

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**CATEGORIA (3)**

**SISTEMA DE FÔRMAS TREPANTES PARA PAREDES DO POÇO DE ACESSO**  
**PRINCIPAL DA FUTURA ESTAÇÃO VILA FORMOSA**

**INTRODUÇÃO**

Abordaremos, nessa etapa introdutória, a apresentação da obra da futura Estação Vila Formosa, bem como, a parte conceitual do sistema de fôrmas segundo a NBR 15696:2009 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), bem como, a concepção de trepagem dos painéis, detalhes fundamentais de montagem sob o olhar do projeto para equilibrar os esforços atuantes e fatores que influenciam a pressão do concreto na fôrma.

A futura Estação Vila Formosa fica situada na Av. Dr. Eduardo Cotching, 1.150 no bairro da Vila Formosa em São Paulo/SP. Faz parte das obras de expansão da Linha 02 Verde, trecho que compreende desde o bairro da Vila Prudente até a Penha, da cidade de São Paulo/SP, contemplando 08 novas estações, uma base de manutenção de trens, além

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



de poços de ventilações e saídas de emergência. Em específico, a Estação Vila Formosa atenderá uma demanda prevista de mais de 13 mil passageiros por dia, possuirá uma área de construída de mais de 20.000m<sup>2</sup>, terá uma profundidade de 44m, 07 níveis de pavimentos subterrâneos, área comercial e bicicletário. Considerando que terá a maior parte enterrada com pouco impacto na superfície, seu projeto de implantação prevê 03 (três) entradas, sendo uma delas, através de um terminal de ônibus, outra pela Av. Dr. Eduardo Cotching e a terceira pela R. Tauandê.

O poço de acesso principal, projetado sobre o túnel de plataforma, tem cerca de 44m de diâmetro máximo, uma vez que, apresenta formato cônico, paredes de revestimento primário em concreto projetado com espessuras que variam desde 0,30 a 0,90m e revestimento secundário entre 0,70 a 1,65m de espessura, sendo esse, o objeto foco do trabalho onde abordaremos o método executivo das paredes através das formas trepantes para concreto moldado in loco, trazendo processos e procedimentos executivos adotados visando o aprimoramento da técnica na área da Engenharia Civil.



Foto 1 – Vista interna do poço de acesso principal da futura Estação Vila Formosa

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

Destaca-se que a contenção do solo junto ao poço é feita pela compressão do anel da parede de revestimento secundário, sem a utilização de tirantes no solo.

As obras tiveram seu início efetivo em 19/05/2021 com a escavação do poço. Abaixo o diagrama das unidades construtivas, extensão, demanda e investimento de novos trens:



Figura 1 – Diagrama das obras de extensão da Linha 02-Verde do Metrô de São Paulo

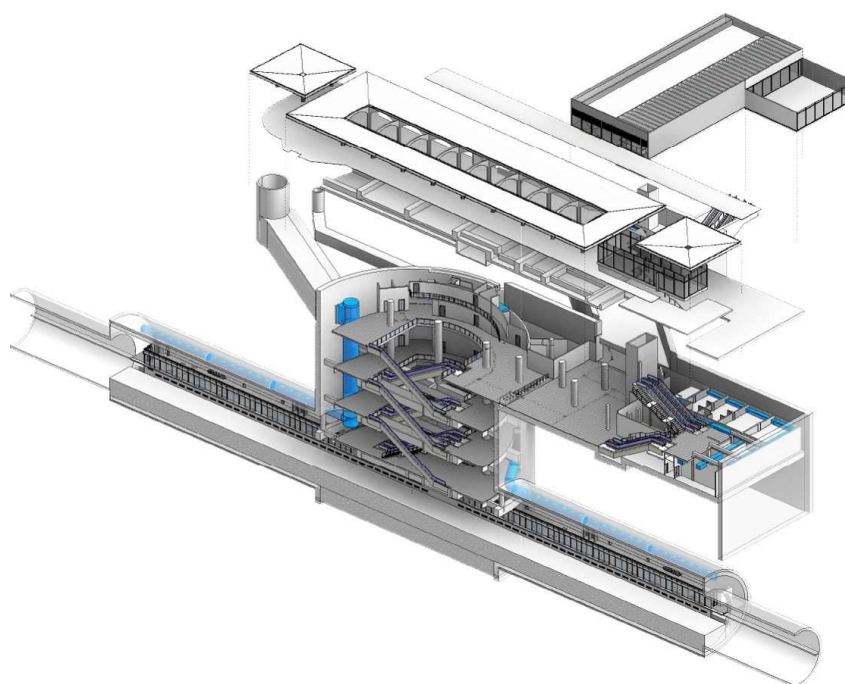


Figura 2 – Perspectiva isométrica da Estação Vila Formosa

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Conceituação e Norma Brasileira: Segundo a NBR 15696:2009 (p.2), fôrmas são estruturas provisórias que servem para moldar o concreto fresco, resistindo a todas as ações provenientes das cargas variáveis resultantes das pressões do lançamento do concreto fresco, até que o concreto se torne autoportante. A NBR 15696:2009 trata especificamente dos procedimentos que devem ser seguidos, tanto na etapa de projeto quanto de execução, para as fôrmas e escoramentos.

**Pressão, Velocidade, Altura de concretagem, Temperatura e Consistência**

O gráfico abaixo da NBR 15696:2009 (p.20), observamos que a pressão atuante está ligada à consistência do concreto, altura e velocidade de subida, bem como, a temperatura de lançamento deve ser observada não só para atender aos requisitos da NBR 14931:2004 e/ou traço aprovado, mas, efetuar as compensações de piora da pressão em função da referência estudada pela NBR 15696:2009, que é de +25°C.

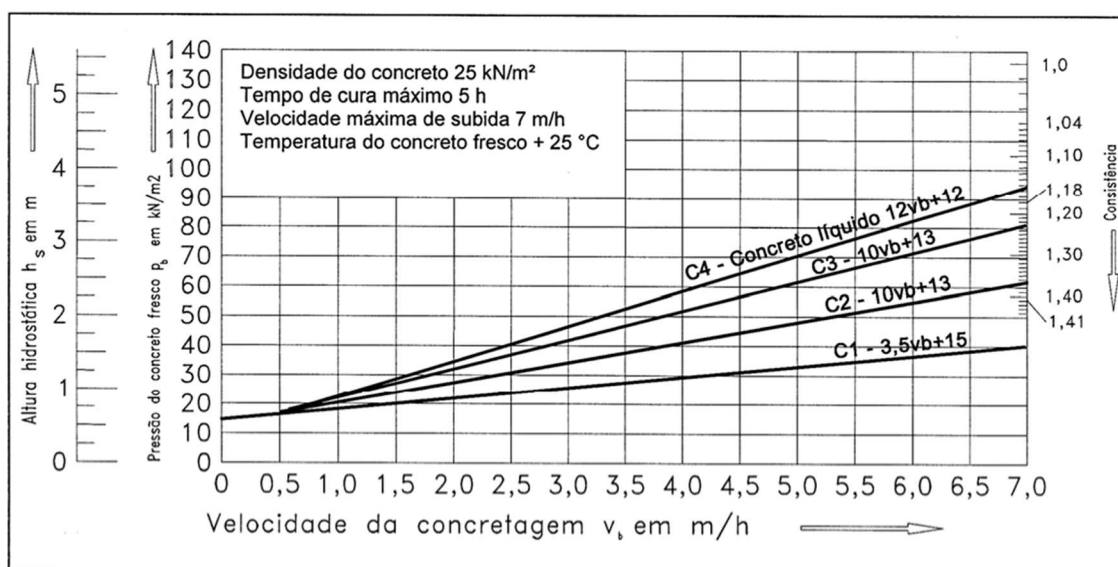


Gráfico 1 - Determinação da pressão do concreto fresco e altura hidrostática em função da velocidade e consistência

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Conforme preconizado na NBR 15696:2009 (p.22) *“A temperatura influencia o tempo de endurecimento e, através deste tempo, a pressão do concreto fluido. Nos casos em que a temperatura do concreto fluido na hora da concretagem for menor que 25 °C, ou quando a temperatura de 25 °C não puder ser mantida,  $P_b$  e  $h_s$  devem ser aumentados em 3 % para cada 1 °C abaixo de 25 °C. No caso em que a temperatura do concreto fluido, na hora do lançamento do concreto, ultrapasse 25 °C, a pressão do concreto fluido  $P_b$  e a altura hidrostática  $h_s$  não podem ser reduzidas.”*

Na tabela abaixo, também extraída da NBR 15696:2009 (p.23), vemos como são classificadas as classes de consistências do concreto e suas referências de abatimento segundo a NBR NM 67. Elas devem ser observadas atentamente para efetuar uma correta leitura do diagrama e nortear o projetista quanto ao dimensionamento do sistema de fôrmas.

Tabela 1 – Classificação das classes de consistências do concreto e abatimentos

<b>Classe de consistência</b>	<b>Abatimento mm</b>
C1	abatimento $\leq$ 20
C2	20 < abatimento $\leq$ 80
C3	80 < abatimento $\leq$ 140
C4	abatimento > 140

A figura abaixo representa a maneira de como a carga é distribuída na fôrma e, essa é a referência para os dimensionamentos constantes nas memórias de cálculos que os projetistas utilizam. Em outras palavras, tem-se uma carga variável desde o topo da forma onde a pressão hidrostática é zero (Pressão = Peso específico. Altura ;  $P = \gamma \cdot h$ ) até

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

um certo ponto onde a carga considerada seja constante, observando que as camadas concretadas tenham sido lançadas e vibradas corretamente e que já iniciaram seu processo de endurecimento, aliviando pressão na fôrma. Geralmente, a carga máxima variável é dimensionada compatibilizando com a tensão admissível da fôrma, equilibrando o sistema.

Na figura abaixo, podemos entender como é considerada a distribuição da pressão hidrostática do concreto fluido na fôrma, onde  $h_s$  é a pressão variável,  $p_b$  é pressão máxima considerada e  $5Vb$  é a relação entre o tempo de endurecimento do concreto e a velocidade de concretagem).

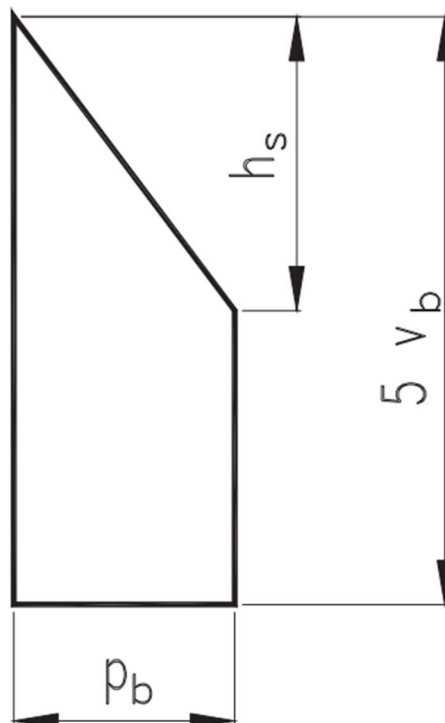


Figura 3 – Diagrama de distribuição da pressão hidrostática na fôrma

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

### **Conceito de fôrmas trepantes**

Utiliza-se fôrmas trepantes para executar altas estruturas de concreto moldado "in loco", onde seja necessário mais de uma etapa de concretagem, sendo inviável o uso de andaimes apoiados no solo. Possuem maior precisão de ajustes de alinhamento e prumo, são adaptáveis a diferentes geometrias, viabilizando também a execução de mudanças de ângulos negativos ou positivos de até 15%, eliminando serviços manuais de montagem e desmontagem de andaimes. Por outro lado, exige um fino planejamento, uma vez que, devido a sua movimentação mecanizada terá que compatibilizar o uso da grua e o peso dos conjuntos de fôrmas.

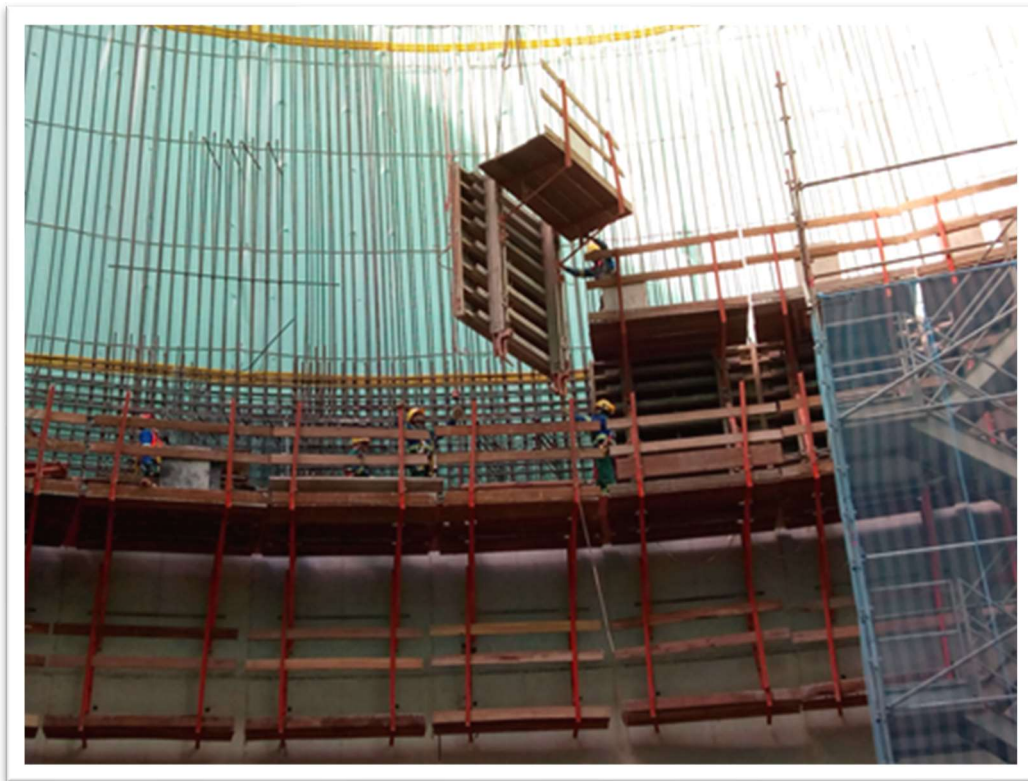


Foto 2 – Vista da movimentação ou içamento dos painéis pela grua

## 29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



São formadas por um conjunto de andaimes suspensos e painéis de fôrmas modulares ou feitas sob medida para o projeto. O conceito consiste no avanço gradual das fôrmas em suas variadas etapas de concretagens, demandando guias para sua movimentação, ou seja, o princípio básico consiste na reutilização da fôrma na próxima etapa de concretagem, apoiando-se em um cone de ancoragem previsto na camada executada anteriormente. Seus elementos consistem em: mísula ou console trepante, plataformas de trabalho e apuradores com todas as regulagens necessárias para o posicionamento e movimentação dos painéis.

A velocidade máxima de concretagem na Estação Vila Formosa foi de 0,5m/h de subida na fôrma, conforme indicação do fornecedor.

Veja na figura abaixo como funciona o Sistema:

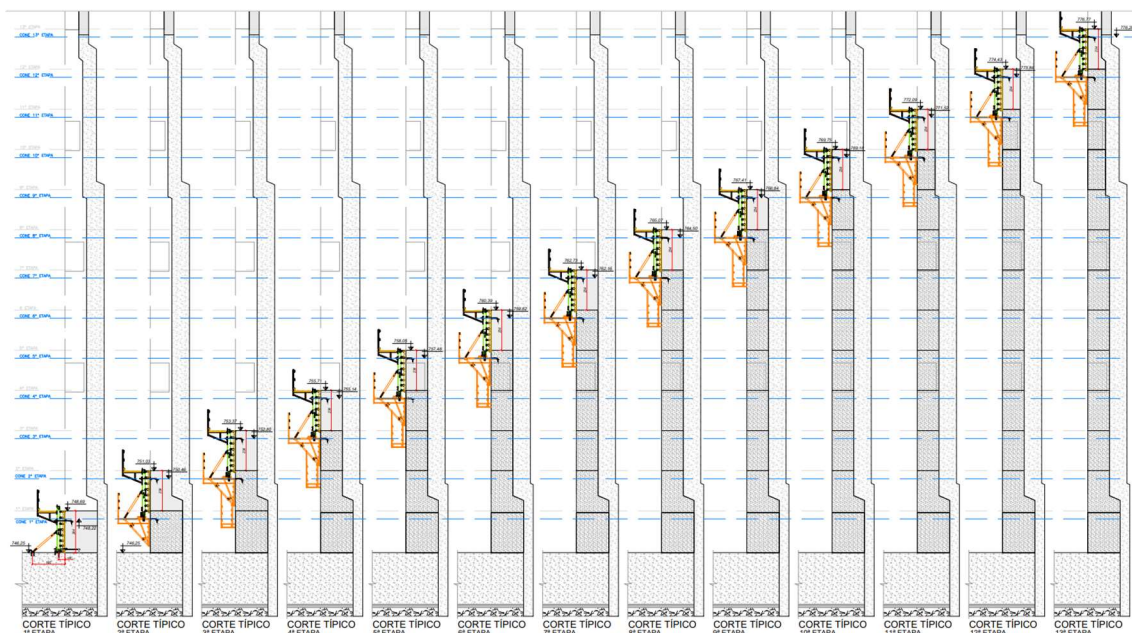


Figura 4 – Concepção e ciclo de concretagens das fôrmas trepantes



## Composição, Montagem e Travamentos/Ancoragens das fôrmas

Na figura abaixo vemos a importância de projetar uma correta emenda dos painéis para não ocorrer aberturas e deformações, bem como, a utilização da fita adesiva de espuma para impedir pequenos vazamentos de nata de concreto.

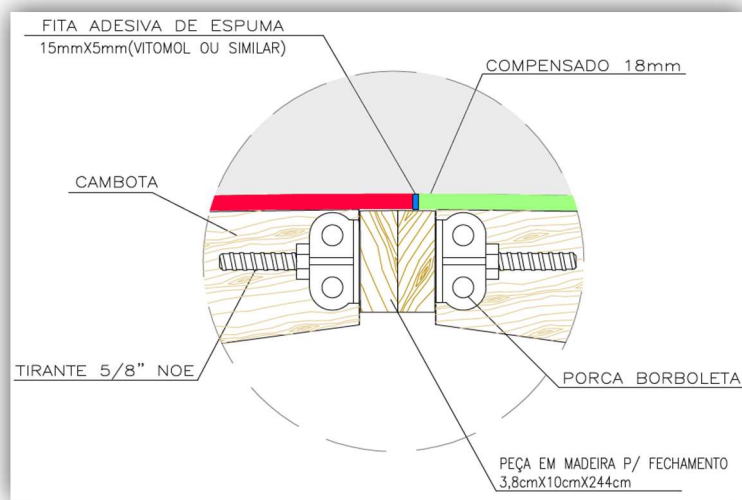


Figura 5 – Detalhe da emenda dos painéis



Foto 3 – Colocação da fita adesiva de espuma – Estação Vila Formosa

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

Vemos na próxima figura, a concepção dos painéis que foram utilizados para o revestimento secundário do poço de acesso principal da futura Estação Vila Formosa. Trata-se de uma cambota de madeira, composta por compensado de madeira, plastificado de espessura correspondente a 18mm, estruturadas com vigas de madeira de seção 3,8 x 10cm e comprimento de 244cm, apoiadas em travamentos mistos como vigas de madeira e metálicas.

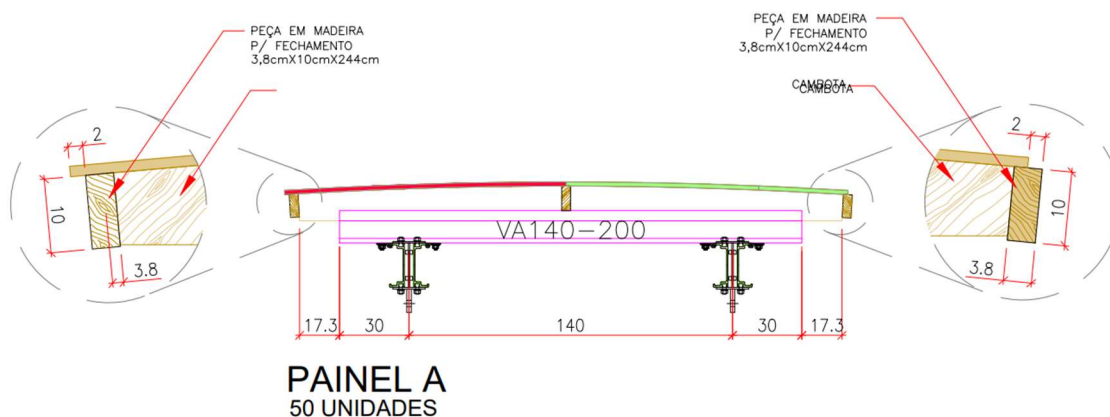


Figura 6 – Detalhe do painel

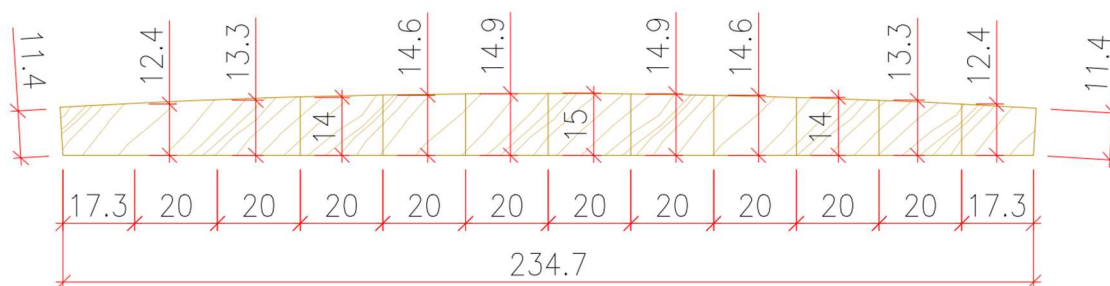


Figura 7 – Detalhe da cambota

O refino do cuidado com o acabamento está expresso na figura seguinte, com a utilização de um sarrafo (1,4 x 5cm) na parte interna superior do painel, possibilitando um acabamento uniforme ao término de cada etapa de concretagem. Isso possibilita um

efeito estético mais alinhado e serve de referência para a trepagem dos painéis nas próximas etapas. Posteriormente, o espaço vazio deixado pelo sarrafo é preenchido pela calda de cimento da próxima etapa, ficando visível apenas uma linha horizontal.

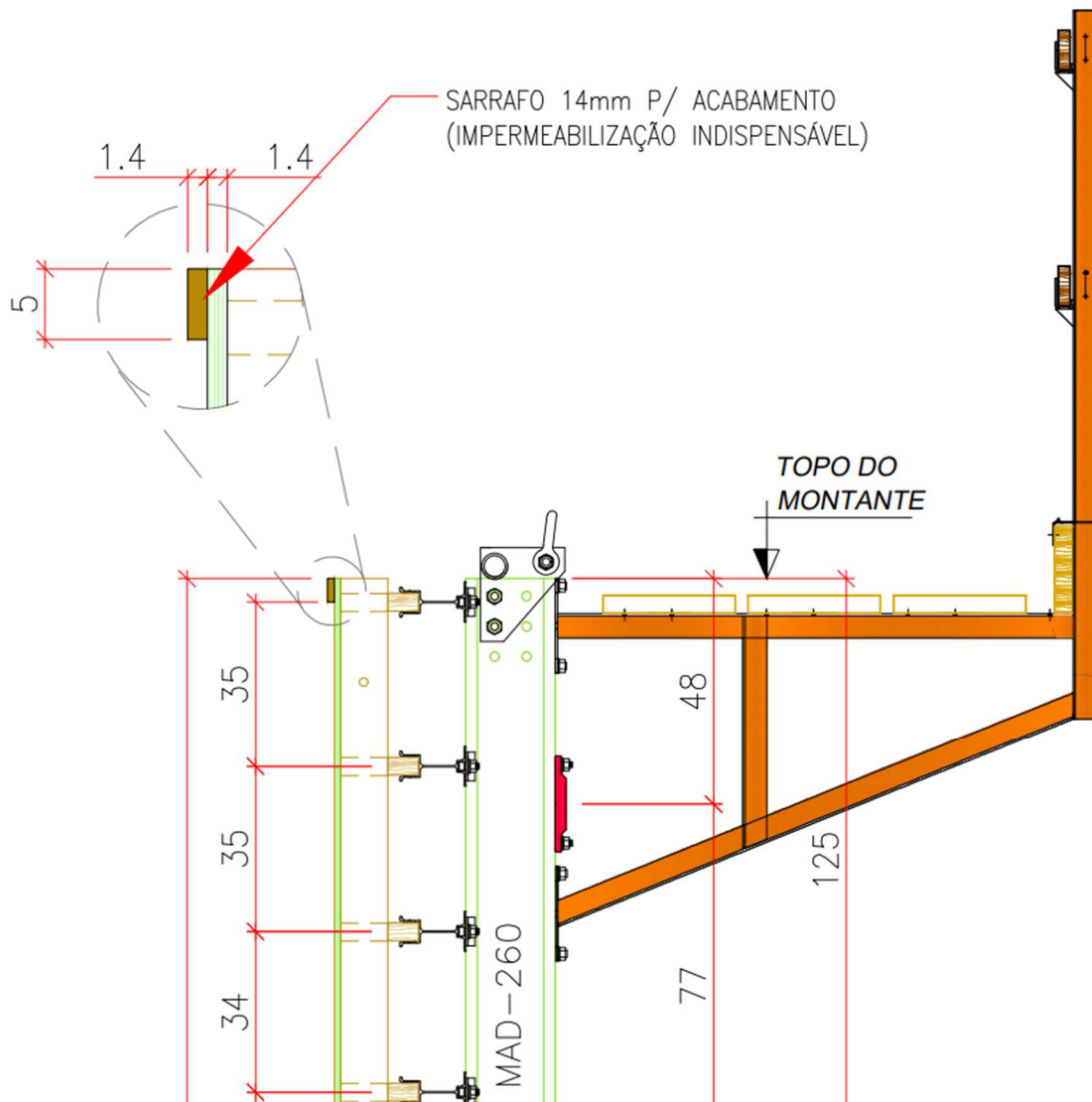


Figura 8 – Detalhe do sarrafo de acabamento no topo da fôrma

Com a apresentação da vista e corte do painel na próxima figura, conseguimos observar a altura projetada de 2,44m, estruturação e os travamentos da fôrma. A elevação da cambota completa mede 2,44 x 2,44cm (emenda de duas chapas de compensado “em

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

pé” justapostas lateralmente), onde receberá o concreto fluido e completará um ciclo ou etapa de concretagem.

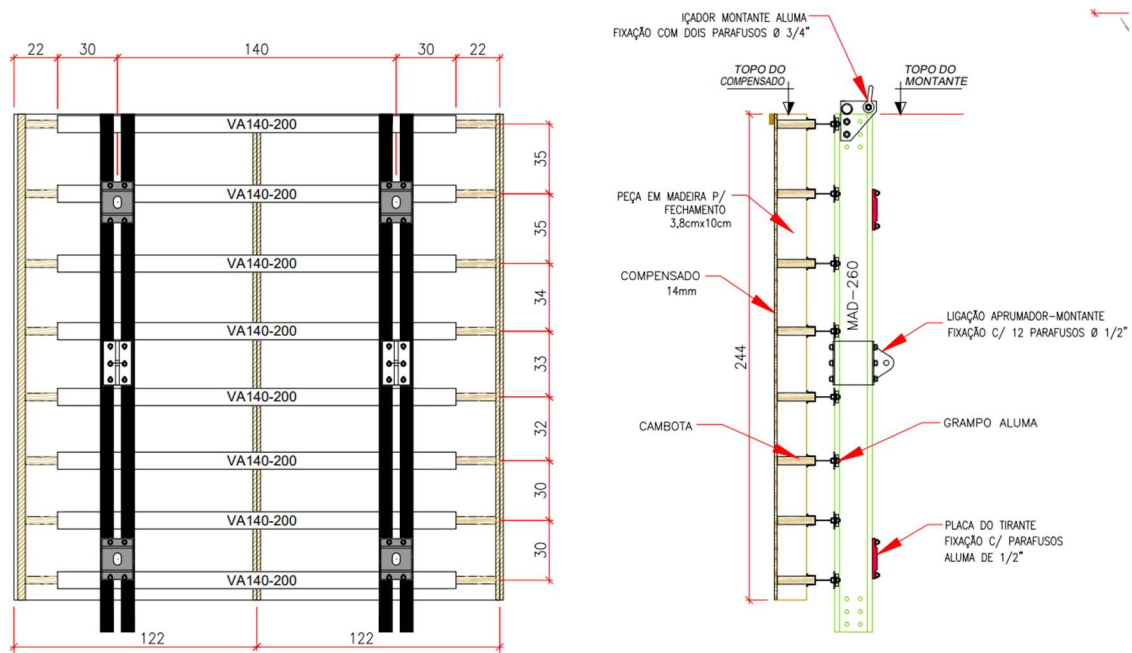


Figura 9 – Vista frontal (esquerda) e Corte Transversal (direita) do painel

As três figuras abaixo chamam a atenção para um detalhe de suma importância para a 1ª Etapa de concretagem, onde as fôrmas necessitam de travamento em sua base inferior para anular o esforço de subida e conseqüentemente o vazamento de concreto por baixo, gerando retrabalhos e percalços. O chumbamento é feito não só nos painéis, mas, nos tensores ou escoras inclinadas que recebem o empuxo da concretagem. Para tal travamento, são executados furos nas lajes de apoio (concreto) por intermédio de furadeiras com brocas especiais e próprias para concreto e coladas, com chumbador químico (cola especial), barras rosqueáveis de aço para fixação das bases.

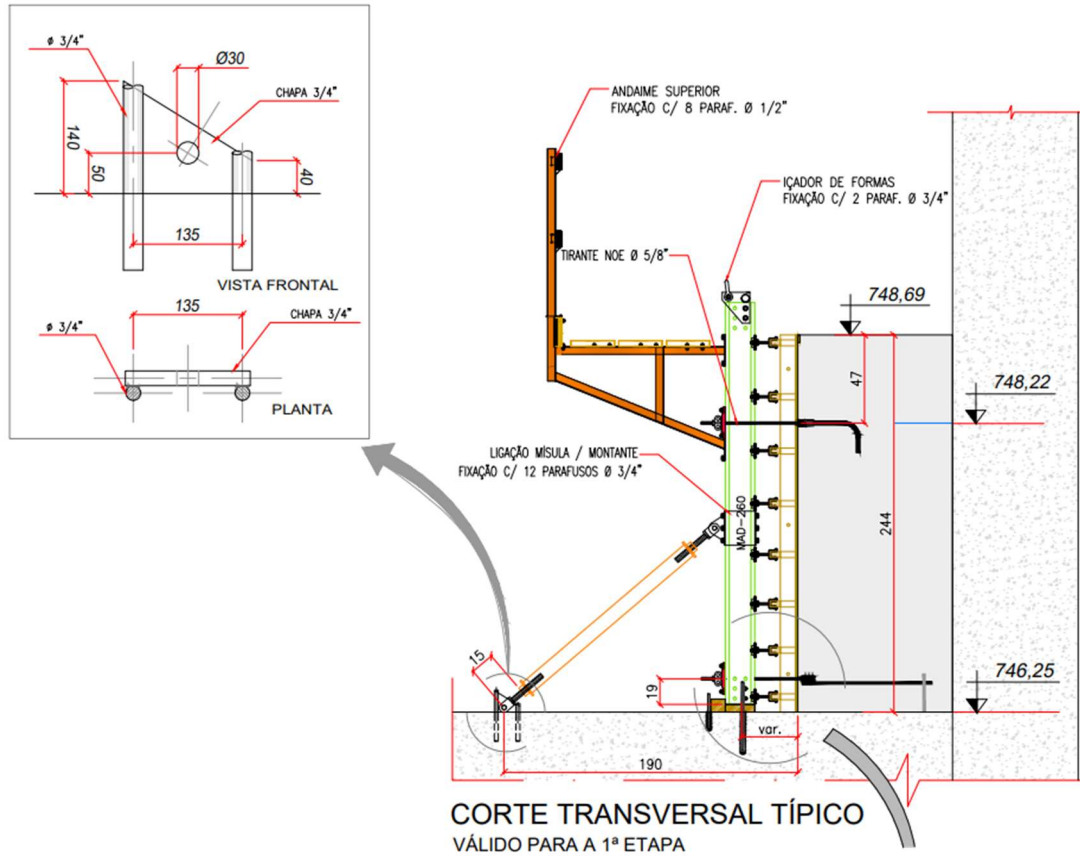


Figura 10 – Detalhe de chumbamento da base do tensor ou escora da fôrma

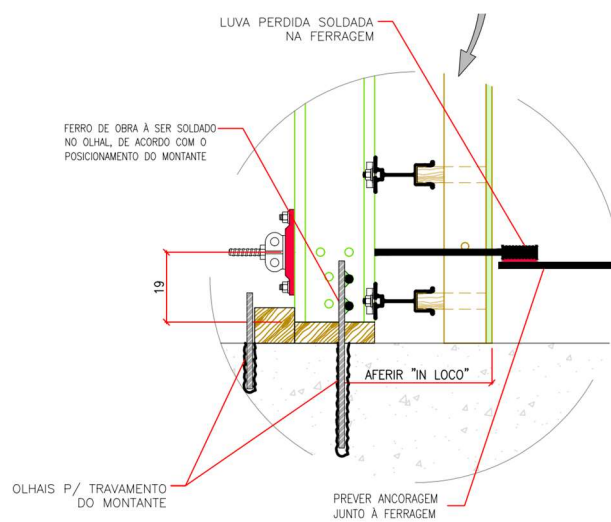


Figura 11 – Detalhe de chumbamento da base da fôrma na 1ª Etapa de concretagem para evitar a subida do conjunto

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

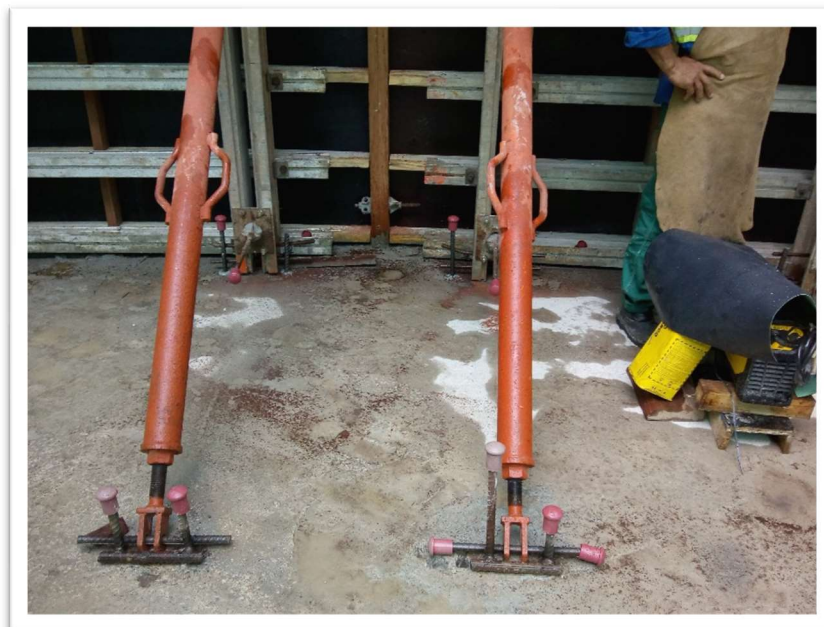


Foto 4 – Detalhe de chumbamento da base do tensor ou escora da fôrma

A foto a seguir, da Estação Vila Formosa, ilustra bem o sistema de fôrmas trepantes:

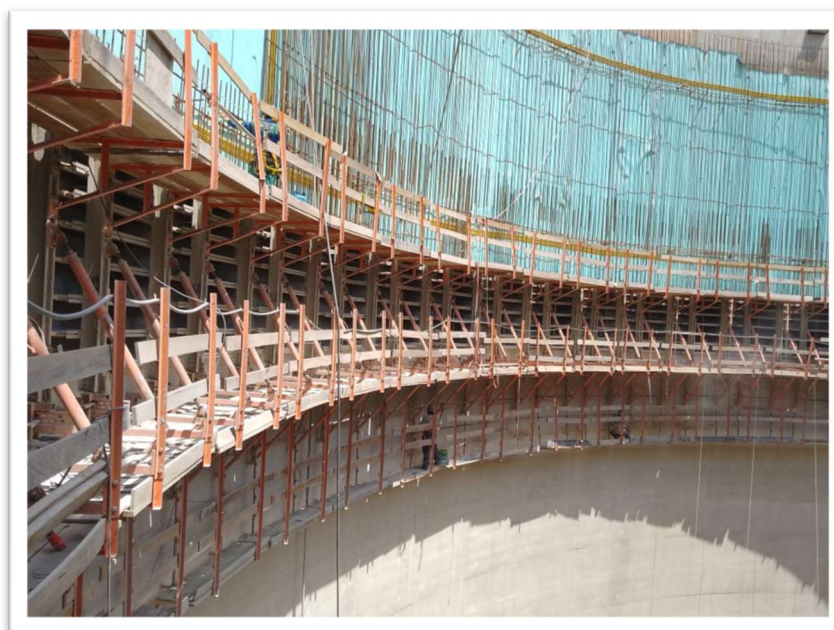


Foto 5 – Fôrmas trepantes da Estação Vila Formosa

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA  
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO  
METROFERROVIÁRIOS

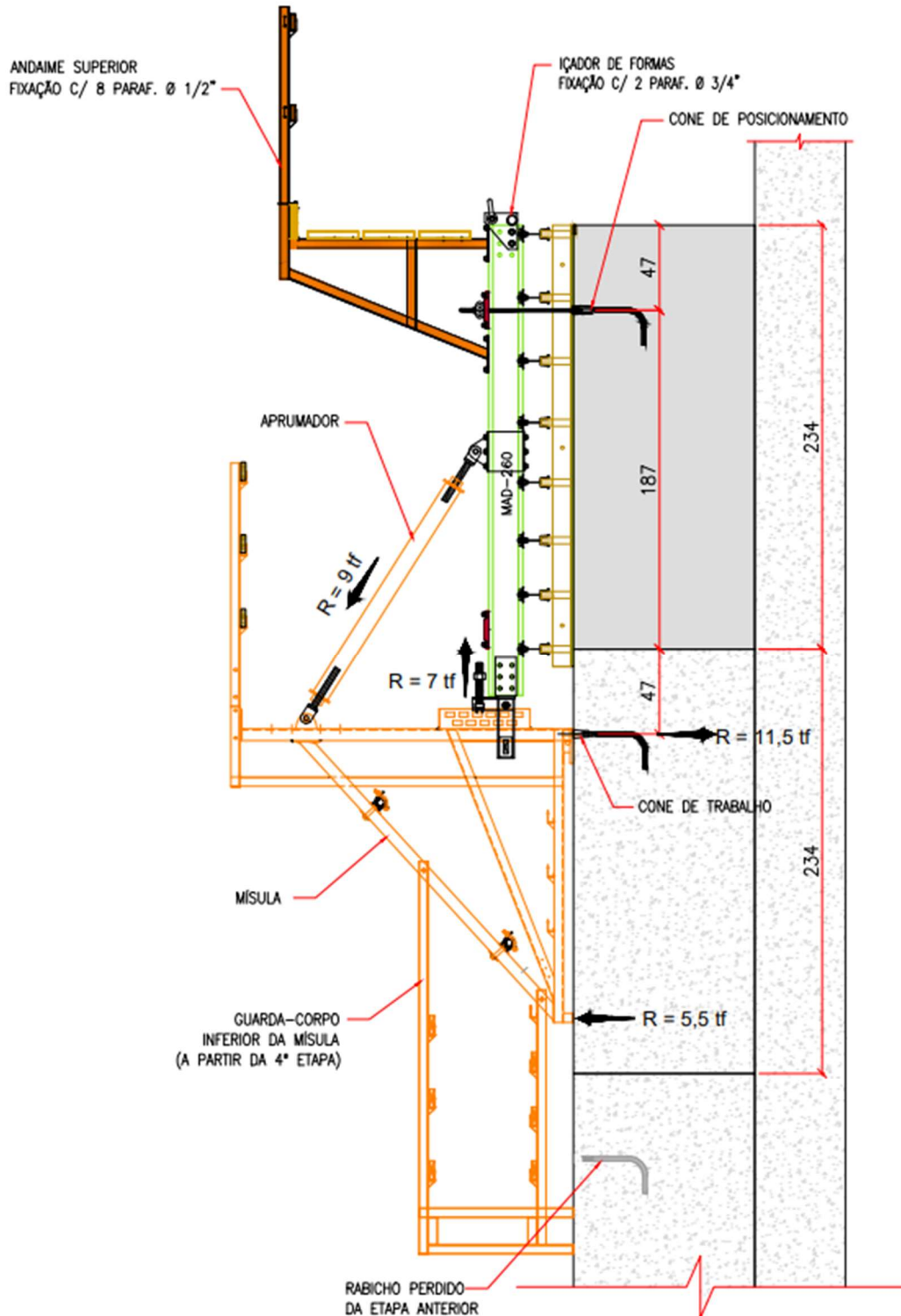


Foto 12 – Corte típico do sistema de fôrmas trepantes (carga estimada para içamento de 1.250Kg)

## DIAGNÓSTICO

A partir de agora, mostraremos as boas práticas planejadas e utilizadas nas concretagens, levando em consideração o nosso objeto de estudo, ou seja, as paredes de revestimento secundário da obra da futura Estação Vila Formosa, conforme a seguir:

### **Camadas de concretagem na fôrma:**

Além de respeitar a velocidade de subida do concreto na fôrma, recomendada no diagrama para determinação da pressão do concreto fresco na fôrma prevista na NBR 15696:2009, tem-se como boa prática aplicar camadas sucessivas de até 50 cm de altura ou seguir a recomendação do projeto da empresa fornecedora de equipamentos.



Foto 6 – Concretagem das paredes de revestimento secundário da Estação Vila

Formosa



**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



**Vibração do concreto por imersão:**

Considerando a concretagem em camadas sucessivas de 50 cm, a vibração do concreto que consiste em aplicar o vibrador no concreto para eliminar os vazios (bolhas de ar), deve ocorrer apenas na camada recente lançada e, no máximo, até 10cm da camada anterior para promover a “costura” entre elas. Isso para que as camadas anteriores, já em fase de enrijecimento pela reação química com o cimento, não voltem a ficar com consistência fluida novamente. Isso piora a pressão na fôrma, uma vez que, a altura de concretagem aumentará de imediato e conseqüentemente a pressão atuante, podendo gerar deformações indesejáveis, rompimento dos travamentos ou abertura das fôrmas, extrapolando os limites de flechas calculadas no projeto, gerando também retrabalhos, custos inesperados e a não responsabilização dos danos pela empresa fornecedora de equipamentos, uma vez que seu projeto executivo e procedimentos executivos não foram cumpridos na íntegra. Outro aspecto importante é que, fôrmas trepantes convencionais não podem ser vibradas diretamente, ou seja, encostar o vibrador na fôrma para facilitar o adensamento do concreto. Isso poderá acarretar danos e/ou aberturas nas emendas dos painéis e gerar deformações. Além disso, deve-se evitar encostar o vibrador na armadura e também nos elementos embutidos. É sempre importante informar-se com o fornecedor de fôrmas se o material está preparado para receber vibradores diretamente ou não. Segundo a NBR14931:2004, *“Tanto a falta como o excesso de vibração são prejudiciais ao concreto. Devem ser tomados os seguintes cuidados durante o adensamento com vibradores de imersão:*

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



- *Preferencialmente aplicar o vibrador na posição vertical;*
- *Vibrar o maior número possível de pontos ao longo do elemento estrutural;*
- *Retirar o vibrador lentamente, mantendo-o sempre ligado, a fim de que a cavidade formada pela agulha se feche novamente;*
- *Não permitir que o vibrador entre em contato com a parede da fôrma, para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça, mas promover um adensamento uniforme e adequado de toda a massa de concreto, observando cantos e arestas, de maneira que não se formem vazios;*
- *Mudar o vibrador de posição quando a superfície apresentar-se brilhante.”*

**Controle Tecnológico do concreto:**

**Definição do Traço do concreto e Abatimento (slump)**

O tipo de concreto definido para as paredes de revestimento secundário do poço da Estação Vila Formosa foi o convencional com um abatimento de 180mm + ou – 30mm, enquadrando-se entre as classes 1 e 2 de consistência, segundo a NBR NM 67.

A tabela abaixo descreve os itens do traço:

Tabela 2 – Especificação do traço do concreto utilizado na Estação Vila Formosa

ESPECIFICAÇÃO		
fck	(MPa)	35,0
Abatimento	(mm)	180 ± 30
Relação a/c	-	0,50
Cimento	(kg/m <sup>3</sup> )	326
Areia de Quartzo	(kg/m <sup>3</sup> )	540
Areia Artificial	(kg/m <sup>3</sup> )	360
Brita 0	(kg/m <sup>3</sup> )	152
Brita 1	(kg/m <sup>3</sup> )	864
Água	(L/m <sup>3</sup> )	163
Aditivo 1 – Clarena 4352	(kg/m <sup>3</sup> )	2,280
Aditivo 2 – MiraFlow 647	(kg/m <sup>3</sup> )	1,790

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Foto 7 – Aferição da consistência do concreto (slump test) - Estação Vila Formosa

### **Cuidados com a Temperatura do concreto**

Como cuidado adicional, uma vez que as paredes possuem grandes espessuras e consequentemente altos volumes de concreto a serem lançados a cada etapa, a temperatura do concreto foi controlada em 22°C. Para atender a temperatura limite foi substituído 50% do consumo de água por gelo. Não houve a necessidade de uso de aditivo retardador de pega e, por esse motivo, sem alterações ou correções de pressões na fôrma.

No canteiro da obra, durante o processo de recebimento de caminhões betoneira e concretagem, havia central de gelo armazenado para utilização emergencial caso fosse necessário o controle pontual da temperatura de lançamento do concreto, observando a obediência da relação água/cimento do traço aprovado.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Foto 8 – Medição de temperatura do concreto - Estação Vila Formosa

### **A Importância da Temperatura ambiente**

Segundo a NBR 15696:2009 (p.22) *“A influência de temperaturas ambiente inferiores a 25 °C para a pressão do concreto fluido não precisa ser considerada, desde que o concreto mantenha a temperatura em função de medidas de isolamento térmico. Sem medidas de isolamento térmico, este fator deve ser considerado nos casos em que a temperatura do concreto, durante o endurecimento, pode cair abaixo de 25 °C. Neste caso,  $P_b$  e  $h_s$  devem ser aumentados em 3 % para cada 1 °C abaixo de 25 °C. Não é permitido considerar a influência de temperaturas de ambiente acima de 25 °C. O aumento da pressão do concreto em função de refrigeração do concreto fluido deve ser considerado, desde que a temperatura do concreto caia durante o endurecimento abaixo de 25 °C”.*

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Nesse caso, o procedimento adotado na Estação Vila Formosa foi manter a fôrma presa à estrutura para fazer a função de isolante térmico o máximo tempo possível, além de controlar o gradiente de temperatura entre concreto e meio ambiente (ver item desfôrma, reaproveitamento e limpeza das fôrmas). Além disso, esse procedimento protege a estrutura contra choques mecânicos prematuros e indesejados.

### **Tempo de chegada do concreto na obra**

O monitoramento e controle para a utilização do concreto na obra da Estação Vila Formosa, observando o tempo desde a primeira adição de água na mistura até seu lançamento foi de até duas horas e meia (150min), respeitando ao preconizado na NBR 7212.

### **Monitoramento da maturidade do concreto: Aferição da resistência à compressão (fck)**

Quando da chegada dos caminhões betoneiras no canteiro da obra, são coletadas amostras do concreto, moldadas em formas metálicas (10x20cm) cilíndricas em aço galvanizado com espessura de parede de 3,18mm. Após a coleta é feito o controle da umidade do corpo de prova em tanques de imersão para posterior rompimento à compressão axial em laboratório para aferição de sua resistência. Isso para as idades de 02, 03, 07, 28 e 63 dias.



Foto 9 – Moldagem de corpos de prova - Estação Vila Formosa

Todo o processo foi mapeado e identificado de modo a facilitar um possível rastreamento da região afetada por uma possível baixa resistência e possibilitar um estudo de recuperação patológica mais assertiva, o que não foi o caso. Os valores obtidos são comparados com as especificações do projeto executivo.

Além disso, a necessidade de monitorar a resistência do concreto também possibilita fazer a compatibilização com a carga de arrancamento do cone metálico que está aderido à peça estrutural, responsável por ancorar todo o sistema de fôrmas trepantes.

### **Monitoramento da maturidade do concreto: Verificação do módulo de elasticidade**

De forma semelhante ao item anterior, as amostras coletadas e devidamente armazenadas (abrigadas do sol) foram levadas ao laboratório (idades de 07 e 28 dias)

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



para aferição do módulo de elasticidade que, está intimamente ligado ao limite de deformação que a peça estrutural pode apresentar ao sofrer o carregamento. Os valores de resistência (fck) e módulo de elasticidade (Ec) norteiam a decisão de liberação do processo de desfôrma. A seguir, o plano de amostragem e moldagem do concreto para os ensaios e monitoramento da maturidade do concreto:

Tabela 3 – Plano de amostragem e moldagem para corpos de prova

Plano de amostragem e moldagem para o Revestimento Secundário																					
Betoneira	Volume		Ensaio no estado Fresco		Ensaio no Estado Endurecido				Durabilidade												
	por BT (m³)	acumulad o (m³)	Slump	Temperatura	Resistência à Compressão				Módulo de Deformação Estática (secante)	Absorção por Capilaridade	Aborção por imersão	Penetração de água sob pressão	Resistividade Elettrica Volumetrica								
					2 dias	3 dias	7 dias	28 dias	63 dias	7 dias	28 dias	28 dias	28 dias	28 dias	28 dias						
1	8	8			2 cp's																
2	8	16			2 cp's																
3	8	24																			
4	8	32			2 cp's																
5	8	40																			
6	8	48																			
7	8	56			2 cp's																
8	8	64																			
9	8	72																			
10	8	80			2 cp's																
11	8	88																			
12	8	96																			
13	8	104																			
14	8	112			2 cp's																
15	8	120																			
16	8	128			2 cp's																
17	8	136																			
18	8	144																			
19	8	152			2 cp's																
20	8	160																			
21	8	168																			
22	8	176			2 cp's																
23	8	184																			
24	8	192																			
25	8	200			2 cp's																
26	8	208																			

O controle de ensaios foi realizado sob as seguintes condições de execução:

- Corpos de prova moldados e rompidos nas idades de 2, 3, 7 e 28 dias.
- Ensaio de abatimento do concreto, verificado em todos os caminhões betoneiras.
- Ensaio de durabilidade.
- Ensaio de módulo de elasticidade.

É importante destacar que, não só o monitoramento da maturidade do concreto é importante para decisões a curto prazo, mas, os ensaios de durabilidade que estão intimamente ligados à qualidade da peça estrutural. No Metrô de São Paulo, segundo a

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



ET-9.00.00.00-/3J4-003 sobre concreto convencional armado ou protendido, “*devem ser tomadas todas as medidas tecnológicas para assegurar vida útil, mínima, de 100 anos.*”

**Desfôrma, reaproveitamentos e limpeza das fôrmas:**

Não só a definição do produto de desmoldante, mas, principalmente a garantia da utilização, a obediência na proporção de diluição da mistura com água e a correta aplicação no compensado são fundamentais para obter resultados satisfatórios quando da retirada das fôrmas após a concretagem. Isso evita danos aos materiais por não ter que aplicar esforços exagerados, aumentando sua durabilidade e evitando custos desnecessários com indenizações junto às empresas fornecedoras desses equipamentos.

Outro fator importante, é que nenhuma carga seja imposta sem aferir os parâmetros de resistência ( $f_{ck}$ ) da peça estrutural e módulo de elasticidade ( $E_c$ ), sempre atento às notas de projeto. Ao imprimir os esforços, estes devem ser transferidos de maneira lenta e gradual para a estrutura quando da realização da desfôrma.

Ao desformar, é importante respeitar o tempo mínimo necessário para evitar as fissuras por retração no concreto. Para a obra da Estação Vila Formosa, esse controle foi realizado instalando um termopar (fios metálicos de baixo custo ou sensores para medição de temperatura) nas paredes de concreto armado e comparando seu valor com a temperatura ambiente em  $^{\circ}C$ . Desse modo, apenas quando o gradiente de temperatura alcançasse  $20^{\circ}C$  ou menos é que a desfôrma estaria autorizada, a fim de minimizar os efeitos de retração e o aparecimento de fissuras devido ao choque térmico.



**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

Vale lembrar que fissuras devem ser tratadas para evitar a diminuição do tempo de vida útil da estrutura, bem como, a oxidação da armadura pela infiltração de umidade e ar, o que não se aplicou para a Estação Vila Formosa nesse caso.

É necessário também atentar-se ao número de reaproveitamentos dos painéis devido ao seu desgaste natural. Conhecer a qualidade do material empregado é preponderante para entender a quantidade de usos ou reaproveitamentos dos painéis (cambotas) a fim de que não haja prejuízo da aparência final como ranhuras, deformações e consequente retrabalho com tratamento do concreto na fase de acabamento. Para o estudo de caso da Estação Vila Formosa, esse reaproveitamento foi de 04 (quatro) etapas de concretagem, diferentemente de usos convencionais para concreto não aparente onde as chapas de compensado são utilizadas de até 15 vezes aproximadamente. Para isso, foi necessário trabalhar com dois jogos de fôrmas, ou seja, enquanto se utilizava um, o outro recebia reforma da cambota e troca de compensados em uma praça própria de manutenção criada no canteiro de obras.



Foto 10 – Praça de trabalho para reforma de painéis



Foto 11 – Aplicação do desmoldante a fôrma

Outro fator e não menos importante, é o de realizar sempre a limpeza das fôrmas e aplicar o desmoldante a cada nova utilização. A limpeza é realizada com a utilização de espátula para raspagem da nata de concreto que fica aderida ao compensado, utilização de pano úmido e posterior aplicação do desmoldante, sem exageros e respeitando as diretrizes do fabricante para não afetar a coloração do concreto aparente.

### **Concreto Aparente:**

#### **Paginação dos painéis**

Por se tratar de uma obra de arte, as estações do Metrô de São Paulo requerem cuidados que podem passar despercebidos como a paginação dos painéis a serem utilizados nas paredes, ou seja, a disposição e dimensão dos mesmos a fim de proporcionar uma logística mais racional para montagem e reaproveitamentos, bem como, o efeito

estético mais leve e harmonioso para a estrutura, buscando uma modulação mais ampla e posição estratégica dos arremates.

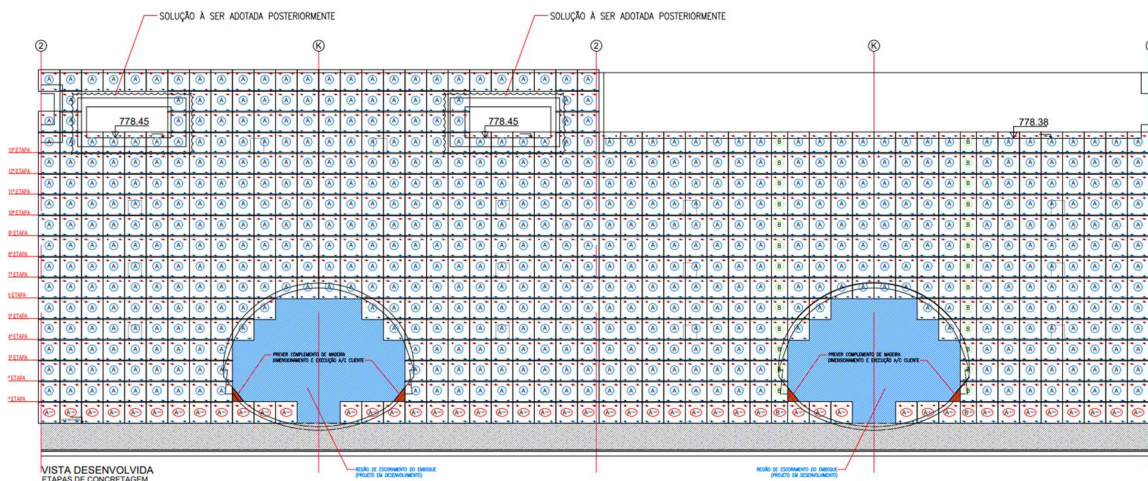


Figura 13 – Paginação das paredes da Estação Vila Formosa

### Furos dos pontos de ancoragem da fôrma

Devido ao fato dos conjuntos de painéis e andaimes ficarem ancorados em cones metálicos posicionados dentro da parede das etapas concretadas, assim que o conjunto sobe para o próximo ciclo, ficará um furo aparente no concreto para posterior preenchimento com nata de cimento. A paginação cuidadosa e bem estudada minimiza e distribui uniformemente esses furos e não carregam ou poluem a estética da peça.



Foto 12 – Furos na parede deixados pelos cones recuperáveis



Foto 13 – Cone metálico (recuperável) de ancoragem posicionado dentro da armação,  
para futura ancoragem das fôrmas

### **Tamponamento dos furos com o mesmo tipo de cimento**

Conforme abordado, após a concretagem das etapas das paredes e posterior subida do conjunto, aproveita-se o andaime inferior (balancim) para preencher os furos deixados pelos cones de ancoragem. É fundamental efetuar um lixamento, limpeza do furo e posterior aplicação de nata de concreto, observando o mesmo tipo de cimento que fora utilizado no concreto. Isso para que a parede mantenha a mesma tonalidade de cor como um todo e não realce esse fechamento. As paredes do revestimento secundário

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



do poço receberam o cimento CIII em seu traço. Além disso, é importante utilizar o cimento sempre do mesmo fabricante, garantindo sua qualidade e procedência.

### **Tratamento da face aparente do concreto**

Visando a otimização de tempo para a fase de acabamento, é recomendável aproveitar a área ainda desconfinada do poço e a disposição dos andaimes inferiores tipo banlancim das fôrmas trepantes para realizar um tratamento prévio das etapas concretadas, ou seja, efetuar o lixamento no concreto, limpeza e aplicação de seladora. Desse modo a estrutura fica semiacabada, faltando apenas a aplicação do verniz na fase final da obra.

### **Juntas de concretagem**

O tratamento das juntas horizontais e verticais de concretagem da Estação Vila Formosa foi realizado através do “corte verde”, ou seja, para a retirada de impurezas da superfície do concreto e proporcionar o aspecto áspero que permita a aderência do concreto fluido da próxima etapa é aplicado um jato de água sob pressão para remover essa película.

### **Plano de concretagem**

O plano de concretagem é um planejamento fundamental para visualizar todas as necessidades e antever possíveis problemas, buscando eficácia quanto ao cumprimento dos processos de concretagem de forma global. Pensando nisso, foi desenvolvido um plano que dimensionasse toda a equipe que seria envolvida no processo, turnos de trabalho, recursos necessários, observância e cumprimento às normas de saúde e

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



segurança do trabalho, meio ambiente, formulário de inspeção de serviço para liberação de concretagem, controle de riscos e emergência, definição da usina de concreto e sua distância até o canteiro de obras, procedimento de recebimento e lançamento do concreto na obra, dentre outros.

Inicialmente, como na parte inferior do poço as espessuras das paredes eram grandes e apresentavam grandes volumes de concreto a serem lançados, o poço foi estrategicamente dividido em quatro quadrantes para a realização dos eventos de concretagens. Isso para atender o tempo de trabalho diário, a condição limitada de alcance da bomba lança e diminuição de riscos. Tal estratégia foi utilizada até a 13ª Etapa de concretagem, significando 30,52m de altura de parede e 3.747m<sup>3</sup> lançados.

A partir da 14ª Etapa, o poço foi dividido em dois semicírculos, uma vez que as condições de diminuição de espessura das paredes e envergadura da bomba lança nas concretagens, contribuíram para uma otimização do processo e consequentemente eliminação de duas juntas verticais de concretagem. Dessa forma, completou o ciclo de concretagens até a 17ª Etapa, totalizando 4.189,15m<sup>3</sup> lançados e 39,88m de altura de paredes executadas.

Ainda no plano, foi possível detectar uma particularidade, onde as paredes pertencentes da quinta à oitava etapas, sobre a região dos emboques dos túneis de plataforma, precisariam ser cimbradas (escoradas) e, somente após a obtenção dos valores satisfatórios de resistência ( $f_{ck}$ ) e módulo de elasticidade ( $E_c$ ) é que poderiam ser descimbradas para evitar fissuras e/ou deformações exageradas. A foto abaixo

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



evidencia tal necessidade, bem como, o cuidado minucioso e sob medida do trabalho quase artesanal para confeccionar as fôrmas de fundo e travar toda a estrutura com tubos e braçadeiras no plano horizontal para evitar deslocamentos e/ou tombamentos.

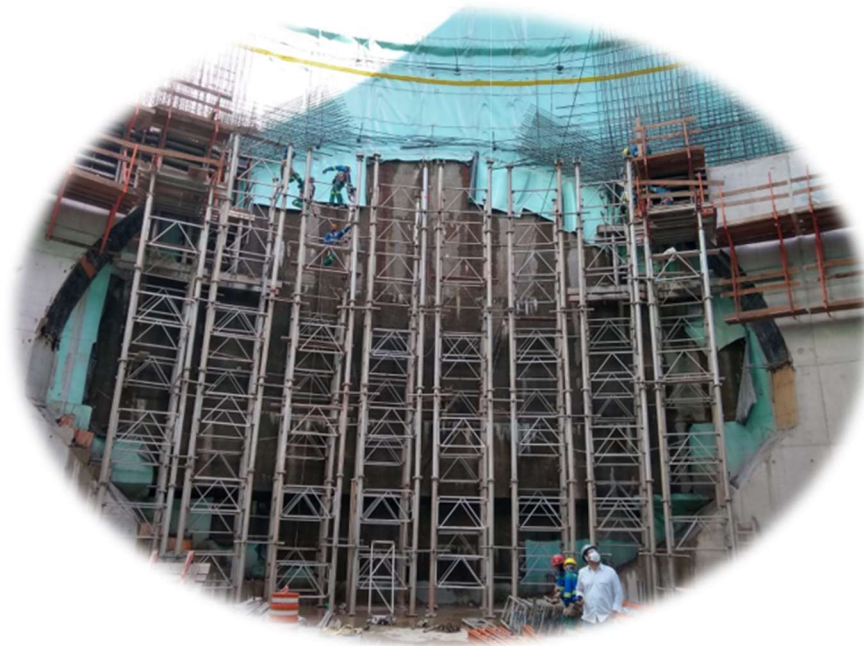
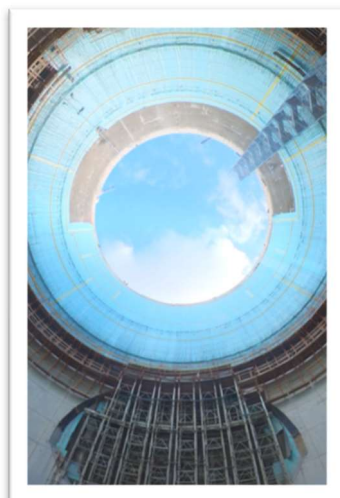


Foto 14 – Fôrmas e cimbramentos na região dos emboques dos túneis



Fotos 15 e 16 – Fôrmas e cimbramentos na região dos emboques dos túneis

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



A altura de queda livre de lançamento do concreto não deve ultrapassar 2m, conforme especificação da NBR14931:2004, porém, para garantir que o concreto não desagregasse, foi aumentado o fator de segurança na obra limitando em 1,50m. Não foi necessário prover tubos ou janelas externas de concretagem, apenas o posicionamento do mangote na altura especificada para o início da atividade.

Cuidados para evitar o deslocamento das armaduras e dos elementos embutidos também foram tomados, bem como, uma lona de proteção para casos de chuvas intensas. Outra preocupação explícita no plano de concretagem foi não lançar o concreto sobre superfícies secas, nem sobre poças de água, nem sobre água livre nas superfícies e nem empurrar água com o concreto.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **Produtividade de montagem**

Antes de analisarmos alguns indicadores de produtividade, é importante conhecermos algumas quantidades de projeto das paredes de revestimento secundário a seguir:

Volume de concreto: 4.189,15m<sup>3</sup>

Armação: 369.664,00Kg

Área de fôrma: 4.005,68m<sup>2</sup>

Quantidade de pessoas envolvidas: 15 (mestre, encarregados, ajudantes etc.)



**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Na Estação Vila Formosa, os avanços de concretagem ocorreram conforme tabela abaixo:

Tabela 4 – Dados técnicos dos avanços de concretagem

Avanço	Níveis	Altura de concretagem (m)	Espessura da parede (m)	Diâmetro interno (m)
1	(746,25 a 748,69)	2,44	1,65	42,35
2	(748,69 a 751,03)	2,34	1,65	42,35
3	(751,03 a 753,37)	2,34	1,10	42,35
4	(753,37 a 755,71)	2,34	1,10	42,35
5	(755,71 a 758,05)	2,34	1,10	42,35
6	(758,05 a 760,39)	2,34	1,10	42,35
7	(760,39 a 762,73)	2,34	1,10	42,35
8	(762,73 a 765,07)	2,34	1,10	42,35
9	(765,07 a 767,41)	2,34	1,10	42,35
10	(767,41 a 769,75)	2,34	0,90	42,35
11	(769,75 a 772,09)	2,34	0,90	42,35
12	(772,09 a 774,43)	2,34	0,90	42,35
13	(774,43 a 776,77)	2,34	0,90	42,35
14	(776,77 a 779,11)	2,34	0,70	42,35
15	(779,11 a 781,45)	2,34	0,70	42,35
16	(781,45 a 783,79)	2,34	0,70	42,35
17	(783,79 a 786,13)	2,34	0,70	42,35
		39,88		

Obs.: A altura total de concretagem das paredes foi de 39,88m, já descontando a espessura da laje de fundo do poço que se encontrava concretada nesse estágio.

Toda a atividade durou 244 dias corridos e 175 úteis, iniciada em 18/05/2022 e finalizada em 17/01/2023.

Conforme tabela abaixo, seguem abaixo alguns indicadores que foram extraídos do processo:

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Tabela 5 – Indicadores de produtividade das etapas de concretagens para o sistema de fôrmas trepantes da Estação Vila Formosa (Avanço = Etapas de concretagens)

INDICADORES		
Avanço/dia corrido	0,04	un./dia
Avanço/dia útil	0,05	un./dia
Dia corrido/avanço	16,27	dia/avanço
Dia útil/avanço	11,67	dia/avanço
Altura/dias corridos	0,15	m/dia
Altura/dias úteis	0,21	m/dia
Volume/dias corridos	16,18	m <sup>3</sup> /dia
Volume/dias úteis	22,55	m <sup>3</sup> /dia
Caminhões betoneira/dias corridos	1,08	unidade
Caminhões betoneira/dias úteis	1,50	unidade

O Indicador de produtividade (IP) de montagem, considerando todo o processo (montagem/desmontagem/limpeza) segue conforme a tabela abaixo:

Tabela 6 – Indicadores de produtividade de montagem (m<sup>2</sup>/homem)

ACOMPANHAMENTO DO REVESTIMENTO SECUNDÁRIO					
Avanço	Níveis	Altura de concretagem (m)	Produtividade		
			m <sup>2</sup> /homem.dia corrido	m <sup>2</sup> /homem.hora corrida	m <sup>2</sup> /homem.hora útil trabalhada
1	(746,25 a 748,69)	2,44	231,06	9,63	16,50
2	(748,69 a 751,03)	2,34	151,75	6,32	10,84
3	(751,03 a 753,37)	2,34	51,55	2,15	3,68
4	(753,37 a 755,71)	2,34	77,94	3,25	5,57
5	(755,71 a 758,05)	2,34	135,65	5,65	9,69
6	(758,05 a 760,39)	2,34	206,62	8,61	14,76
7	(760,39 a 762,73)	2,34	69,66	2,90	4,98
8	(762,73 a 765,07)	2,34	58,81	2,45	4,20
9	(765,07 a 767,41)	2,34	137,22	5,72	9,80
10	(767,41 a 769,75)	2,34	137,23	5,72	9,80
11	(769,75 a 772,09)	2,34	137,23	5,72	9,80
12	(772,09 a 774,43)	2,34	98,02	4,08	7,00
13	(774,43 a 776,77)	2,34	19,60	0,82	1,40
14	(776,77 a 779,11)	2,34	14,34	0,60	1,02
15	(779,11 a 781,45)	2,34	6,71	0,28	0,48
16	(781,45 a 783,79)	2,34	8,51	0,35	0,61
17	(783,79 a 786,13)	2,34	8,46	0,35	0,60
	IP	39,88	91,20	3,80	6,51
	Média Aritmética				

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Todos os indicadores informados refletem o processo como um todo, ou seja, a montagem das cambotas, todo o conjunto com os andaimes suspensos, concretagens, desfôrmas, limpeza e reforma de painéis, içamento dos conjuntos através de grua, tratamento do concreto etc.

Para efeito comparativo simples, segundo o Manual Básico de Indicadores de Produtividade da Construção Civil, Relatório Completo de 2017, correalização SESI e realização CBIC, página 29, Tabela 5 (SINAPI) para montagem e desmontagem de fôrmas manuseáveis para paredes de concreto moldadas in loco, de um edifício de múltiplos pavimentos, os indicadores medianos para mão de obra são de 0,3136 homem.hora/m<sup>2</sup> para carpinteiros e 0,2259 homem.hora/m<sup>2</sup> para serventes, resultando em 0,5395 homem.hora/m<sup>2</sup> em sua totalidade. Se invertermos essa razão, teremos o indicador de 1,8536m<sup>2</sup>/homem.hora. Comparando com o indicador da Estação Vila Formosa de 3,80m<sup>2</sup>/homem.hora corrida, considerando suas devidas particularidades e desvios entre os sistemas e metodologias adotados, vemos que o sistema trepante mostrou-se competitivo e até superando as expectativas de produtividades esperadas. É importante observar que, ao longo do processo de execução das paredes, o estudo desses indicadores foi monitorado a todo tempo, servindo como um termômetro para aferição de performance do consórcio construtor, efetuando comparativos com os cronogramas de curto e médio prazo da obra para fins de cumprimento de prazos (com estimativas de data de chegada ou conclusão, baseado na produtividade atual) e também para acionar, se fosse o caso, um plano de recuperação (aumento de equipe, abertura de terceiro turno de trabalho, etc.), o que não foi necessário na prática.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

## **Acabamento**

Conforme fotos abaixo podemos verificar a qualidade de concretagem das paredes de revestimento secundário do poço da Estação Vila Formosa. Ressalta-se a não observância de fissuras por retração e/ou deformações, eliminando qualquer tipo de retrabalho para reparação. A estrutura apresentou-se bem executada, com um efeito estético bastante agradável, uniforme e harmoniosa, bem como, preservando a geometria especificada em projeto, além de suas características técnicas. Percebe-se que foi economizado tempo para a fase de acabamento por já ter realizado um semiacabamento do concreto durante sua execução.



Foto 17 – Aparência e qualidade de concretagem das paredes da Estação Vila Formosa

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**

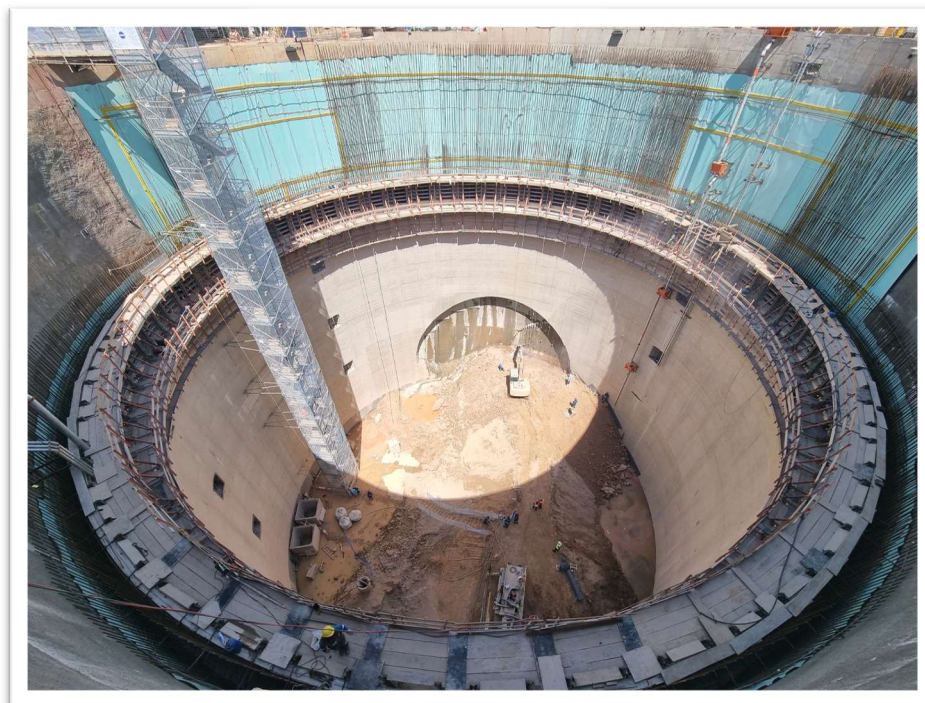


Foto 18 – Sistema de fôrmas trepantes montado e as etapas concretadas das paredes

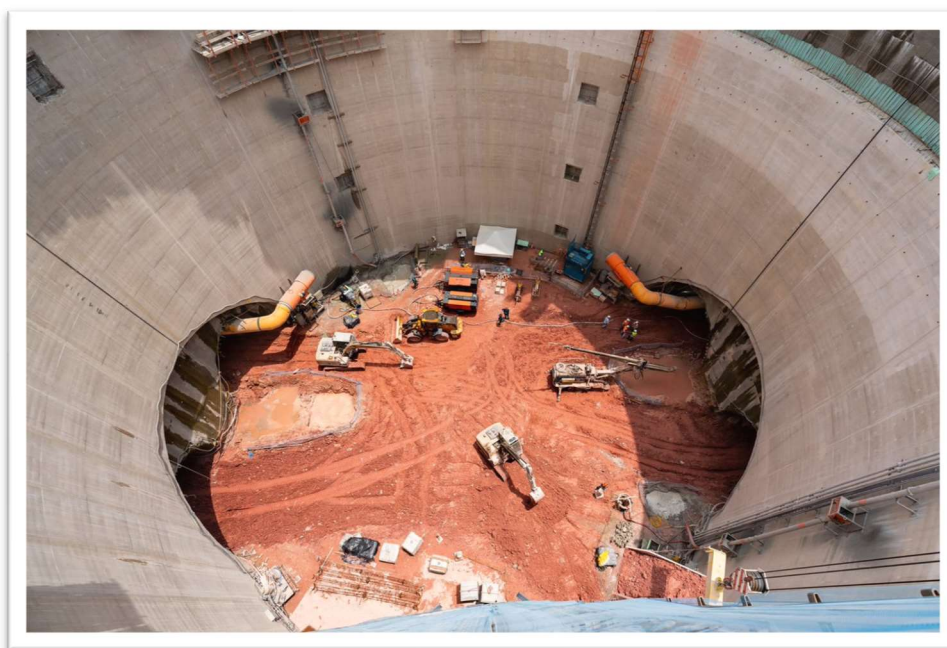


Foto 19 – Paredes da Estação Vila Formosa concretadas e seu aspecto final

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



## **CONCLUSÕES**

Diante do exposto, vimos que os cuidados técnicos, planejamento e boas práticas construtivas podem levar a uma correta execução de peças estruturais com grandes alturas em concreto armado, utilizando-se do sistema de fôrmas trepantes. A obra da Estação Vila Formosa trouxe um resultado significativo, com a notada qualidade devido à ausência de fissuras ou deformações no concreto e diminuição dos desperdícios de tempo e recursos financeiros. Além disso, é possível concluir que houve uma economia de tempo para a fase de acabamento, uma vez que, a estrutura executada encontra-se em estágio semiacabado. Os indicadores de produtividade trouxeram dados relevantes para as obras do setor metroferroviário brasileiro, especificamente para estações subterrâneas com poços de acessos, onde esse tema ainda é pouco difundido no mercado e referências bibliográficas nacionais. Mostraram que o sistema de fôrmas trepantes obteve uma produtividade competitiva aos padrões do mercado brasileiro, além de despertar a importância sobre sua gestão, planejamento, qualidade, monitoramento de prazos, assertividade de ações preventivas, norteadas por mudanças estratégicas e evitando problemas.

É importante realizar um treinamento para toda a equipe antes de iniciar os trabalhos, a fim de uniformizar as informações e, caso o equipamento de fôrmas seja locado de empresa do setor, solicitar o acompanhamento contínuo das montagens pelos técnicos e documentar todo o trâmite em relatório de visita técnica. Emitir ART do projeto executivo e da montagem é fundamental para a responsabilização e respaldos jurídicos.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



Torna-se boa ação destinar uma equipe específica para o sistema de fôrmas em uma obra, no sentido de acompanhar as condições dos equipamentos e carregamentos para transporte desde a fábrica, documentações, montagens, limpeza e devolução dos materiais, reduzindo custos indesejados com indenizações que podem resultar em custos indesejáveis.

Nota-se, ainda, que poucos profissionais do mercado detém o conhecimento mais aprofundado do tema e dificilmente implantam todas as práticas em sua integralidade. O ineditismo desse trabalho contribui muito para ajudar a difundir o assunto e propiciar que chegue aos diversos setores, profissionais e empresas de construção civil, promovendo a evolução de processos e metodologias envolvidas.

Enfim, o sistema de fôrmas trepantes se mostrou uma boa e importante solução para as paredes da Estação Vila Formosa, tendo claro o aprimoramento técnico implementado e seus benefícios.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT NBR 15696:2009, Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos, primeira edição 15.04.2009, válida a partir de 15.05.2009.

ABNT NBR 14931:2004, Execução de estruturas de concreto – Procedimento — Segunda edição 30.04.2004, Válida a partir de 31.05.2004.

**29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO**  
**METROFERROVIÁRIOS**



ABNT NBR NM 67:1998, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone — fevereiro de 1998, válida a partir de 30.03.1998.

ABNT NBR NM 67:1998, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone — fevereiro de 1998, válida a partir de 30.03.1998.

ET-9.00.00.00-/3J4-003, Especificações Técnicas sobre Concreto convencional armado ou protendido — 10/03/2014, Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ SP.

MANUAL BÁSICO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL  
VOLUME 1 – Relatório completo. Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil Relatório Completo 2017.

Mills, Projeto Executivo (02.011.0404-22 e CQ-2.33.04.00/6C4-150) de fôrma trepante para o revestimento secundário – Pranchas 02F1 a 02F10 - Revisão 02 de 12/05/2022.