

Análise do Comportamento de Caixas de Gabião Soldado por Meio de Ensaios de Compressão em Ambiente Laboratorial

Gisleine Coelho de Campos

Pesquisadora, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil, gisleine@ipt.br

Rafael da Fonseca

Pesquisador, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil, rfonseca@ipt.br

Gelmo Chiari Costa

Gerente de Negócios, Belgo Bekaert Arames Ltda., Contagem-MG, Brasil, gelmo.chiari@belgo.com.br

RESUMO: O trabalho descreve a montagem, os procedimentos e os resultados de ensaios laboratoriais inovadores, realizados em 10 caixas de diferentes tipologias de gabiões com dimensões aproximadas de 1x1x1 m, não confinadas, submetidas ao esforço de compressão. As variáveis experimentais foram tipos de malha, tirantes e tamanho das pedras. Os ensaios tiveram por objetivo o desenvolvimento de uma análise comparativa da deformabilidade das caixas, mensurando deslocamentos horizontais nas quatro faces e verticais de cada caixa, sob condições controladas de carregamento vertical uniformemente distribuído. Os resultados obtidos indicam que os gabiões de malha hexagonal, de dupla torção, tradicionalmente usados nas obras geotécnicas no Brasil, suportam menos carga, mas apresentam, pela sua configuração de malha tecida e características geométricas, maior flexibilidade, atingindo assim as maiores deformações. Já os gabiões de malha soldada, quadrada ou retangular, confeccionados com arames de aço-carbono de mais alta resistência e maior bitola, suportam carregamentos mais elevados. Os resultados dos ensaios são apresentados de forma comparativa, comentados e ilustrados com fotos dos ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: Gabião, Ensaio de Compressão, Laboratório, Deformação

ABSTRACT: This paper describes the assembly, procedures and results of innovative laboratory tests, carried out in 10 boxes of different types of gabions with approximate dimensions of 1x1x1 m, unconfined, subjected to compression stress. The experimental variables were types of mesh, anchors and stone size. The tests aimed to develop a comparative analysis of the deformability of the boxes, measuring horizontal displacements on the four faces and vertical displacements of each box, under controlled conditions of uniformly distributed vertical loading. The results obtained indicate that double-twisted hexagonal mesh gabions, traditionally used in geotechnical works in Brazil, support less load, but present, due to their woven mesh configuration and geometric characteristics, greater flexibility, thus achieving greater deformations. Square or rectangular welded mesh gabions, made with higher strength carbon steel wires and larger gauge, support higher loads. The results of the tests are presented in a comparative way, commented and illustrated with photos of the tests.

KEYWORDS: Gabion, Compression Test, Laboratory, Deformation

1 INTRODUÇÃO

Gabiões são estruturas seculares de apreciável aplicação na construção civil por proverem uma construção robusta, seca, singular na utilização de pedras associadas a cestos aramados, que, na modalidade

de caixas, são capazes de conterem maciços terrosos ou constituírem barreiras especiais pela ação do peso próprio e comportamento estrutural marcado por elevada capacidade de deformação e drenagem.

Na América Latina há um predomínio quase que absoluto dos gabiões produzidos a partir da tecitura de arames de aço carbono galvanizados com uma liga de Zinco Alumínio numa malha de formato hexagonal, caracterizada por uma dupla torção destes arames a cada formação de novo hexágono. O processo industrial desta tecelagem da malha hexagonal demanda arames com resistência mecânica da ordem de 400 MPa e o range de bitolas dos arames fica situado entre 2,00 a 3,00 mm, como descrito pelas normas técnica brasileiras ABNT NBR 8964 e NBR 10514.

A Alemanha tem marcante avanço na tecnologia de gabiões soldados, não só pelo significativo histórico de avanço industrial das plataformas de telas eletrossoldadas, mas também por um sistema integrado da qualidade de toda cadeia industrial das obras de gabiões. As duas normas técnicas internacionais de referência para gabiões de malha soldada são: DIN EN 10223-8, 2013 e ASTM A 974 -97 (Reapproved 2021).

Via de regra, gabiões em malha soldada possuem maior variação dimensional de malhas quadradas ou retangulares, constituídas de fios mais grossos, entre 3,00 a 6,00 mm, com patamares de resistência mecânica acima de 500 MPa, o que confere às caixas uma maior robustez, rigidez estrutural e autoportabilidade. Por sua vez, estas características permitem possibilidades específicas de usos estruturais, de mecanização do preenchimento e de exploração aspectos de ordem estética.

O arcabouço normativo internacional e os avanços em projetos geotécnicos estruturais e dos aspectos construtivos de estruturas de gabiões de malha soldada em muros de gravidade, emprego de gabiões em paramentos frontais de obras de solo reforçado, variantes de muros de gabiões em barreiras especiais e em aplicações arquitetônicas suscitam estudos comparativos entre diferentes tipologias de gabiões como o presente trabalho, pelo qual diferentes configurações de gabiões de malha hexagonal e soldada foram submetidos ao esforço de compressão axial.

Para realização dos ensaios de compressão axial foi utilizado um pórtico metálico e um conjunto de instrumentos de leitura e aplicação dos carregamentos, composto por LVDTs (transdutor de deslocamento variável linear), defletômetros de roldana, células de carga e macaco hidráulico. Soma-se a esses um sistema de referência para as medidas de deslocamentos, constituído por tubos e bases metálicas, e um dispositivo para arraste e posicionamento das caixas na prensa de ensaio. Os resultados obtidos mostraram grande variabilidade do comportamento entre as diferentes caixas, diretamente associadas ao tipo de malha e posicionamento dos tirantes.

2 CARACTERÍSTICAS DAS CAIXAS DE GABIÃO ENSAIADAS

As caixas submetidas aos ensaios de compressão em laboratório possuíam as características apontadas na Tabela 1. Esta tabela descreve em suas colunas o número do corpo de prova, a descrição do tipo de gabião ensaiado, podendo variar em malha hexagonal de dupla torção (aqui denominados Tipo A) e malhas eletrossoldadas. Dentre as malhas eletrossoldadas foram avaliados os gabiões de arame de aço carbono revestidos com liga ZnAl tendo painéis com bordas sem franjas, unidos entre si para formação das caixas por intermédio de conectores em espirais aramados (Tipo B), e os gabiões de arame de aço carbono revestidos, com painéis munidos de olhais soldados pelos quais um pino aramado é introduzido para a união entre as arestas da caixa (Tipo C).

Em gabiões, são comumente empregados elementos aramados de reforços que conectam faces verticais de uma dada caixa. Estes elementos, embora relativamente discretos, são chamados de tirantes e desempenham importante papel de controle da deformação horizontal das faces. Na presente pesquisa, atirantando horizontalmente cada caixa nas duas direções ortogonais, foram avaliados três tipos de tirantes, empregando arame de amarração, arame de alta resistência e tirantes pré-fabricados. Nas tipologias de gabiões modulares eletrossoldados, além de ser empregado tirantes pré-fabricados, variando entre duas ou três linhas de tirantes.

Finalmente, quanto ao material pétreo de enchimento dos gabiões, foi adotado um material de rocha britada na classificação pedra de mão (diâmetro equivalente de 150 a 300 mm) e pedra de calçamento poliédrico, também conhecida como pedra calçadinha (diâmetro de 100 a 150 mm).

Tabela 1. Características das caixas de gabiões.

Nº CP	Tipologia do Gabião	Tipologia dos Tirantes	Nº de Tirantes	Tamanho da pedra
01	Gabião Hexagonal Tipo A, malha 8x10 cm, fio 2,70 mm, conexões de arestas por arame de amarração 2,20 mm	Tirante convencional (Arame de amarração 2,20 mm)	2 linhas de 2 tirantes transversais, 4 elementos, à altura do 1º e 2º terço	Convencional (pedra de mão)
02	Gabião Hexagonal Tipo A, malha 8x10 cm, fio 2,70 mm Conexões de arestas por arame de amarração 2,20 mm	Tirante resistenciado (Arame de alta resistência 2,20 mm)	2 linhas de 2 tirantes transversais, 4 elementos, à altura do 1º e 2º terço	Convencional (pedra de mão)
03	Gabião Tipo B, malha 5x10 cm, fio 4,00 mm, conexões de arestas em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas no alicate	02 linhas de tirantes de cantos (08 elementos) a 30/30 cm	Convencional (pedra de mão)
04	Gabião Tipo B, malha 5x10 cm, fio 4,00 mm, conexões de arestas em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas no alicate	03 linhas de tirantes de cantos (12 elementos) a 20/30/30 cm	Convencional (pedra de mão)
05	Gabião Tipo B, malha 5x10 cm, fio 4,00 mm, conexões de arestas em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças travadas por presilhas	02 linhas de tirantes de cantos (08 elementos) a 30/30 cm	Convencional (pedra de mão)
06	Gabião Tipo B, malha 10x10 cm, fio 4,00 mm, conexões em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas no alicate	02 linhas de tirantes de cantos (08 elementos) a 30/30 cm	Convencional (pedra de mão)
07	Gabião Tipo B, malha 5x10 cm, fio 4,00 mm, conexões de arestas em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas no alicate	02 linhas de tirantes de cantos (08 elementos) a 30/30 cm	Pedras de mão de pequena dimensão (calçadinha)
08	Gabião Tipo B, malha 5x10 cm, fio 4,00 mm, conexões de arestas em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas no alicate	03 linhas de tirantes de cantos (12 elementos) a 20/30/30 cm	Pedras de mão de pequena (calçadinha)
09	Gabião Tipo B, malha 5x10 cm na vertical e 10x10 cm na horizontal, fio 4,00 mm, conexões em espirais 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas com alicate	02 linhas de tirantes de cantos (08 elementos) a 30/30 cm	Pedras de mão de pequena (calçadinha)
10	Gabião Tipo C, malha 10x10 cm fio 4,50 mm	Tirantes 5,00 mm alças dobradas no alicate	02 linhas de tirantes de cantos (08 elementos) a 30/30 cm	Pedras de mão de pequena (calçadinha)

3 INFRAESTRUTURA LABORATORIAL

Para o ensaio das caixas de gabiões usou-se o pórtico ilustrado na Figura 1, com capacidade para até 1.000 kN. A aplicação dos carregamentos se deu por meio de macaco hidráulico, com uso de célula de carga

para melhor controle dos estágios de carregamento e descarregamento. Os dispositivos foram previamente aferidos e calibrados.

Para medida dos deslocamentos verticais foram empregados LVDTs (transdutores de deslocamento variável linear), com curso nominal de 100 mm, apoiados sobre placas de vidro coladas nas extremidades da chapa de aço usada para distribuição dos carregamentos.

Para medir os deslocamentos horizontais também se usaram LVDTs, dispostos horizontalmente sobre discos de acrílicos, fixados a um sistema de mola e arame galvanizado, para acompanhar as movimentações horizontais da tela de aço da caixa. Esse sistema foi usado em duas faces da caixa, com medidas em quatro diferentes posições ao longo da altura, tendo-se sempre um instrumento nas alturas correspondentes à posição dos tirantes internos. Nas outras duas faces posicionou-se, no centro do plano, um defletômetro de roldana.

Todos os dispositivos de medida dos deslocamentos foram fixados a sistemas de referência fixos, especialmente montados para o ensaio. Para os medidores dos deslocamentos verticais empregou-se um pórtico feito com tubos metálicos para escoramentos, diretamente apoiados na laje de piso do laboratório. Para os deslocamentos horizontais empregaram-se estruturas rígidas de aço, também apoiadas na laje. A laje de piso foi projetada para suportar os esforços oriundos do pórtico e já foi previamente monitorada, podendo-se admiti-la fixa frente aos carregamentos aplicados nos ensaios.



Figura 1. Aparato usado nos ensaios em laboratório.

4 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

As caixas de gabões chegaram prontas ao laboratório, sobre *pallets* de madeira, com uma placa de madeirite de 5mm entre o fundo da peça e o *pallet*, para facilitar a movimentação e o posicionamento na prensa de ensaio.

Após o descarregamento das caixas por meio de empilhadeira, estas foram posicionadas no pátio externo coberto existente ao lado do Laboratório. Nesse local, todas as peças tiveram suas dimensões registradas em planilha e foram fotografadas. Com as dimensões registradas, fez-se a medida da massa de cada caixa, visando à determinação da sua densidade. Para tanto, cada caixa foi posicionada sobre uma base rígida de aço, com ajuda de empilhadeira e, posteriormente, o conjunto todo foi suspenso por faixas, com dinamômetro acoplado no eixo superior, previamente aferido. Da massa indicada pelo sistema foi descontada a massa correspondente à base rígida.

Para posicionamento das caixas na prensa de ensaio foi montado um dispositivo de arraste, composto por cantoneiras metálicas, cabos de aço e um sistema hidráulico, visando minimizar ao máximo a deformação da caixa durante a etapa de transporte e montagem do ensaio. Após o posicionamento na prensa, fez-se novo registro das dimensões da peça, a fim de se detectar quaisquer influências do processo na geometria inicial das peças.

Os ensaios foram feitos, inicialmente, por meio do carregamento rápido, em 10 estágios de aproximadamente 60 kN cada, com duração média de 10 minutos, até o máximo de 600 kN ou ruptura da

caixa. A duração dos estágios sofreu variações em virtude das dificuldades de manutenção dos carregamentos frente à deformabilidade das caixas. A aplicação dos carregamentos foi feita por meio do conjunto macaco hidráulico e célula de carga, sobre um sistema de distribuição de cargas composto por placas de aço, disposto sobre as caixas. O descarregamento foi programado para ser feito em 5 estágios de 120 kN cada, com duração de 5 minutos. Com os resultados dos primeiros testes, alteraram-se os estágios de carga para 30 kN e duração de 5 min, na fase de carregamento; para o descarregamento, quando possível, fez-se de três a quatro estágios, com duração mínima de 2 minutos cada.

O valor do carregamento foi medido por célula de carga. Os deslocamentos verticais e horizontais foram medidos por LVDTs e defletômetros de roldana, com precisão de 0,01mm. Foram utilizados quatro instrumentos para medida dos deslocamentos verticais (D1 a D4) na face superior dos blocos, junto à placa de distribuição dos carregamentos, e outros 10 instrumentos distribuídos nos planos verticais das quatro faces (D5 a D8 na Face A, D9 a D12 na face B, D13 na face C e D14 na Face D), para medida dos deslocamentos horizontais. Nos planos verticais foram fixados cabos de aço em nós da tela, para serem usados como pontos de medida dos deslocamentos. Nas faces A e B foram definidos quatro pontos para medida dos deslocamentos horizontais, sendo dois nos planos dos tirantes e outros dois em posições intermediárias (posição variável conforme a tipologia da caixa). Nas faces C e D, diametralmente opostas as faces A e B, foi posicionado apenas um dispositivo, tipo defletômetro de roldana, no centro da altura.

Todos os sensores de deslocamento foram fixados a sistemas de referência fixos e independentes do pórtico de aplicação dos carregamentos, como descrito anteriormente. A cada estágio de carregamento foi feita também uma avaliação visual e registros fotográficos para identificação de eventuais rupturas da tela, deformações excessivas, fuga de pedras, entre outras ocorrências.

5 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados obtidos indicam que os gabiões de malha hexagonal (Tipo A), de dupla torção, tradicionalmente usados nas obras geotécnicas no Brasil, suportam menos carga (média de 286 kN), mas apresentam, pela sua configuração de malha tecida e características geométricas, maior flexibilidade, atingindo assim as maiores deformações (Figura 2). Já os gabiões de malha soldada, quadrada ou retangular, confeccionados com arames de aço-carbono de mais alta resistência e maior bitola, com maior taxa de aço por unidade volumétrica, suportam carregamentos da ordem de 580 kN, tendo deformadas que dependem diretamente da qualidade do preenchimento de topo, da bitola dos fios, tipo de conexão, do número e disposição dos tirantes (Tipo B). Nas tipologias de malha soldada do tipo C, com fio 4,00 mm, observou-se que as conexões em espirais aramados de 4,50 mm possibilitam um maior grau de liberdade para os deslocamentos de cada face, influenciando um comportamento deformacional moderado. Já a malha soldada com fios de bitola 4,50 mm, com conexão em olhais soldados e pino de travamento de 6,00 mm, pela sua maior rigidez estrutural, apresenta incremento da capacidade de carga e reduzida deformação (Figura 3).

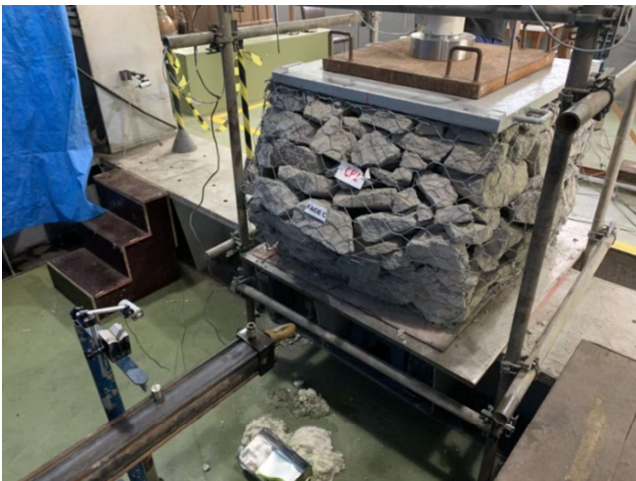


Figura 2. Deformação da caixa com malha hexagonal (Tipo A).



Figura 3. Deformação da caixa com malha de aço carbono revestido e pinos de conexão (Tipo C).

As Figuras 4 a 6 resumem os resultados dos ensaios realizados, em termos de cargas máximas atingidas e de deslocamentos, médios no plano horizontal superior (deslocamentos verticais medidos no topo da caixa) e máximo nas faces horizontais instrumentadas. Cabe destacar que o máximo deslocamento horizontal das faces laterais não necessariamente ocorreu a meia altura da caixa. A deformada das faces laterais das caixas depende muito da posição e do tipo dos tirantes.

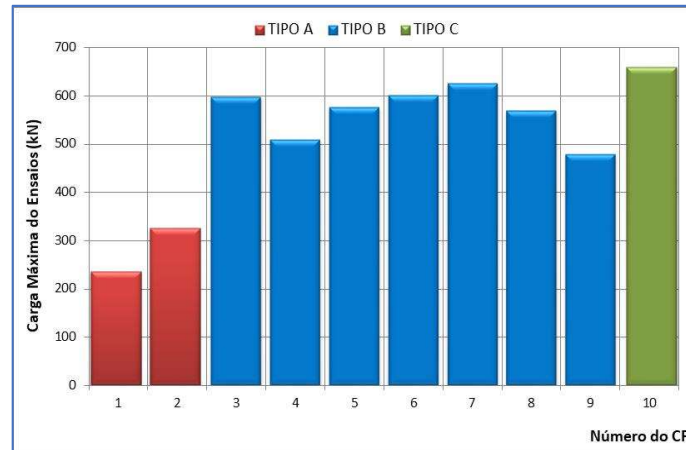


Figura 4. Carga máxima atingida no ensaio.

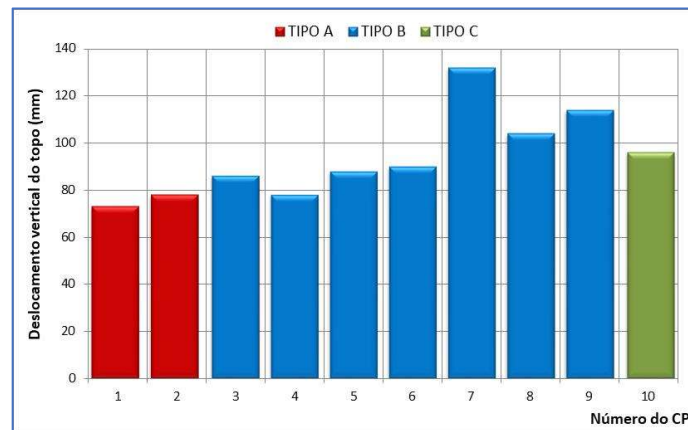


Figura 5. Deslocamentos verticais sob carga máxima.

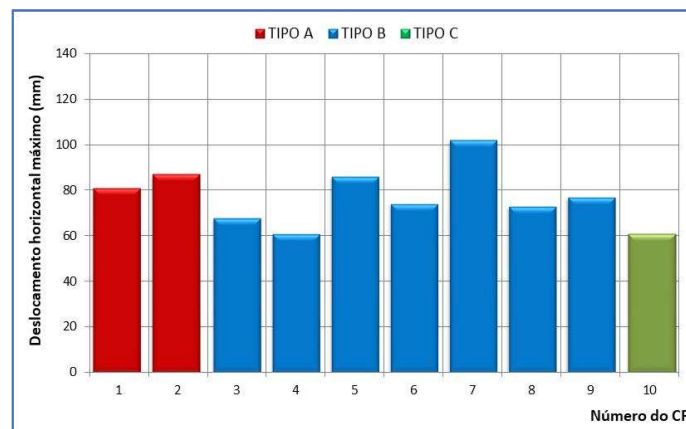


Figura 6. Deslocamento horizontal máximo atingido.

A Figura 7 ilustra o comportamento tensão x deformação dos ensaios que atingiram os maiores carregamentos para cada um dos tipos de gabião estudados (CP2 do Tipo A, CP8 do Tipo B e CP10 do Tipo C). Para o cálculo das deformações foram considerados os valores médios dos deslocamentos verticais,

medidos por 4 LVDTs no topo das caixas, e também a média dos deslocamentos horizontais a meia altura das caixas, em duas faces ortogonais instrumentadas.

No caso do ensaio do CP2, alguns registros sob as tensões iniciais foram perdidos (evidenciado pelo trecho linear inicial do gráfico tensão x deformação vertical). A análise comparativa dos gráficos, apresentados em uma mesma escala, permite afirmar, com base nos ensaios realizados, que os gabiões de malha hexagonal apresentam as maiores deformações quando comparados aos outros, para níveis de tensão similares. Nota-se ainda que, de forma generalizada, as deformações horizontais médias são inferiores às verticais, resultado dos sistemas de travamento das caixas por diferentes tipos e posicionamento dos tirantes. Destaca-se a reduzida deformabilidade da caixa CP 10, cuja deformação horizontal máxima para carregamento da ordem de 700 kPa foi pouco superior a 3%.

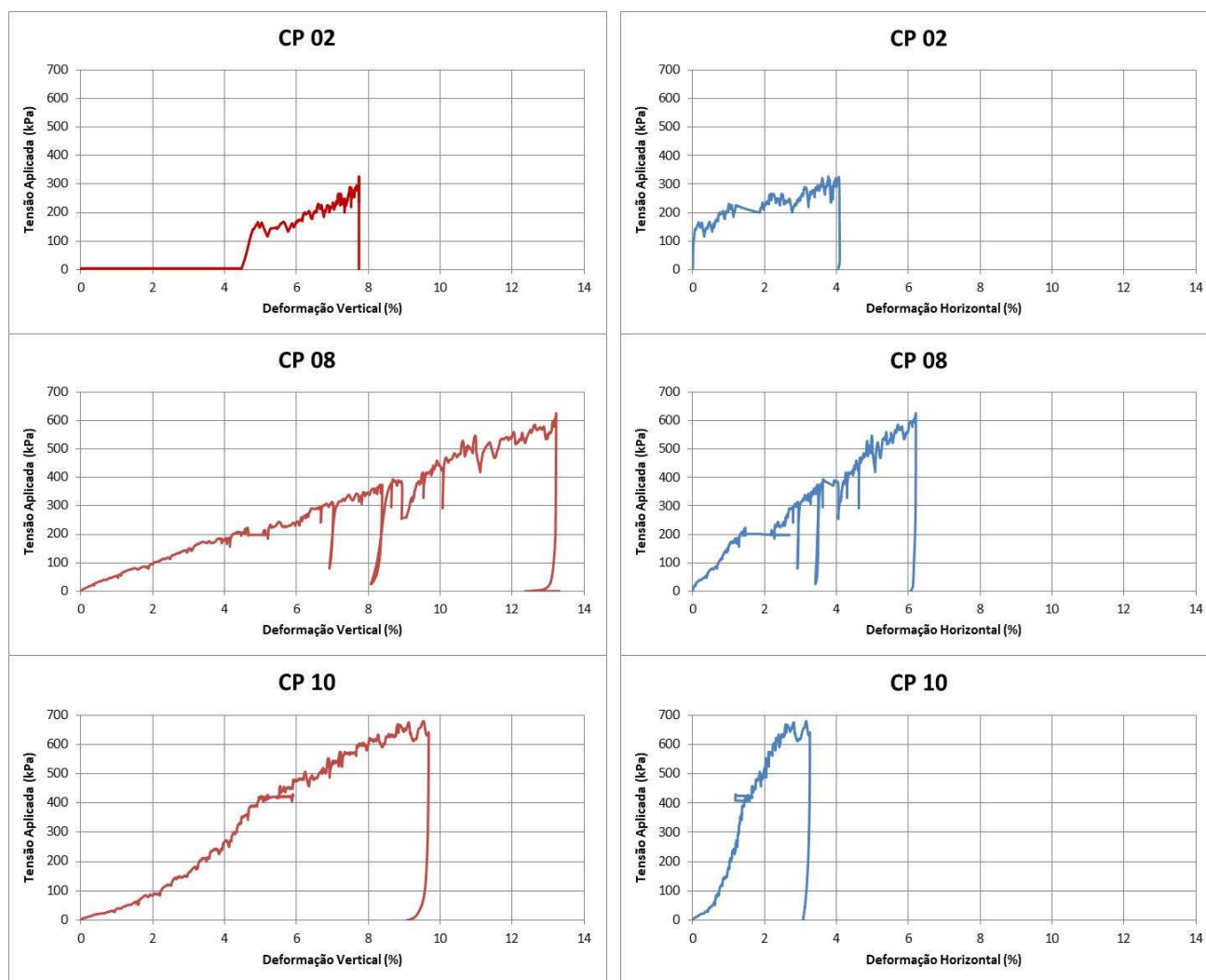


Figura 7. Curvas tensão x deformação vertical e horizontal.

A maior rigidez estrutural e a menor deformação do gabião de malha soldada (Tipo B) observadas nos ensaios em laboratório, comparativamente ao gabião de malha hexagonal, também podem ser vistas nas obras. A Figura 8 ilustra um caso experimental. No ponto central dessa figura ocorre a divisão das duas tipologias: no ramo da direita estão os gabiões tecidos que, pela ação do peso próprio, já sofrem uma deformação imediata; já o ramo da esquerda, em gabião soldado, apresenta-se estabilizado, mantendo as dimensões previstas em projeto.



Figura 8. Muro de gabião experimental, trecho a esquerda em gabião de malha soldada e trecho a direita em gabião de malha tecida.

6 CONCLUSÕES

De forma geral, os ensaios indicaram que as malhas constituídas por arames dos tipos B e C, de aço carbono de alta resistência, revestidos com liga ZnAl, conferem maior resistência às caixas, independentemente do número de linhas de tirantes e das pedras usadas em seu preenchimento. Em termos de deformabilidade, nota-se que a malha do Tipo A, hexagonal de dupla torção tem maior capacidade de absorção de grandes deformações. Algumas rupturas de fios foram observadas nas zonas termicamente afetadas pelas soldas, juntos às arestas; outras, em áreas próximas à da fixação de tirantes, não rompidos.

Em relação ao comportamento tensão x deformação, a maior rigidez estrutural da malha soldada e o emprego de conexões e tirantes pré-fabricados, rigorosamente de mesma dimensão, implicam em uniformidade dimensional e menores deformações de suas faces.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A pelo apoio à pesquisa e a Belgo Bekaert Arames Ltda., que financiou os ensaios no âmbito de um projeto de pesquisa firmado com o IPT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 8964 Arames de aço de baixo teor de carbono, revestidos, para gabiões e demais produtos fabricados com malha de dupla torção. 2013.

_____. ABNT NBR 10514 Redes de aço com malha hexagonal de dupla torção, para fabricação de gabiões. 1988.

ASTM A 974 -97 (Reapproved 2021). Standard Specification for welded wire fabric gabions and gabions mattresses (Metallic-Coated or Polyvinil Chloride (PVC) Coated). 2021

DIN EN 10223-8. Steel wire and wire products for fencing and netting – Part 8: welded mesh gabion products; English version EN 10223-8, 2013.