

COMPARATIVOS DE DUAS TIPOLOGIAS DE VEDAÇÃO FERROVIÁRIA EM PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO – UM ESTUDO DE CASO

Vanessa Vilela Rocha, Doutora em Engenharia Civil, Vale S.A., Brasil.

RESUMO

Para garantir a segurança ferroviária e permitir a mobilidade urbana, não se faz necessário apenas a implantação de obras de artes especiais e passagem em nível regulamentadas, mas também a vedação adequada e eficaz no entorno das ferrovias, de modo a direcionar os veículos e pedestres à essas passagens seguras. Uma das formas mais encontrada de vedações são em blocos de concreto. Como alternativa, tem-se também as placas de concreto pré-moldadas, que como vantagem permitem atender alguns desejos da comunidade, sem comprometer a efetividade da vedação ferroviária. Dessa forma, o presente trabalho avalia os custos e a produtividade de duas tipologias distintas de placas de concreto pré-moldadas para fins de vedação em ferrovias e confronta com os dados apresentados de custo e produtividade de vedações em bloco de concreto. A base de dados utilizada como referência foi o Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO - do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Outubro de 2023) para Minas Gerais (DNIT, 2023). Os resultados demonstraram que as placas pré-moldadas, apesar de um custo mais alto apresentam maior agilidade de execução. Por outro lado, aferindo o desempenho das duas placas com modelos e fundações distintas, conclui-se que a placa analisada de maior largura representou redução de 30% nos custos e desempenho 8% superior. No entanto, algumas observações foram apresentadas que de modo garantir maior assertividade na escolha entre as duas tipologias apresentadas.

Palavras-chaves: Vedações Ferroviárias; Placas Pré-moldadas; Mobilidade Urbana

1. INTRODUÇÃO

As ferrovias podem ser consideradas um transporte seguro em vários aspectos, no entanto, de modo a promover segurança é necessária a eliminação da interferência entre os trens e as cidades, que geralmente ocorre por meio de criação de barreiras (DE ALMEIDA BARBOZA, DE OLIVEIRA, 2022). A adoção dessas barreiras, cria o que Spagnollo e Almeida (2021) denominam de efeito barreira e pode ser citado como um dos condicionantes da eficiência da mobilidade urbana.

A Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM) pode ser citada como um exemplo desse efeito barreira que compromete a locomoção dos transeuntes nos municípios em que está inserida, impactando cidades ao longo dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo.

De modo a minimizar os efeitos dessa barreira e garantir que as taxas de segurança nas ferrovias sejam altas, faz-se necessário não apenas a implantação de obras de artes, (como passarelas, viadutos e passagens inferiores) que permitam a transposição da ferrovia, mas também é crucial vedações eficientes no direcionamento do fluxo a

passagens seguras e regulamentadas (DE ALMEIDA BARBOZA, DE OLIVEIRA, 2022).

Muitas podem ser as tipologias de vedações que atestem a essa funcionalidade e permitam o correto direcionamento de veículos e pedestres. De modo geral, vedações em blocos de concreto são usualmente encontradas. Essa tipologia se destaca por demandar de mão de obra simples e ter custos reduzidos com materiais e maquinários (DA CRUZ, DE MARCO E FLORIAN, 2022).

Além das vedações em bloco, vedações de estrutura aparente de concreto armado também são encontradas (MEDEIROS, LIRA E FERREIRA, 2015). No contexto ferroviário algumas características de vedações em placas de concreto pré-moldadas, se comparadas, por exemplo, com vedações em blocos de concreto, podem ser elencadas:

- Maior robustez e durabilidade devido às propriedades intrínsecas do concreto armado, além de minimizar as fragilidades que podem ser trazidas pelas juntas de argamassa entre os blocos;
- A possibilidade de produção em fábrica, dentro de ambiente controlado, reduzindo a geração de resíduos e propiciando o adequado descarte de materiais;
- Menor exposição de pessoas próximas ao gabarito da ferrovia, bem como propicia um menor volume de caminhões para transporte de insumos, veículos e equipamentos trafegando próximo aos trilhos;
- Redução de riscos ergonômicos dos profissionais na frente de serviço movimentando insumos para a vedação em blocos;
- Possibilidade de apresentar aberturas em tela eletrosoldada que permitem visualização parcial ao outro lado da vedação, e melhor circulação de vento, aspectos determinantes apresentado por comunidades ao longo da EFVM.

Diante o exposto, o presente trabalho avalia duas tipologias distintas de placas de vedações pré-moldadas em concreto aplicadas ao longo da EFVM.

2. DESENVOLVIMENTO

Considerando a maior produtividade das vedações em placas de concreto pré-moldadas relatadas em literatura (DA CRUZ, DE MARCO E FLORIAN, 2022; MEDEIROS, LIRA E FERREIRA, 2015), e sendo essa a premissa de vedação utilizada, um comparativo de duas tipologias de placas pré-moldadas de concreto utilizadas em vedações ferroviárias será apresentado a seguir de modo a confrontar os dados de custo e produtividade de vedações em bloco fornecidos pelo DNIT (2023). Esse comparativo é baseado no estudo de caso de obras realizadas pela gerência de Novas Ferrovias da Vale S.A. implantadas no ano de 2023 e pode servir de subsídio para a tomada de decisão de concessionárias ferroviárias.

2.1. Materiais

As duas tipologias avaliadas, apresentam como premissa a capacidade de permitir a abertura em tela na parte superior da ferrovia para permitir a visualização parcial, e aberturas na base para permitir a drenagem. Elas apresentam altura de 290 cm se diferem quanto a largura, tipo de encaixe e tipologia de fundação. Para a análise de custos, foram considerados também os insumos referentes as fundações.

A primeira tipologia (Placa Tipo 1), apresenta placas com 185 cm de largura. As fundações dessa tipologia foram concebidas do tipo sapata corrida em concreto simples (sem armação), com vala de 90 cm de profundidade e largura de 50 cm sobre um lastro de 5cm de concreto magro para regularização. A montagem das peças é pelo sistema do tipo encaixe por sobreposição, com fixação mecânica (barra roscada). Este sistema de encaixe permitiu a acomodação da vedação seguindo a topografia do terreno, com aclives e declives mais suaves sendo vencidos através do deslizamento / ajuste vertical entre placas.

Já as Placas Tipo 2, são mais largas, com 240 cm de largura. São prioritariamente adotadas em terrenos planos com menor necessidade de acomodação da vedação devido a topografia do terreno. A fundação é em broca de concreto armado com diâmetro de 70 cm e 135 cm de profundidade em cada uma das extremidades da placa.

Ambas as placas foram dimensionadas conforme diretrizes da NBR 9062 (ABNT, 2017) e as fundações respeitaram as diretrizes da NBR 6122 (ABNT, 2022), bem como todas as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 20023). Vale, no entanto, ressaltar que, diferente da Fundação da Placa Tipo 2, a fundação dimensionada para a Placa Tipo 1 não requer armação uma vez que as tensões são mais bem distribuídas e podem ser resistidas pelo próprio concreto.

Não foi identificado diferenças relevantes no processo de fabricação das placas, de modo a interferir na análise de custos e produtividade nessa etapa em específico, portanto, esse não foi um fator analisado.

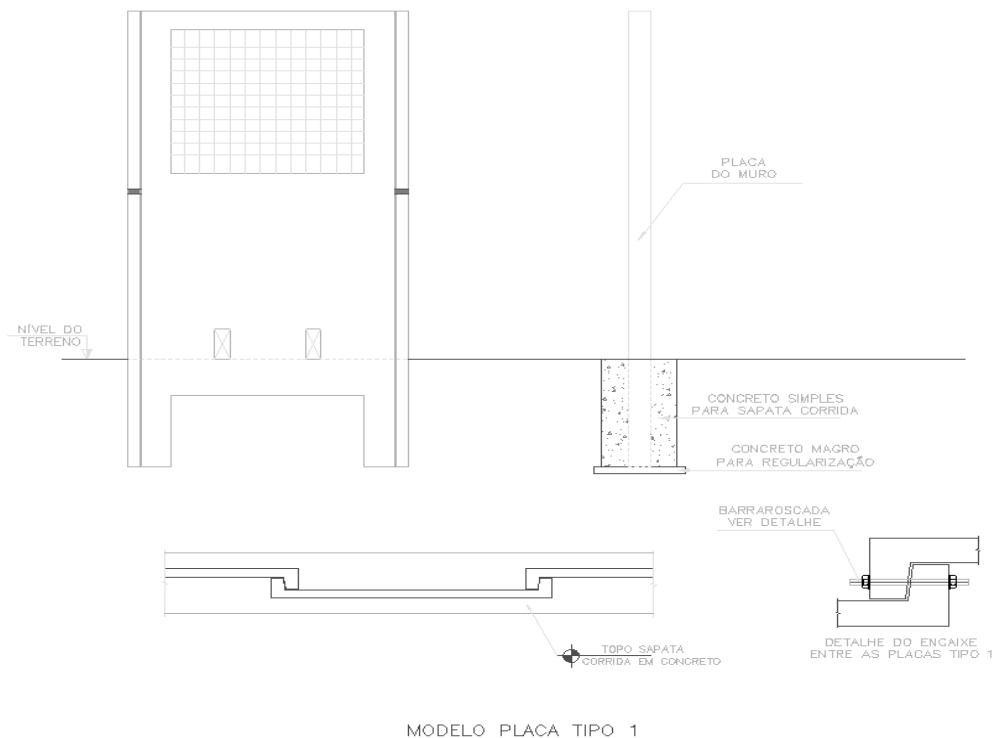


Figura 1. Projeto da Placa Modelo Tipo 1

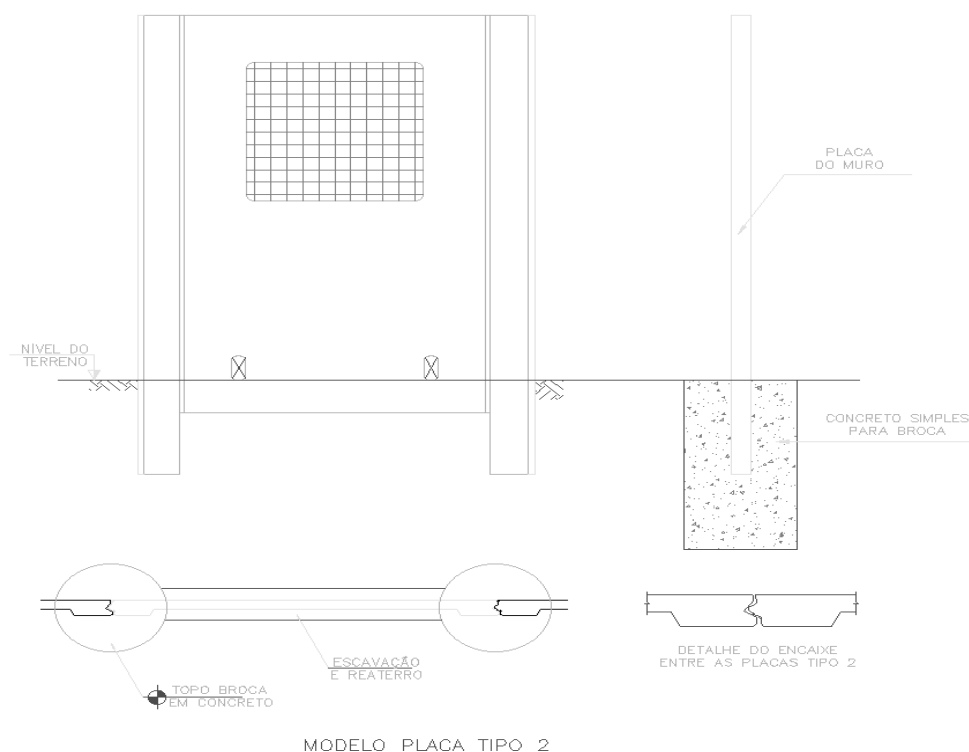


Figura 2. Projeto da Placa Modelo Tipo 2

As principais propriedades das placas estão indicadas na Tabela abaixo:

Tabela 1. Propriedades das Placas Tipo 1 e Tipo 2

Propriedades das Placas	Placa Tipo 1	Placa Tipo 2
Altura da placa em relação ao nível do terreno (m)	2,90	2,90
Altura engastada na fundação (m)	0,90	0,75
Largura da placa (m)	1,85	3,40
Largura útil (m)	1,67	3,40
Peso da Placa (t)	1,07	1,38
Volume de Concreto (m ³)	0,39	0,55
Peso de Armação / Tela (kg)	60,40	85,18

2.2. Métodos

Considerando as particularidades de encaixe, principais insumos de fundação e diferença na largura das placas, foram avaliados os custos, por metro linear de vedação, bem como aferida a produtividade registrada na frente de serviço, conforme descrito a seguir.

De acordo com o Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO - do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Outubro de 2023) para Minas Gerais (DNIT, 2023), as referências para alvenaria de blocos de concreto 19 x 19 x 39 cm com espessura de 20 cm – areia comercial, considerando uma equipe com 2 pedreiros e 2 serventes, em uma jornada útil de 6,38h, tem-se os seguintes dados:

- Custo unitário direto total: R\$ 221,20 / m². Considerando uma altura de 2,90 m, a mesma altura considerada para as placas de vedação, tem-se R\$ 641,48 por metro linear de vedação.
- Produtividade: 12,76 m²/dia. Considerando uma altura de 2,90 m, tem-se 4,40 metros lineares de vedação.

Os resultados supracitados estão aderentes a dados anteriores registrados pela Vale, no entanto, para o presente estudo, o foco foi a comparação entre as duas placas pré-moldadas. Esses dados, no entanto, são considerados na análise do presente trabalho de modo a confrontar a bibliografia.

2.2.1. Custos

O valor indicado para cada placa foi obtido por meio da estratificação de cada componente da placa, sendo cada um desses itens precificado conforme Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO - do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes de Outubro de 2023 (DNIT, 2023). Da mesma forma, considerando cada um dos itens necessários à execução, foi determinado o preço unitário da fundação de cada uma das tipologias da placa. Vale reforçar que o dimensionamento das placas e detalhamento do projeto estão de acordo com as normas técnicas vigentes NBR 9062 (ABNT, 2017), NBR 6122 (ABNT, 2022) e NBR 6118 (ABNT, 20023).

Para determinar os custos de fundação, todos os componentes também foram considerados individualmente conforme valores determinados pela base SICRO.

Devido a variação do encaixe da placa e da tipologia de fundação, a análise comparativa considerou o metro linear de vedação.

2.2.2. Produtividade

A análise da produtividade de cada uma das tipologias das placas foi avaliada com base nas métricas realizadas durante a implantações de vedações pela Vale S.A.

A produtividade da implantação da placa Tipo 1 foi avaliada em trechos ao longo da EFVM no município de Nova Era, Minas Gerais. Já a produtividade da placa Tipo 2 se deu com base nos resultados obtidos das implantações nas cidades de Aimorés, Minas Gerais e Baixo Guandu, Espírito Santo. As atividades ocorreram nos anos de 2022 e 2023.

Os dados de produtividade aferidos consideram a quantidade média de placas implantadas, considerando atividades auxiliares, como, por exemplo, a aplicação da barra roscada entre as Placas Tipo 1, e todas as etapas de fundação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os custos aferidos para cada uma das placas e suas respectivas fundações, por metro linear estão identificados na Tabela 2, bem como a produtividade por dia da montagem de cada placa. É importante ratificar que a largura útil da placa tipo 1 apresenta uma largura útil diferente da largura total da placa devido à sobreposição ocorrida no momento do encaixe entre duas placas. Tal situação não ocorre na segunda tipologia, uma vez que não há sobreposição, de modo que para a Placa Tipo 2, a largura útil corresponde a largura da própria placa.

Tabela 2. Custo e Produtividade de Implantação das Placas Tipo 1 e Tipo 2

	Placa Tipo 1	Placa Tipo 2
Preço Unitário da Placa (R\$)	1.016,43	1.481,08
Largura útil (m)	1,67	3,40
Preço da placa (sem fundação) por metro linear (R\$/m)	608,64	435,61
Preço da fundação por metro linear de placa (R\$/m)	485,16	387,49
Preço total placa + fundação por metro linear (R\$/m)	1.093,80	774,98
Montagem de unidade de placa por dia (um/dia)	12	9
Metro linear de vedação por dia (m/dia)	20,04	21,6

Considerando os valores supracitados, nota-se que a adoção da placa tipo 2 e toda a metodologia de fundação proposta para ela, impacta em aproximadamente 30% de redução nos custos de implantação, além de uma maior produtividade. Ambos os processos de montagem envolvem o içamento por meio de caminhão Munck.

Apesar da redução de custo e da maior produtividade, o aumento registrado de aproximadamente 8% foi muito aquém das expectativas. Era esperado que o fato da placa Tipo 2 ser maior resultasse em montagem de mais placas em um mesmo dia, levando, naturalmente, a uma maior taxa de vedação linear, e não foi exatamente o que ocorreu na prática ainda que tenha o registro de maior produtividade.

A ideia de aplicar placas maiores e com um encaixe que dispensasse o uso da barra roscada para interligação era agilizar o processo de montagem e aumentar a segurança evitando a possibilidade de pensamento das mãos no momento de encaixe. Porém, no controle da atividade, foi observado que a interligação proposta para a placa tipo 2 foi mais morosa que o encaixe e a aplicação da barra na placa tipo 1. Ademais, não foi observado impacto na segurança comparando as duas tipologias de placa.

Já no viés da fundação, a tipologia das bases adotadas exerceu um papel bastante relevante. O uso de brocas mais profundas adotadas na placa tipo 2, não se mostrou eficiente tampouco contribuiu com o procedimento de montagem das placas. Para essa tipologia, além da necessidade de reaterro entre as brocas, a concretagem ocorria em duas etapas com a presença de forma para o encaixe da placa na primeira etapa, e uma segunda etapa de concretagem após a presença da placa.

Diante o exposto, a imprevisibilidade da fundação da Placa tipo 2, bem como os riscos de interferência que a envolvia, se mostrou um ponto crítico no cronograma da obra, diferente da placa tipo 1, que não apresentou problemas quanto a escavação. Ambos os processos de escavação foram realizados com escavadeiras, no caso da placa tipo 2, com o trado acoplado.

Não obstante, a adoção da placa tipo 2, por ser mais profunda, encontrou na região em que foi aplicada um solo mais resistente, o que no caso estudado, danificou algumas brocas e propiciou a improdutividade.

Outrossim, essa tipologia contribuiu para uma maior dificuldade de locação das brocas devido a maior interferência. Além da profundidade, o fato de o diâmetro ser maior se mostrou relevantes diante as tubulações e cabeamentos que naturalmente são dispostos na proximidade da ferrovia, sendo, portanto, menos indicada em áreas com pouca flexibilidade para definição do projeto locacional da vedação. Para quaisquer tipologia de vedação próximas a ferrovia, é importante o mapeamento prévio das interferências subterrâneas, porém, dada as particularidades da fundação adotada na Placa Tipo 2, esse mapeamento mostrou-se crucial nas atividades avaliadas.

Uma das vantagens observadas na placa tipo 2 frente a placa tipo 1 é a segurança durante o escoramento. O fato de a concretagem ocorrer em duas etapas, e a fôrma deixar um nicho com pouca folga para o encaixe da base da placa na fundação, faz com que haja pouco espaço para a movimentação da placa durante o estado fresco do concreto durante a segunda etapa. Diferentemente, para a placa tipo 1, é necessário maior cuidado durante o escoramento da placa para garantir a solidarização entre os dois elementos.

A Figura 3 ilustra o posicionamento da placa tipo 2 após a primeira etapa de concretagem e o processo de cura necessário. Na Figura 4 é possível perceber o cuidado com o escoramento das placas.



Figura 3. Posicionamento da placa tipo 2 após a primeira etapa de concretagem



Figura 4. Içamento da placa tipo 1 e indicação de escoramento

As Figuras 5 e 6 mostram as placas já instaladas. Vale observar que a placa tipo 2 permite melhor alinhamento das aberturas na base que permitem a drenagem. Isso ocorre devido ao fato de todas as placas estarem apoiadas no lastro de concreto magro, diferente do proposto para a base tipo 2, em que a altura do engaste depende da correta e bem aferida colocação da forma após a primeira concretagem. Esse fato pode ser preocupante caso a placa tipo 2 seja posicionada em uma altura muito superior ao previsto, reduzindo o engaste da placa na fundação. Dessa forma, vale pontuar que a fundação proposta para a tipologia da placa tipo 1 é um fator que facilita a execução com maior qualidade para essa tipologia. Conforme visto nas imagens mencionadas, não há indícios de falta de desalinhamento na tipologia tipo 2, mas esse deve ser um ponto de atenção a ser observado no ato da execução das atividades.

Ambas as tipologias de placas pré-moldadas, se comparadas a vedação em bloco vão de encontro ao apresentado na bibliografia e apresentam maior produtividade e maior custo. A Tabela 3 compila os dados registrados no presente estudo de caso para as placas pré-moldadas e confronta com os valores sugeridos para a vedação em bloco conforme base SICRO (DNIT, 2023).

Tabela 3. Custo e Produtividade de Implantação das Placas Tipo 1 e Tipo 2 (aferidas no presente estudo de caso) e vedação em bloco de concreto conforme base SICRO (DNIT, 2023)

	Preço total placa + fundação por metro linear (R\$/m)	Produtividade em metro linear de vedação por dia (m/dia)	Aumento do custo (%)	Aumento de produtividade (%)
Vedação em Bloco (Referência)	641,48	12,76	-	-
Placa Tipo 1	1.093,80	20,04	70,51%	57,05%
Placa Tipo 2	774,98	21,6	20,81%	69,28%

Se comparada a placa Tipo 1, tem-se um custo de vedação até 70,51% superior no caso da estrutura pré-moldada. Por outro lado, considerando a produtividade da placa Tipo 2, o desempenho da vedação pré-moldada é aproximadamente 69,28% maior que a sugerida para a vedação em bloco.



Figura 5. Placa tipo 1 após a implantação



Figura 6. Placa tipo 2 após a implantação

4. CONCLUSÃO

É indiscutível a maior produtividade de placas de concreto pré-moldadas para fins de vedação se comparado a muro em blocos de concreto, bem como o maior custo associado a tipologia pré-moldada. Visando redução de custo e avaliando as duas tipologias distintas de vedações pré-moldadas, a expectativa de aumento na produtividade e redução de custos se materializou e a placa de maior largura se mostrou mais econômica com ligeiro aumento de produtividade. No entanto, é notório que, apesar dos ganhos obtidos, as condições da ferrovia devem ser levadas em consideração, bem como as condições do terreno.

Como sugestão para maior assertividade na escolha da tipologia, recomenda-se avaliar as condições locais de implantação das vedações, considerando desde o transporte e a escavação até a relação com a comunidade e análise de riscos envolvendo a ferrovia. Ademais, as características da obra, a confiabilidade dos equipamentos adotados, e todo o cronograma de montagem de placas deve ser considerado de modo a garantir que todas as características da placa tipo 2, sendo essa a escolhida, não comprometam o andamento das atividades em campo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial a toda a equipe de novas ferrovias Vale.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 6118:2023 - Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro 2023.

ABNT. NBR 6122:2022 - Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro 2023.

ABNT. NBR 9062:2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro 2023.

DA CRUZ, Maycon Esteves; DE MARCO, Gerson; FLORIAN, Fabiana. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ALVENARIA E PAREDE DE CONCRETO: VANTAGENS E DESVANTAGENS. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 3, n. 1, p. e3102108-e3102108, 2022.

DE ALMEIDA BARBOZA, Lucas; DE OLIVEIRA, Lorena Regina. Vantagens econômicas e sustentáveis da logística ferroviária brasileira. Revista Cesumar-Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, v. 27, n. 1, p. e10368-e10368, 2022.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – MG 10-2023 - Relatório Analítico de Composições de Custos, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria Geral, Diretoria Executiva, Brasília, 2023.

MEDEIROS, Ana Elisabete; LIRA, Flaviana; FERREIRA, Oscar. A preservação do patrimônio ferroviário moderno: a Estação Bernardo Sayão, Núcleo Bandeirante--DF. 2015.

SPAGNOLLO, Pricila; ALMEIDA, Caliane. O impacto do efeito barreira na mobilidade urbana sustentável. Revista de Arquitetura IMED, v. 10, n. 2, p. 1-16, 2021.

COMPARISONS OF TWO PRECAST CONCRETE PLATE TYPE TO RAILWAY WALL – A CASE STUDY

ABSTRACT

To ensure safety in railway, it is not only necessary to implement special structures as bridges and walkway, but also to fence the surroundings of the railways properly and effectively, in order to direct vehicles and pedestrians to these safe crossings. One of the most found forms of wall are in concrete blocks. As an alternative, there are also precast concrete plate, which allow some modification to allow to attend some community desires. Thus, the present work evaluates the costs and productivity of two different typologies of precast concrete plates and compares them with data presented on the cost and productivity of concrete block walls. The database used as a reference was the System of Referential Costs of Works - SICRO - of the Brazilian National Department of Transport Infrastructure (October 2023) for Minas Gerais. The results showed that precast plates, despite a higher cost, have greater agility of execution. On the other hand, gauging the performance of the two different precast concrete plates models and foundations, it is concluded that the analyzed plate with greater width represented a 30% reduction in costs and 8% higher performance. However, some observations are presented in order to ensure greater assertiveness in the choice between the two precast plates typologies presented.

Keywords: Railway Wall; Precast Plates; Urban Mobility