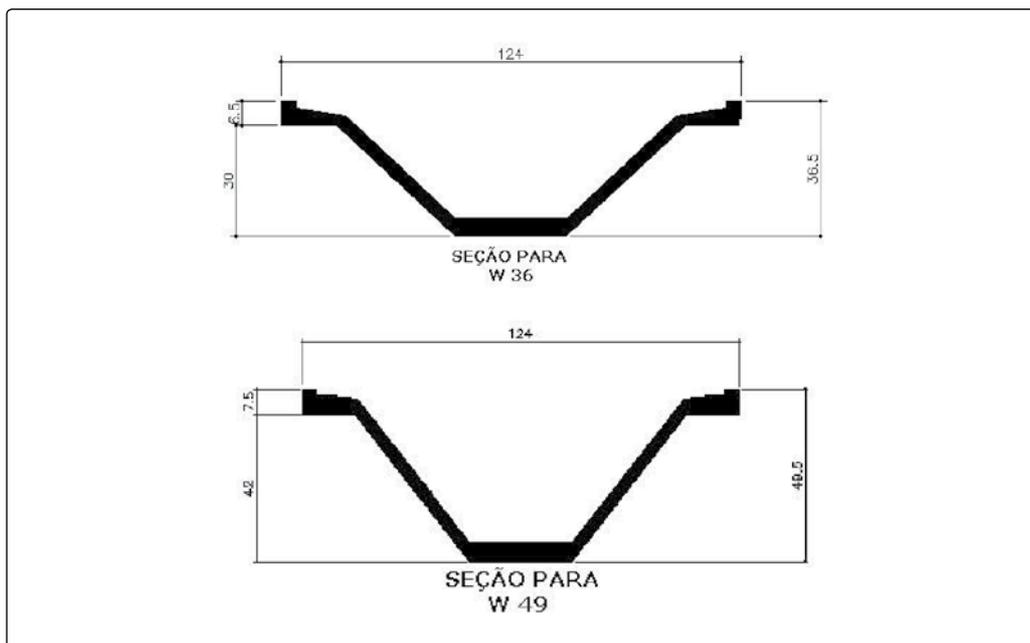
O sistema de cobertura Munte é composto por telhas protendidas de concreto (TPC), no formato "W", solidarizadas por solda, formando um pano rígido.

Existem três perfis diferentes para a telha de concreto, aplicados de acordo com o vão a ser coberto:

Tipo de telha	Altura	Largura	Vão possível
TPC 36	36,5cm	1,25m	$7,5 \leq L \leq 20m$
TPC49	49,5cm	1,25m	$20 \leq L \leq 25m$
TPC 60	60,0cm	1,25m	$25 \leq L \leq 30m$

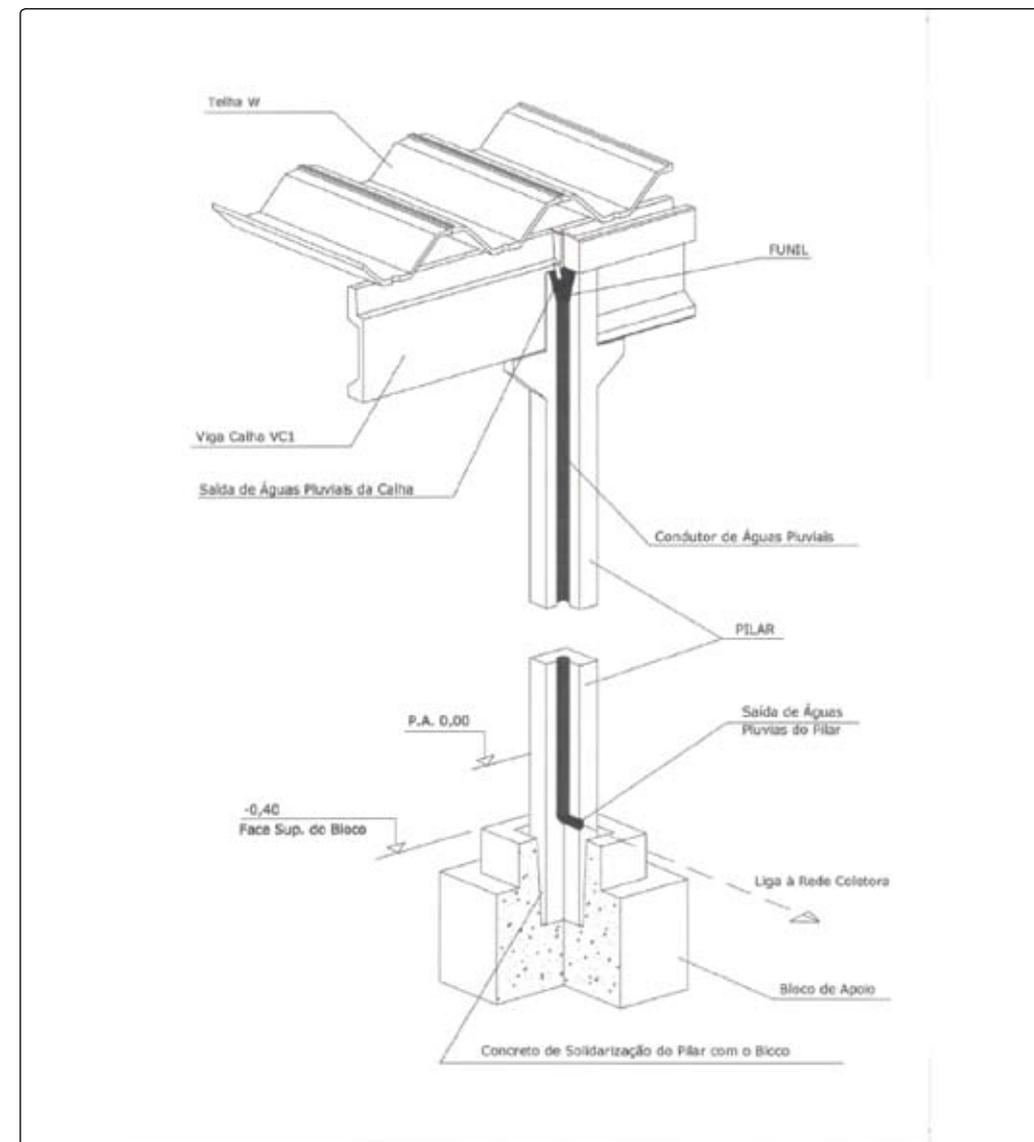
A largura das telhas é padronizada em 1,25 m nos três perfis. Para a modulação da cobertura deve ser considerado que as telhas não possuem juntas e não podem ser cortadas no sentido longitudinal, trabalhando-se portanto, com dimensões múltiplas de 1,25m no eixo transversal às telhas. No sentido longitudinal, as peças têm tamanho variável de acordo com a tabela acima.

9.1 PERFIS

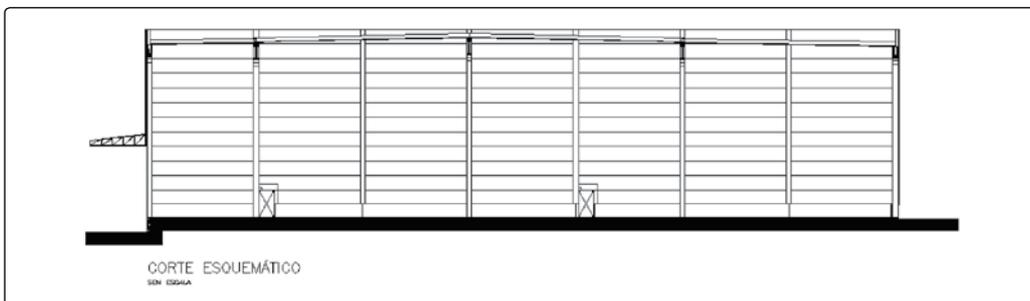


9.2 ÁGUAS PLUVIAIS

No sistema de cobertura Munte, a condução das águas pluviais é feita diretamente das telhas para as vigas-calha, e destas para os condutores embutidos no interior dos pilares. Desta forma, após a montagem da estrutura, é preciso realizar somente a rede de captação enterrada, a partir das saídas existentes nos pés dos pilares. Não há portanto, calhas nem conexões em aço galvanizado, sendo que toda a captação e condução são feitas pelas próprias peças de concreto.



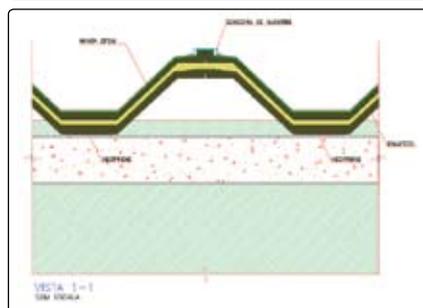
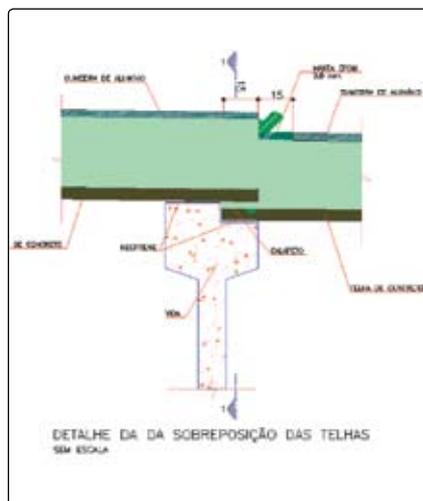
A Cobertura Contínua Munte é um sistema construtivo que prevê a sobreposição das telhas de concreto em seu eixo longitudinal, de forma que estas fiquem inclinadas, conduzindo as águas pluviais a uma viga-calha na extremidade do edifício. Este sistema elimina a captação de águas pluviais no interior do edifício, diminuindo o custo de rede enterrada e eliminando as caixas de inspeção na área operacional do galpão, o que exclui a possibilidade de transbordamentos e vazamentos.



A Cobertura Contínua Munte alia a durabilidade e a baixa manutenção das telhas de concreto pretendido à continuidade que só existia nas telhas metálicas.

O ponto-chave da Cobertura Contínua Munte é a forma com que são sobrepostas as telhas. A Munte desenvolveu uma viga de apoio em dois níveis (degrau), onde as telhas sobrepostas apóiam-se diretamente sobre a viga, sem transferir esforços entre si.

A estanqueidade da sobreposição é garantida com o emprego de vedação dupla – entre as telhas há uma junta de borracha esponjosa desenvolvida com exclusividade (tipo Jeene) e sobre as telhas há uma manta em EPDM que garante a vedação mesmo com a movimentação das peças ocasionada pela variação térmica.



Detalhes da junta esponjosa desenvolvida especialmente e da manta de EPDM sobre as telhas.

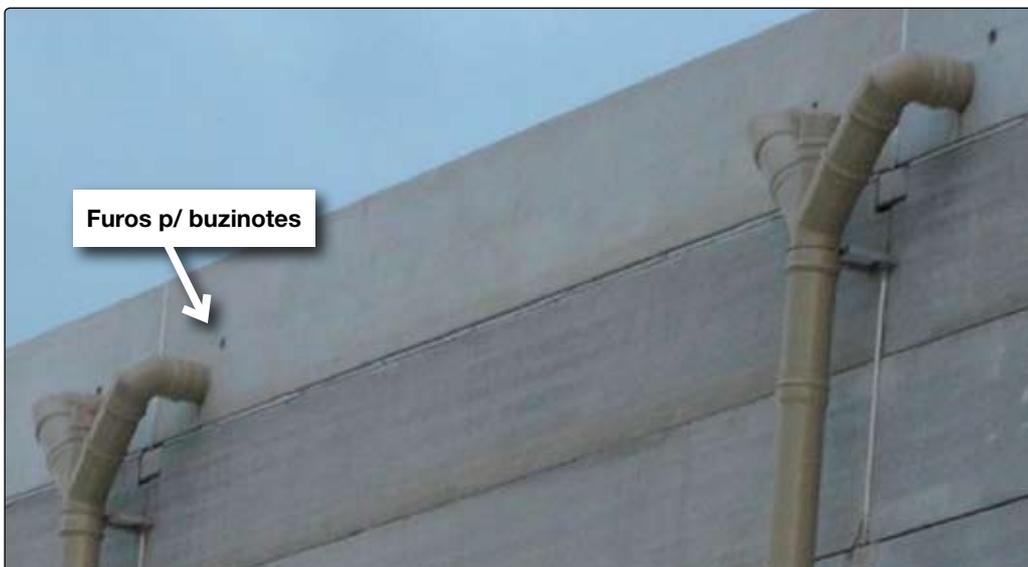
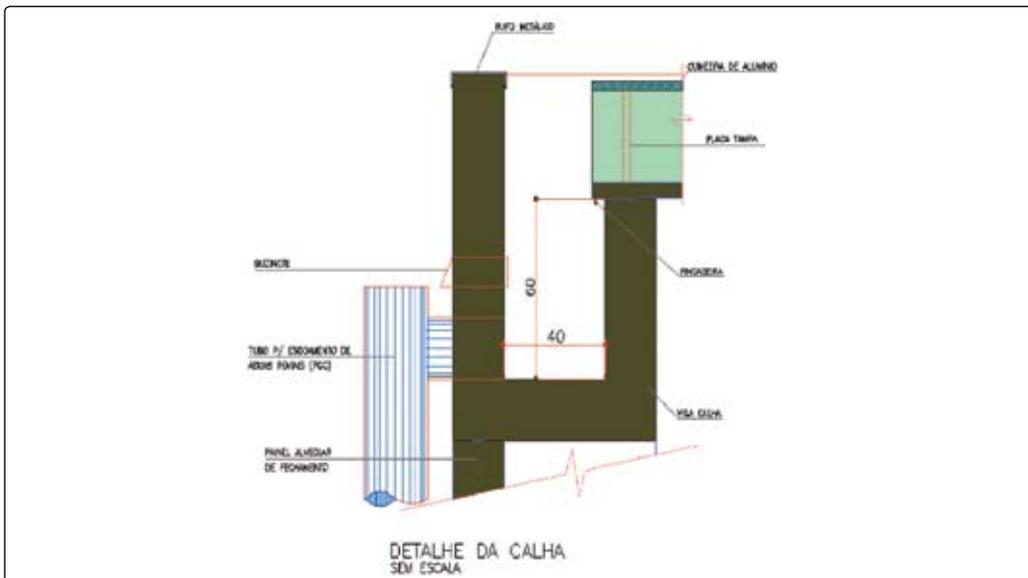


Protótipo – observe o degrau no topo da viga e a junta esponjosa entre as telhas.



O sistema também faz uso das cumeeiras longitudinais em alumínio, solução já consagrada nas obras da Munte, apresentada adiante.

A viga-calha existente na extremidade do edifício pode ter diferentes formatos e acabamentos, e as descidas de água pluvial podem ser internas aos pilares ou externas a estes, dependendo da área de contribuição da cobertura. Podem ainda ser previstos buzinos nas vigas-calha como elementos de proteção em caso de entupimento e transbordamento.



O desenvolvimento da Cobertura Sobreposta Munte obedeceu a rigorosos critérios técnicos, com a construção de protótipos onde foram desenvolvidos diversos ensaios para avaliação, seja dos materiais empregados, seja do sistema como um todo. Houve a participação em todo o processo dos fornecedores dos materiais empregados, o que agregou tecnologia e confiabilidade à solução. Embora inovadora, a Cobertura

Sobreposta Munte já foi utilizada em mais de 100.000 m² de obras, revelando elevado desempenho e atendendo a todos os aspectos previstos em projeto.

9.4 VEDAÇÃO ENTRE TELHAS

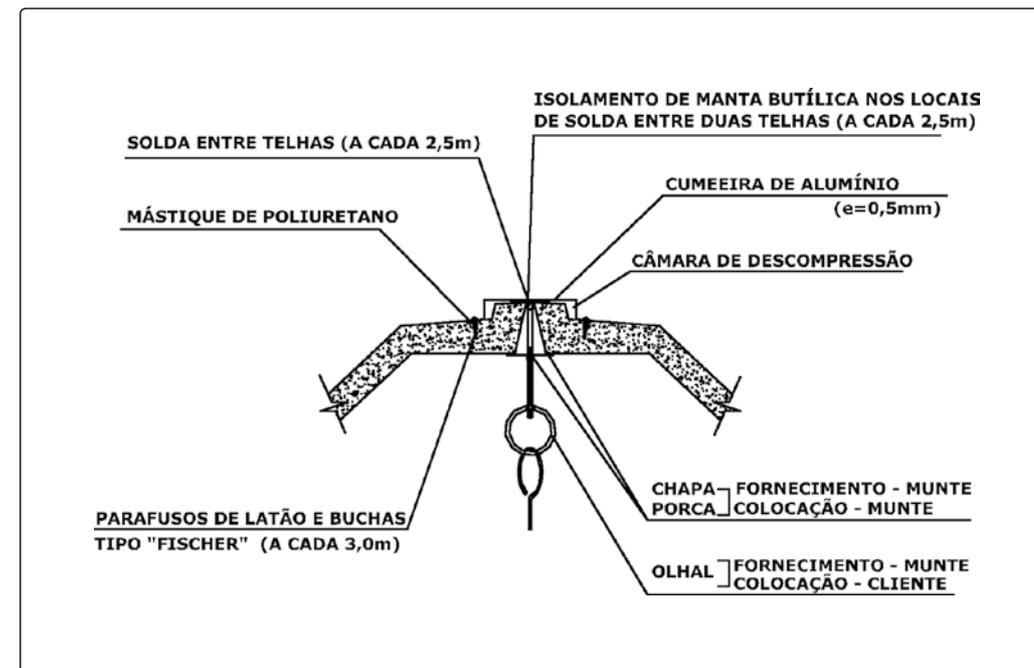
A vedação entre as telhas de concreto é feita por meio de uma cumeeira de alumínio aparafusada às telhas, vedada com mastique de poliuretano. Este sistema absorve perfeitamente as variações dimensionais ocasionadas pela oscilação térmica, sendo resistente também à oxidação.

9.5 ACESSÓRIOS

9.5.1 PENDURASIS

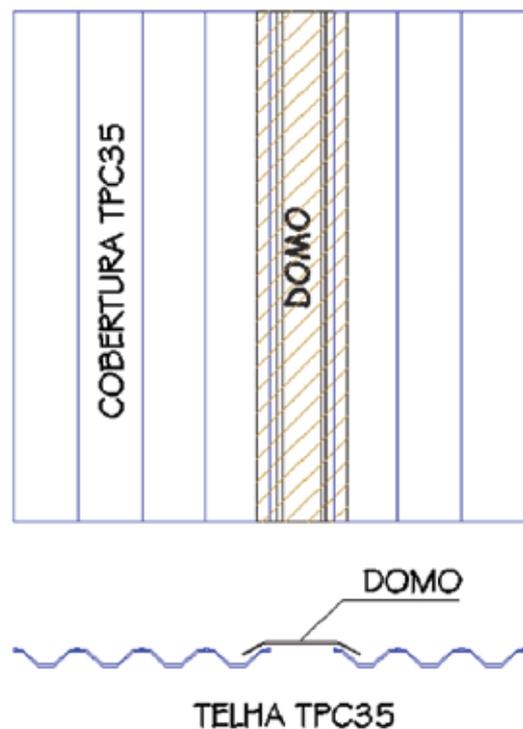
A quantidade cada vez maior de instalações necessárias ao funcionamento das edificações faz com que os pendurais sejam elementos indispensáveis num sistema de cobertura. O sistema Munte prevê a fixação de pendurais em malhas de 2,50 X 1,25m ou 1,25 X 1,25m, respeitando o limite de sobrecarga total da cobertura, que é de 50 Kgf/m².

Os pendurais podem sustentar eletrocalhas, forros, dutos de A.C, sinalização, luminárias, redes de sprinklers, etc.



O sistema de cobertura Munte permite a colocação de Domos em fibra de vidro para iluminação e exaustão. Esses domos podem ser translúcidos – para a área fabril, e opacos – sobre mezaninos e área administrativa.

A fixação dos Domos é feita por meio de parafusos, de modo semelhante à fixação da cumeeira de alumínio. A experiência tem mostrado que para se ter uma iluminação adequada, sem prejudicar o conforto térmico, deve-se reservar 12,5% da área de cobertura para a instalação dos Domos.



Elaboração
Departamento de Marketing

Revisão
Departamento Técnico

Dúvidas e Sugestões
marketing@munte.com.br
(11) 4143-8000
www.munte.com.br

ANEXO B

MANUAL DE MONTAGEM DE PRÉ-MOLDADOS
ABCIC/NETPre

Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/67734594-Manual-de-montagem-de-pre-moldados-abcic-netpre.html>>

Accesso em: 07/11/2023

MANUAL DE MONTAGEM DE PRÉ-MOLDADOS ABCIC/NETPre

OBJETIVO:

O presente manual foi desenvolvido com o intuito de descrever um conjunto satisfatório de procedimentos gerais para a operação de montagem de concreto pré-moldado. Procedimentos estes, que quando efetuados com qualidade, são essenciais para garantir uma boa montagem. Se a montagem não for executada corretamente isso acarretará além de um baixo desempenho estrutural, uma aparência ruim as estruturas mesmo que o concreto pré-moldado tenha sido fabricado com um bom nível de qualidade.

PLANEJAMENTO DE MONTAGEM:

Planejar a montagem de uma obra pré-fabricada é uma atividade essencial e sempre que possível deve anteceder a própria elaboração do projeto, dizemos assim que se deve construir o trabalho em sua mente, tentando prever o máximo possível de fatores que poderão afetar a montagem quando esta for iniciada, portanto a otimização sempre deve ser priorizada.

A qualificação dos profissionais envolvidos na montagem, considerando principalmente a experiência, é pré-requisito para o planejamento.

O planejamento é antes de tudo uma ação que visa prevenir situações que possam afetar: a segurança dos envolvidos, a integridade da estrutura e o cronograma proposto.

Fatores na serem considerados no planejamento:

a) Determinação de acessos

Devem ser consideradas as condições de acesso tanto dos veículos que transportam as peças quanto dos equipamentos que serão utilizados durante a montagem. A seqüência de montagem dependerá dos portões de entrada e do lay-out a ser estabelecido no canteiro. Usualmente as condições de acesso e obrigações são de responsabilidade do contratante e previstas em contrato.

Acessos adequados (firmes, nivelados e adequadamente compactados) são fundamentais, pois podem interferir na integridade dos elementos pré-fabricados podendo aparecer fissuras decorrentes de torção, deslocamentos gerando carregamentos não previstos em projeto. Além disso, podem ocorrer danos aos veículos de transporte e ineficiência na movimentação de guindastes e a falta de segurança se os acessos não forem adequados.

b) Identificação de obstáculos e riscos potenciais

Deve-se inspecionar o local da obra visando identificar obstáculos que possam interferir na mobilidade dos equipamentos de montagem. Esses obstáculos podem ser: a rede de energia elétrica, galhos de árvores, construções na divisa que requerem cuidados especiais, edificações muito antigas vizinhas ao local da obra. Há também a possibilidade de cuidados especiais

serem requeridos se o canteiro estiver próximo a aeroportos, hospitais, etc.

c) Avaliação de limitações pelo tamanho e peso dos elementos

Segurança e eficiência de montagem são os principais aspectos a serem levados em consideração.

A capacidade dos equipamentos em relação a estes parâmetros será determinante. Essa é uma das principais razões pelas quais as condições de logística devem estar presentes desde a fase de projeto.

É de extrema importância que as informações a respeito dos elementos estruturais estejam disponíveis no canteiro de obra.

d) Definição dos equipamentos

Para definir os equipamentos a serem utilizados são imprescindíveis os aspectos estabelecidos em a), b) e c). A partir destas considerações devem ser definidos os prováveis locais onde os equipamentos serão mobilizados. Com base nesta locação, peso e tamanho das peças poderá ser proposto o equipamento. Considerações específicas sobre o equipamento proposto definirão o raio de trabalho, centro de gravidade e ângulos a serem adotados.

Dispositivos auxiliares para içamento, cabos de aço, garras, etc.

e) Elaboração de um Plano de Montagem

Neste plano devem ser considerados os aspectos contratuais incluindo requisitos específicos do cliente quando aplicáveis. Será necessária a contratação de equipe(s) de

montagem qualificada(s), também deverão ser definidas as responsabilidades e autoridades, inclusive na interface entre o contratante e demais envolvidos.

O cronograma, analisado criticamente, incluindo suas interfaces com produção e demais atividades que possam estar ocorrendo simultaneamente, deverá ser considerado para o estabelecimento da seqüência de montagem. Nesta seqüência deverão estar previstos procedimentos a fim de manter a estrutura estável e limitar a inserção de cargas excêntricas. O responsável pela elaboração do plano deverá também avaliar como e quando as ligações serão completadas, condições climáticas e acessos à execução das mesmas. A relação de peças estabelecidas conforme esta seqüência deverá estar disponível junto à produção e expedição do fornecedor dos elementos pré-fabricados.

A quantidade de cargas diárias deve estar compatível com o cronograma e com as frentes de trabalho e/ou áreas de estocagem a fim de evitar atrasos de cronograma e congestionamento no canteiro.

Verificar o projeto, detalhamento completo e compreensão. Dirimir possíveis dúvidas junto ao projetista.

Verificar as ligações previstas provisórias e definitivas. Avaliar o grau de complexidade das mesmas e a disponibilidade e prazo em que devem estar disponíveis materiais e equipamentos para sua execução.

Planejar o grouteamento e as concretagens no local quando aplicáveis.

Elaborar lista de inspeção de recebimento das peças no canteiro..

Definir local para estocagem de peças no canteiro.

f) Armazenagem de peças no canteiro

Para o armazenamento, devem ser utilizados apoios para regularizar o solo e/ou para manter um afastamento da peça com o solo. Ex: pontalotes, pontas de estaca, etc.

No caso de peças empilhadas deve-se intercalar apoios para evitar o contato superficial de duas peças de concreto superpostos. Deve haver, portanto, uma padronização da armazenagem das peças em obras quando não são passíveis descarregar e montar em seguida.

g) Considerações a respeito de Segurança

Verificar no projeto de montagem aspectos relevantes com relação a estabilidade da estrutura, ligações provisórias e outras orientações ou procedimentos indicados pelo projetista da estrutura.

Verificar o PCMAT e /ou as normas regulamentares aplicáveis NR - 18; NR-7.

Considerar as interfaces da seqüência de montagem estabelecida com segurança.

Considerar o dimensionamento dos equipamentos conforme c), e plano de manutenção preventiva e corretiva.

h) Verificação da Locação e/ou condições de estruturas “in loco” que possam em sua interface impactar na

montagem subsequente dos elementos pré-fabricados

Verificar a locação das fundações independente de terem sido executadas pela própria empresa que está fornecendo os elementos da estrutura.

h.1) Cravação das estacas e execução dos blocos pela própria empresa fornecedora dos elementos da estrutura

- Demarcação dos pontos de locação das fundações, pelo topógrafo da obra;
- Conferência dos pontos de locação, com o auxílio dos projetos;
- Conferir a locação da estaca ou tubulão, através do Projeto de Locação de Estacas, aceitando-se uma tolerância de ± 50 mm;
- Conferir a locação dos blocos sobre as fundações, através do Projeto de Locação de Blocos, considerando o nível da obra identificado e aprovado, aceitando-se uma tolerância de ± 50 mm;
- Verificar o nível do piso, nível do colarinho e nível do assentamento do pilar.
- Marcar no bloco os eixos ortogonais;
- Liberar os serviços de montagem após a conferência da locação de todas as fundações.
- O sistema de cravação deve ser dimensionado com intuito de levar a estaca até a profundidade prevista para a sua capacidade de carga, sem que haja danificação desta.
- Com esta finalidade, o uso de martelos mais pesados, com menor altura de queda, é mais eficiente do que martelos mais leves, com grande altura de

queda, mantido o mesmo conjunto de amortecedores.

- O sistema de cravação deve estar sempre bem ajustado e com todos os elementos constituintes, tanto estruturais quanto acessórios, em perfeito estado, a fim de evitar quaisquer danos às estacas durante a cravação.



Após cravada a estaca, deve-se preparar a cabeça da mesma de acordo com as condições de projeto e execução:

- Demolição do topo: demoli-se o topo quando ela apresenta algum dano ou está acima da cota de arrasamento;
- Demolição até traspasse da armadura: quando a cabeça está abaixo da cota de arrasamento, demoli-se a mesma para

recompor a armadura até a cota desejada;

- Armadura no bloco: quando a estaca possui armadura com função resistente pós cravamento, deve-se possuir um certo comprimento para a penetração no bloco, então demoli-se a cabeça da estaca para adequar esta condição.

h.2) Cravação das estacas e execução dos blocos por terceiros

Proceder a conferência dos blocos considerando o disposto em 5.7.1.

Considerar alterações quando da adoção de tubulões ou sapatas.

i) Obras mistas

Dependendo do projeto da obra em questão os elementos pré-fabricados poderão estar sendo montados sobre elementos estruturais já moldados no local ou estruturas metálicas. É recomendável a verificação da estrutura existente anterior a montagem, afim de evitar que possíveis desnivelamentos, desaprumos e alinhamentos afetem a montagem subsequente.

j) Seqüência de Montagem

A seqüência de montagem é provavelmente um dos mais importantes fatores que influenciam numa correta montagem de pré-fabricados. Ela é controlada por diversos fatores. Os mais importantes são a locação do guindaste na obra, as formas de construção e a localização das paredes para estabilidade.

A seqüência de montagem deve ser considerada ainda, quando o tamanho do guindaste for escolhido. Para que haja uma maior economia é recomendável que o guindaste seja locado no lugar onde o maior número

de elementos serão suspensos e colocados, antes que o guindaste precise ser novamente movimentado.

1) Descarregamento

Todos os elementos pré-moldados devem ser manipulados em posições que os deixem firmes, isso poderá ser feito levando-se em consideração o tamanho e o desenho das peças. Para esse procedimento ser feito corretamente um esquema com a localização e o desenho de montagem deverão estar presentes na obra. Elementos que possuem tamanhos irregulares deverão ser carregados e içados em pontos claramente especificados, anteriormente. Os protendidos devem sempre ser mantidos em posição perpendicular com função de apoio e içados e apoiados em locais próximos as suas extremidades a não ser que os desenhos esquemáticos disserem o contrário.



Antes de descarregar a peça do veículo de transporte, todos os cintos, laços, alças, e proteção nos cantos dos elementos devem ser cuidadosamente removidos. Laços, alças e tiras não devem ser removidos a menos que a estabilidade da peça esteja assegurada. Se cintos forem utilizados para o descarregamento, materiais de proteção deverão ser utilizados onde houver contato destes com as peças, para minimizar danos.

Para que o descarregamento seja seguro, o caminhão e o caminho por onde este vai transitar, deverão estar firmes, ou seja, nivelados.

CONTROLE DE QUALIDADE:

A análise e inspeção da peça concretada é de suma importância, pois é quando se verifica pela última vez se a peça produzida encontra-se dentro dos procedimentos determinados. A inspeção deve ser realizada logo após a desforma, permitindo que os defeitos existentes tenham suas causas detectadas e a produção possa ser comunicada rapidamente, evitando a repetição dos erros.

Os principais pontos que devem ser inspecionados são: as dimensões geométricas, qualidade da fôrma, vibração do concreto, efeitos da protensão sobre a peça (contra-flechas, fissuras e escorregamento dos cabos) e fissuras ou outros danos ocorridos após a concretagem.

A liberação por parte do controle de qualidade deve estar identificada por um carimbo ou outro tipo de identificação visível na peça, para não ocorrer erros durante o despacho.

Um programa de controle de qualidade ajudará o montador a assegurar que os elementos pré-fabricados serão seguramente colocados, em seus respectivos lugares, de acordo com o projeto e ainda que esses elementos obedecem as especificações estabelecidas na indústria.

O aprimoramento da tecnologia dos elementos pré-fabricados de concreto trouxe inúmeras vantagens para a construção civil, entre elas rapidez, economia e limpeza na obra.

Dessa forma, para garantir o crescimento ordenado, confiável, com qualidade e segurança dos produtos pré-fabricados, a ABCIC e a ACBP, em

parceria com o Centro de Tecnologia de Edificações (CTE) criaram, em 2004, o Selo de Excelência ABCIC (ABCIC, 2006b).

O Selo é uma maneira de garantir que haverá qualidade nas peças pré-fabricadas produzidas por uma determinada empresa, que receberá o certificado em um dos três níveis de certificação (Níveis I, II, e III) que o selo possui, de acordo com a avaliação realizada pelo CTE. Sendo assim, o selo tem a função de nivelar os produtores, ocasionando uma melhor estruturação do setor, resultando em uma maior utilização do sistema pré-fabricado de concreto. Além disso, o selo responde às necessidades do consumidor, atestando que os detentores do selo estejam adequados em diversos requisitos pré-definidos no conteúdo da avaliação para a obtenção do mesmo. (GOBBO, 2007)

Para conseguir o selo, as empresas são analisadas pelo desempenho técnico e empresarial, que é medido por indicadores pré-estabelecidos. O setor de pré-fabricados está expandindo e o selo garante um crescimento ordenado, confiável, com qualidade e segurança, não só para o mercado, mas para a própria empresa adepta ao programa e seus funcionários. (GOBBO, 2007)

Sendo assim, somente receberão o selo as empresas que demonstrarem possuir competência efetiva para projetar, produzir, transportar, montar e entregar ao cliente construções em conformidade com as normas técnicas, utilizando as melhores práticas de gestão empresarial relacionadas à qualidade, segurança e respeito ao meio-ambiente. (GOBBO, 2007)

Uma inspeção dos elementos pré-moldados entregues na obra, deve ser feita ainda no caminhão antes de descarregá-los. Isso permitirá uma melhor visualização de possíveis

defeitos. Os seguintes itens devem ser verificados antes do descarregamento:

- Identificação: Checar se a quantidade de peças é condizente com o escrito na Nota Fiscal;
- Verificar a existência do selo de qualidade ABCIC;
- Fissuras: Verificar a existência de fissuras em toda superfície da peça;
- Flecha: Produtos protendidos possuem uma certa flecha, facilmente notado. Verificar possíveis flechas negativas e ou anormais. Se houver flecha negativa o engenheiro deverá ser imediatamente avisado;
- Lascas: Atentar para possível existência de elementos quebrados que podem ocorrer no momento do carregamento;
- Riscos: Inspeccionar a ocorrência de riscos nas estruturas arquitetônicas;
- Etiqueta vermelha: elementos que possuem esse tipo de etiqueta requerem reparos que ainda não foram executados;
- Içamento com alças e inserção: Assegurar-se que o plano onde será efetuado o içamento está em boas condições.



A montagem da estrutura deve ser conduzida de modo a obedecer as tolerâncias especificadas para a fundação e superestrutura. Como no

momento da montagem toda a estrutura já estará pronta, deve-se tomar cuidado na verificação dos blocos de apoio:

- Tolerância em planta para a posição final de estacas ou tubulões: $\pm 50\text{mm}$;

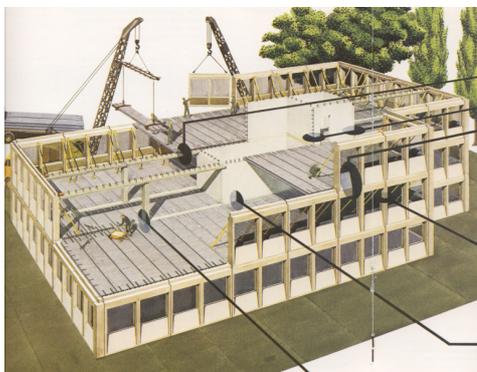
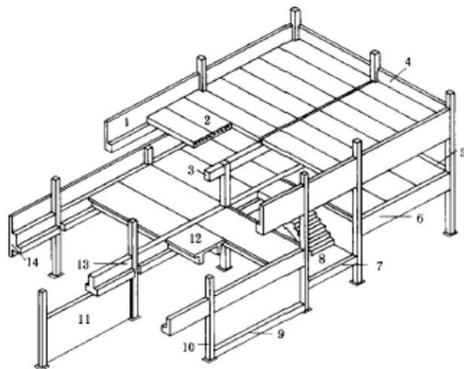
- Tolerância em planta para o posicionamento dos blocos de fundação: $\pm 30\text{mm}$;

- Tolerância do nível do fundo dos blocos, para o apoio dos pilares: $\pm 5\text{mm}$;

- Tolerância da face superior do bloco de apoio, nos casos onde houver vigas-baldrame pré-fabricadas: $\pm 5\text{mm}$.

Os equipamentos devem ter capacidade adequada ao tipo de peça a ser içada e deve ser feita uma programação logística da ordem de montagem de peças.

MONTAGEM DOS ELEMENTOS



Considerando que o tipo da estrutura a ser montada já tenha sido levado em consideração: integralmente

pré-fabricada, mista com estrutura moldada in-loco, mista com estrutura metálica, somente lajes alveolares ou somente painéis de fechamento. Que todos os elementos carregados na fábrica tenham sido inspecionados durante o processo de produção e liberados para o carregamento, a formação de cargas tenha sido adequada e as peças inspecionadas no momento da descarga afim de verificar se a integridade foi mantida durante o transporte passaremos a discorrer sobre a montagem de cada elemento que possa compor uma determinada estrutura. Evidentemente que a cada item devem ser acrescidas as peculiaridades de cada projeto.



Montagem de Pilares

A montagem dos pilares consiste na sua colocação no bloco de fundação, de modo que ele fique no prumo, alinhado e convenientemente chumbado.



A conferência dos níveis das bases dos pilares deve ser executada antes da colocação dos mesmos, com utilização de aparelho de nível ou mangueira d'água e de acordo com os dados do Esquema de Montagem. Caso necessário, o ajuste do nível deve ser executado com a utilização de argamassa de cimento.



O quadro de montagem dos pilares é executado no fundo dos blocos nivelados, e têm como finalidade, facilitar a montagem, permitindo que a tolerância de posicionamento, prumo e rotação, sejam mais facilmente respeitadas. O quadro de montagem é feito da seguinte maneira:

- É feito com um quadro pré-moldado em madeira, com dimensões 1 cm maiores do que a seção do pilar e com 5cm de altura;
- O posicionamento do quadro no fundo do bloco é feito da seguinte maneira:
 - Faz-se a forma em madeira nas dimensões do pilar;
 - Em cada lateral do quadro é colocado um prego para que se possa identificar seus eixos;
 - Nos ganchos fixados no colarinho do bloco, colocam-se pregos para identificar os eixos do pilar;
 - Arames são então esticados nos eixos e com auxílio de um prumo de centro o quadrinho no fundo do bloco é locado;
- Estando posicionado o quadro, chumbá-lo com argamassa plástica, traço 1:2. A argamassa só será aplicada no espaço vazio entre o quadro e as paredes do bloco.

Para a montagem correta dos pilares é necessário que se faça uma série de verificações:

- Verificar a cota de assentamento e eixos ortogonais do pilar;
- Limpar o cálice, caso a ligação pilar-fundação seja por meio de cálice;
- Verificar a coincidência da furação da chapa soldada nas armaduras principais do pilar

com os chumbadores concretados no bloco de fundação se a ligação pilar - fundação for por meio de chapa de base;

- Passar o cabo de içamento nas manilhas das alças dos pilares com inclinação maior ou igual a 45° e incluí-lo no moitão do guindaste, o içamento dos pilares pode ser executado por meio de:
 - alça disposta em seu topo;
 - do furo de levantamento, onde se localiza o pino de levantamento;
 - do tubo de águas pluviais no qual é passado o cabo de aço, a partir do funil em direção à saída de AP onde é colocado o pino de levantamento.

Quando nenhum desses procedimentos puder ser executado, o engenheiro de obra deverá estabelecer o melhor procedimento a ser seguido com certa antecedência, evitando assim possíveis improvisações na hora da montagem;

- O içamento dos pilares deverá ser feito de forma que sua base fique, no máximo, 30 a 40 cm do solo, para que a estabilidade do guindaste seja garantida;
- Se necessário, retirar a peça da carreta posicionando em local plano;
- Colocar prancha de Madeirit no solo para apoio do pé do pilar na fase de elevação e verticalização da peça;
- Posicionar o pilar no bloco de fundação com a previsão de escoramento provisório para auxílio no posicionamento e garantia até que a ligação definitiva seja efetuada. Poderá ser substituído o escoramento

por encunhamento (só com cunha);

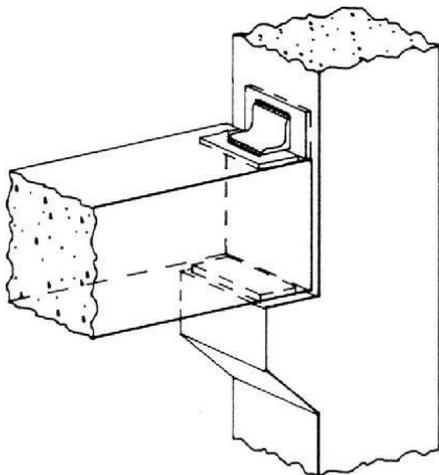
- Corrigir o prumo e executar fixação provisória do pilar;
- O pilar deve ser alinhado sempre pelo lado do acabamento da obra. Para tal, deve-se esticar uma linha entre os pilares de extremidade ou gabarito. Esta linha também servirá como referência para que o pilar não seja montado torcido;
- No caso de pilar central, o alinhamento é feito pelo eixo;
- O ajuste do prumo deve ser feito com cunhas ou macaco hidráulico equipado com os dispositivos apropriados, quando necessário;
- Na execução das ligações pilar-fundação por meio de cálice, colocar as cunhas de travamento e retirar os cabos. Lançar o concreto dentro do cálice do pilar até o nível inferior das cunhas e após um dia de cura, retirar as cunhas e concretar até atingir o topo do cálice;
- Assegurar o posicionamento e a ligação no cálice;
- Verificar o nível do consolo com relação a cota do piso acabado (0,0) e com relação aos pilares adjacentes, fazer uma marca, antes da montagem, situada em determinada distância do topo do pilar, para facilitar tal operação;
- O chumbamento dos pilares deverá ser feito com concreto plástico utilizando-se traços adequados de acordo com a distância entre a face do pilar e o bloco;
- O chumbamento do pilar só poderá ser autorizado pelo encarregado da obra;
- Deverão ser utilizados vibrador de imersão ou uma barra de aço durante a concretagem;

- Imediatamente após o chumbamento, verificar prumo e alinhamento.

Montagem de Vigas



As vigas são montadas sempre sobre aparelhos de apoio com base em neoprene nas duas extremidades, com especificação e dimensões definidas em projeto. Não é permitida a colocação de dois aparelhos de apoio sobrepostos. O aparelho de apoio deve estar rigorosamente centrado, tanto nos apoios das vigas quanto nos consolos dos pilares.



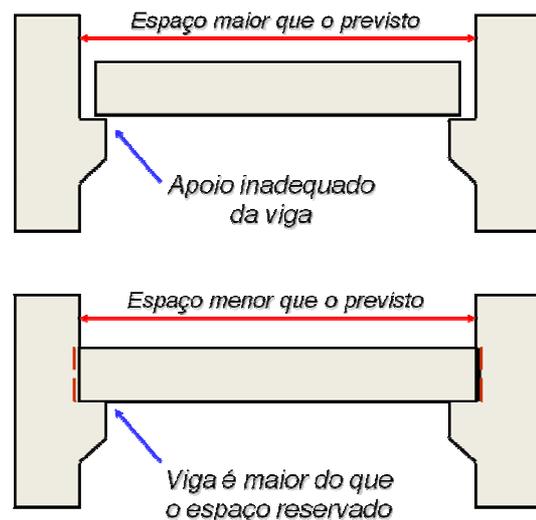
Os procedimentos a seguir, descrevem a correta montagem das vigas pré-moldadas:

- Verificar as condições de apoio quanto à limpeza e tipo de apoio, todos os apoios onde a viga será armazenada devem estar protegidos com neoprene;

- A viga deve ser posicionada de modo que as folgas estejam igualmente distribuídas nas extremidades;
- Passar o cabo de içamento nas manilhas das alças e incluí-lo no moitão do guindaste. O cabo do moitão deverá estar perpendicular ao eixo da peça;
- Verificar o correto posicionamento do aparelho de apoio;
- Posicionar a viga sobre os consolos;

Observação: Para vigas com excentricidade, executar escoramento provisório para auxílio no posicionamento e garantia de estabilidade até que a ligação definitiva esteja concluída;

- É terminantemente proibido reformar a viga, quando houver impossibilidade de montá-la, como também puxar o pilar com tifor, ou qualquer outro dispositivo. A solução deve ser discutida com o departamento de projetos;



- Após o posicionamento da viga deve-se verificar o prumo. Caso o apoio não esteja adequado,

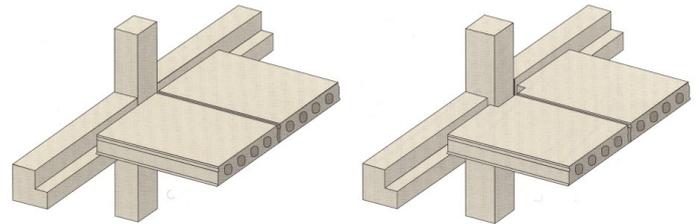
retirar o neoprene, consertar o apoio com argamassa, reposicionar o neoprene, então, recolocar a viga;

- Deve-se evitar o uso de alavancas para posicionar as peças depois de montadas. Isso danifica os cantos das peças, além de mover os neoprenes de sua posição correta;
- Para vigas com revestimento externo, ajuste da peça no posicionamento deverá ser feito pelo seu lado interno;
- Verificar condições de apoio, alinhamento, prumo e nivelamento da viga. As vigas devem estar aprumadas e alinhadas em relação aos pilares admitindo-se uma tolerância de ± 5 mm no prumo;
- As distâncias entre as faces laterais da viga e as faces do pilar devem ser distribuídas igualmente;
- Executar a ligação definitiva da peça. Caso sejam utilizados pinos, inserir o pino para travamento do conjunto e enchimento dos tubos com grout ou argamassa fluida. Caso a ligação seja soldada, executar a solda conforme indicado no projeto;
- Não utilizar aditivo tipo PVA ou acrílico, na argamassa de chumbamento;
- As vigas de ponte rolante deverão ser alinhadas conjuntamente, antes que todas sejam montadas e inicie-se sua soldagem, consolidação e chumbamento;
- As soldagens das esperas do pilar e da viga de ponte rolante deverão ser feitas com eletrodo mole ou rígido;
- Quando indicado, a soldagem deverá ser precedida de pré

aquecimento com controle de temperatura;

- Os nichos das esperas soldadas devem ser preenchidos com concreto de traço adequado;
- Cortar as alças das vigas antes da montagem das lajes e telhas.

Montagem de Lajes



- Checar as condições dos cabos de aço e das garras de içamento;



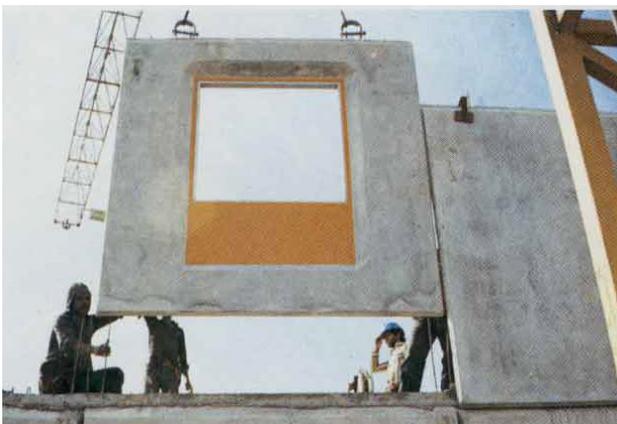
- Verificar as condições de apoio quanto a limpeza e tipo de apoio;
- Fixar corda para guia;
- Nivelar a superfície de apoio, aplicando argamassa seca industrializada com instrumento adequado, (exceto quando o apoio das lajes será em base de neoprene), conforme figura;
- Posicionar a peça de acordo com as especificações de projeto;
- Somente após posicionamento da peça, aliviar os cabos e proceder ao desengate do conjunto;

- Verificar as condições de apoio, prumo e nivelamento da peça, todas as lajes devem ser montadas levando em consideração os eixos de projeto admitindo-se uma tolerância de 10 mm;
- Executar fixação definitiva da peça e solidarizar toda a estrutura (pilares, vigas, lajes e painéis), as lajes devem ser equalizadas e posteriormente consolidadas em pelo menos dois pontos em seu sentido longitudinal.

Assim que a laje é montada deve-se fazer a equalização e logo em seguida o chaveteamento. Para edifícios de múltiplos pavimentos, deve-se solidarizar as ligações da laje com pilares e com vigas quando estiver montando o terceiro pavimento acima do pavimento considerado, minimizando possíveis danos causados à estrutura caso algum acidente ocorra durante a montagem.

Não é permitido qualquer sobrecarga não prevista em projeto no pavimento sem capeamento.

Montagem de Painéis



Painéis com função estrutural podem ser de concreto pré-fabricado ou protendido, sendo que esses elementos devem ter um acabamento

arquitetônico. Painéis com função estrutural devem ser manuseados com cuidado, evitando desse modo o aparecimento de manchas, rachaduras e lascas na superfície exposta. Enquanto o guindaste estiver içando o painel um cinto ajustável deve ser instalado. Para a montagem de painéis alguns itens já deverão estar certos, tais como:

- As vigas e os pilares onde os painéis serão apoiados deverão estar liberados para que a montagem possa se iniciar;
- O nível de apoio que indica o ponto de partida da montagem dos painéis deverá ser identificado, conforme projeto;
- Os chumbadores das peças devem estar desobstruídos, ou seja, livres de restos de argamassas, etc;
- Os equipamentos e materiais que serão utilizados na montagem devem estar disponíveis no local.

A montagem de painéis pode ser executada de duas maneiras:

Montagem de Painéis com Pino:

- Checar as condições dos cabos de aço e dos pinos de içamento;
- Condições de apoio quanto a limpeza e tipo de apoio devem ser verificadas;
- Fixar corda para guia;
- No processo de içamento deve-se verificar se os pinos estão corretamente posicionados nos painéis frisando que não devem forçar os furos (ângulo de saída do cabo de aço deve ter aproximadamente 45°);
- Verificar o aparelho de apoio para recebimento da peça;
- Posicionar a peça de acordo com as especificações de projeto;
- Somente após posicionamento da peça, aliviar os cabos e

- proceder ao desengate do conjunto;
- Verificar as condições de apoio, prumo e nivelamento da peça;
- Executar fixação definitiva da peça e solidarizar toda a estrutura (pilares, vigas, lajes e painéis);

Montagem de Painéis com Garra:

- Checar as condições das garras e dos cabos para içamento dos painéis;
- Descarregar os painéis do caminhão e colocá-los no chão. O empilhamento deve ser deslocado em 30 a 40 cm um do outro;
- Engatar as garras nas laterais do painel a 1/5 do comprimento da peça, e os cabos de aço para a segurança;
- Verificar as condições de apoio quanto a limpeza e tipo de apoio;
- Fixar corda para guia;
- Verificar o aparelho de apoio para recebimento da peça
- Posicionar a peça de acordo com as especificações de projeto;
- Somente após posicionamento da peça, aliviar os cabos e proceder ao desengate do conjunto;
- Verificar as condições de apoio, prumo e nivelamento da peça;
- Executar fixação definitiva da peça e solidarizar toda a estrutura (pilares, vigas, lajes e painéis);

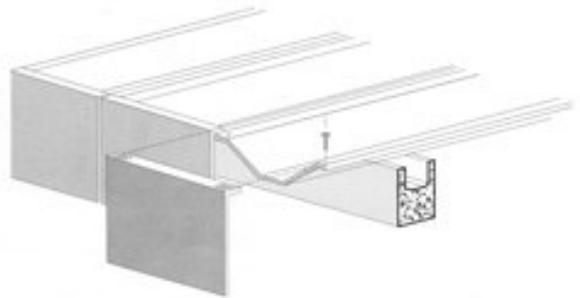
Após a montagem dos painéis devem ser verificados os seguintes itens:

- Todos os painéis estão alinhados em relação aos eixos de montagem;

- Os painéis devem se encaixar perfeitamente quando sobrepostos;
- Após o encaixe, estes devem ser fixados à estrutura por meio de chumbadores.



Montagem de Telhas



- Realizar o isolamento de todas as áreas sob as quais se realizará o trabalho de montagem;
- Verificar se as vigas estão liberadas para o início da montagem das telhas;
- Verificar se a telha encontra-se posicionada com seu lado correto de montagem, evitando assim o reposicionamento antes de sua montagem;
- Checar as condições dos acessórios para montagem;
- As telhas protendidas de concreto devem ser montadas com emprego de balancins apropriados;

- Verificar as condições de apoio quanto a limpeza e tipo de apoio, todos os apoios onde a viga será acomodada devem ser protegidos com neoprene;
- Fixar corda para guia;
- Antes do içamento, verificar as condições das alças;
- Caso exista fio rompido, deve-se colocar um cabo de segurança passando-o por debaixo da telha e fixando-o no balancim;
- Alternar a posição do aparelho de apoio nas abas da viga calha, quando a telha passar em balanço;
- Posicionar a peça de acordo com o projeto e aliviar os cabos;
- Desengatar o conjunto;
- Verificar as condições de apoio, alinhamento e nivelamento da peça, as telhas devem ser montadas levando os eixos do projeto em consideração admitindo-se tolerância de 10 mm;
- Executar a soldagem dos insertos, fazendo a ligação entre peças;
- Limpar a superfície das telhas para receber a impermeabilização cabível.

Vedação das telhas de cobertura de concreto:

Atividades preliminares:

Preparação da manta butílica

- ✓ Desenrolar a bobina de manta butílica sobre uma superfície plana;
- ✓ Aplicar cola sobre a manta desenrolada nas suas extremidades laterais ao

longo de todo o seu comprimento;

- ✓ Sobre esta cola dispor a fita de caldeação, preservando assim a integridade do plástico existente entre as camadas da fita;
- ✓ Enrolar o conjunto formado pela manta + fita de caldeação, tendo o plástico como elemento que separa as camadas.

Preparação do perfil de alumínio

- ✓ O perfil de alumínio deverá ser extrudado na geometria pré-definida para vedação das telhas.

Preparação dos rufos

- ✓ Os rufos devem ser dobrados nas medidas previamente determinadas pela posição relativa entre os painéis de fechamento e as vigas calhas e telhas.

Execução da vedação em telhas protendidas de concreto:

- ✓ Aplicar a cola nas extremidades da telha, para garantir a fixação da manta;
- ✓ Aplicar a manta butílica, deixando a face com as fitas de caldeação para baixo;
- ✓ Tendo cortado as alças e dado acabamento com argamassa traço 1:3, aplicar manta butílica nestes pontos;
- ✓ Posteriormente, dispor os pendurais entre telhas de concreto;
- ✓ O perfil de alumínio deverá ser utilizado ao longo das

- ✓ interfaces laterais entre as telhas. Para tal, o mástique deverá ser aplicado na face inferior do perfil para sua colagem nas telhas. A superposição de dois perfis consecutivos deverá ser de pelo menos 5 cm e sua vedação realizada com poliuretano. Utilizar a cada 6 cm parafusos de latão e buchas para fixação dos rufos e nas emendas por transpasse.
- ✓ O isolamento da manta butílica entre o ponto de solda e o rufo de alumínio poderá ser executado com argamassa.

Montagem de escadas:



Para uma correta execução de montagem de escadas deverão ser verificadas as seguintes condições anteriores:

- Verificar se as vigas e pilares encontram-se liberados;

- Verificar a disponibilidade do projeto com cotas de montagem dos patamares da escada;
- Os locais de apoio deverão estar regularizados com argamassa para que a escada seja posicionada corretamente;
- Verificar se todos os equipamentos e materiais que serão utilizados na montagem estão disponíveis no local.

Após a montagem as seguintes verificações deverão ser feitas:

- A escada deve ser alinhada em relação aos pilares e vigas admitindo-se uma tolerância de ± 5 mm;
- Os dois patamares da escada devem estar nivelados após a sua colocação;
- As cotas dos patamares devem estar idênticas às especificadas em projeto.

COORDENAÇÃO E ELABORAÇÃO DO TEXTO BASE: Eng.Íria Lícia Oliva Doniak (Texto base inicial apresentado em reunião do comitê de Pré-fabricados IBRACON para consenso dos membros com a participação do Prof. Zamarion Ferreira Diniz e Arquiteto Paulo Campos)

COMITÊ TÉCNICO: Eng. Alex (Diretor Técnico Munte), Eng. Gustavo Tiezzi (Diretor Protentit); Eng. Antonio Leomil Garcia (como Diretor Técnico ABCIC gestão 2006/2007 e Diretor Concreciti)

ORIENTAÇÃO NETPRE: Prof. Marcelo de Araújo Ferreira

EQUIPE DE APOIO NETPRE: Estagiários

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. **Manual de especificações de produtos e procedimentos ABEF / ABEF**. 3. ed. rev. e ampl. - São Paulo: Pini, 2004.

GOBBO, P. H. **O PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO SELO ABCIC PARA OS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Dezembro/2007, Relatório Final de pesquisa de iniciação científica.

Manual de montagem da empresa MUNTE

Manual de montagem da empresa CASSOL

Manual de montagem da empresa PROTENDIT

MELO, C. E. E. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados / Munte Construções Industrializadas**. São Paulo: Pini, 2004

PCI ERECTORS COMMITTEE. **ERECTORS' MANUAL: Standards and guidelines for the erection of precast concrete products**. Estados Unidos: 1999.