

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUAN RODRIGUES GARCIA

**DESENVOLVIMENTO DE TAMPA DE POÇO DE VISITA EM CONCRETO
AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS METÁLICAS**

**Alegrete
2025**

LUAN RODRIGUES GARCIA

**DESENVOLVIMENTO DE TAMPA DE POÇO DE VISITA EM CONCRETO
AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS METÁLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ederli Marangon

Coorientador: Me. Rubens Silveira
Meichtry

**Alegrete
2025**

LUAN RODRIGUES GARCIA

DESENVOLVIMENTO DE TAMPA DE POÇO DE VISITA EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS METÁLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05 de dezembro de 2025.

Banca examinadora:

Prof. DSc. EDERLI MARANGON - UNIPAMPA - Orientador
Eng. Me. RUBENS SILVEIRA MEICHTRY - Avaliador Externo - Coorientador
Prof. Dr. LUIS EDUARDO KOSTESKI - UNIPAMPA
Eng. Me. WAGNER DAMBROS FERNANDES - Avaliador Externo



Assinado eletronicamente por **LUIS EDUARDO KOSTESKI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/12/2025, às 08:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDERLI MARANGON, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/12/2025, às 09:25, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **WAGNER DAMBROS FERNANDES, Usuário Externo**, em 11/12/2025, às 17:54, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RUBENS SILVEIRA MEICHTRY, Usuário Externo**, em 12/12/2025, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1922857** e o código CRC **6C34FF44**.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi projetar, desenvolver e avaliar o comportamento mecânico de tampas de bueiro produzidas em concreto autoadensável reforçado com elementos metálicos. Uma tampa foi moldada sem a utilização de barras de aço (SB) e três tampas foram moldadas contendo barras de aço em suas composições (A1CB, 1ªA2CB e 2ªA2CB). Para avaliação da resistência à compressão axial conforme ABNT NBR 5739:2018, foram moldados corpos de prova cilíndricos de diâmetro 100 mm e altura 200 mm. Paralelamente, corpos de prova prismáticos, com dimensões de 100x100x400 mm foram moldados para a determinação da resistência à tração na flexão em 4 pontos de acordo com a ABNT NBR 12142:2010. Para avaliação do comportamento mecânico das tampas produzidas, o ensaio de flexão foi realizado, baseando-se na normativa ABNT NBR 10160:2005 para instrumentação do ensaio e ABNT NBR 7188:2024 como parâmetro de capacidade de carga. Os projetos da tampa de bueiro em concreto e molde em madeira foram realizados no software AutoCAD e para a modelagem de ambos, o software Formit foi utilizado. O molde foi produzido por uma madeireira local e pequenos ajustes nas nervuras foram realizados. Em consequência do bom desempenho do molde, as tampas produzidas apresentaram bom acabamento. Como resultados de resistência à compressão axial, a tensão máxima média e o módulo de elasticidade para a mistura C1A1 foram de 80,46 MPa e 39,58 GPa enquanto para a mistura C1A2, 76,17 MPa e 31,35 GPa. Quanto a resistência à tração na flexão em 4 pontos, as tensões máximas médias obtidas para as misturas C1A1 e C1A2 foram de 18,55 MPa e 18,35 MPa, respectivamente. Com relação ao ensaio de resistência à flexão nas tampas, a tampa A1CB foi a que apresentou a maior carga máxima (61,74 kN), seguida pelas tampas 1ªA2CB (47,79 kN), SB (46,75 kN) e 2ªA2CB (46,54 kN). Ao submeter os valores médios de resistência máxima à compressão axial e os valores de tensão máxima média de tração na flexão em 4 pontos à análise estatística, constatou-se que não houveram diferenças significativas entre C1A1 e C1A2, exceto no módulo de elasticidade das misturas. A carga de 75 kN, estabelecida como objetivo principal, referente ao TB-450 não foi alcançada no ensaio de flexão das tampas, entretanto, todas as tampas apresentaram capacidade de carga superior a 40 kN, referente ao TB-240. Ainda, ressalta-se que a incorporação de barras de aço nas tampas manteve a resistência semelhante à tampa sem barras, porém, contribuiu significativamente

para o incremento de ductilidade e no padrão de fissuração pós-ensaio, o qual foi diretamente influenciado pela presença e disposição dos elementos de reforço e na variação do teor de aditivo superplastificante.

Palavras-chave: Tampa de bueiro; Concreto autoadensável; Fibras metálicas; Materiais compósitos.

ABSTRACT

The objective of this study was to design, develop, and evaluate the mechanical behavior of manhole covers produced from self-compacting concrete reinforced with metal elements. One cover was molded without the use of steel bars (SB), and three covers were molded containing steel bars in their compositions (A1CB, 1^aA2CB, and 2^aA2CB). To evaluate the axial compressive strength according to ABNT NBR 5739:2018, cylindrical test specimens with a diameter of 100 mm and a height of 200 mm were molded. At the same time, prismatic test specimens measuring 100x100x400 mm were molded to determine the flexural tensile strength at 4 points in accordance with ABNT NBR 12142:2010. To evaluate the mechanical behavior of the manhole covers produced, a flexural test was performed based on ABNT NBR 10160:2005 for test instrumentation and ABNT NBR 7188:2024 as a load capacity parameter. The concrete manhole cover and wooden mold designs were created using AutoCAD software, and Formit software was used to model both. The mold was produced by a local lumberyard, and minor adjustments were made to the ribs. As a result of the mold's good performance, the covers produced had a good finish. As results of axial compressive strength, the maximum average stress and modulus of elasticity for mixture C1A1 were 80.46 MPa and 39.58 GPa, while for mixture C1A2, they were 76.17 MPa and 31.35 GPa. As for the flexural strength at 4 points, the maximum average stresses obtained for mixtures C1A1 and C1A2 were 18.55 MPa and 18.35 MPa, respectively. Regarding the flexural strength test on the caps, cap A1CB presented the highest maximum load (61.74 kN), followed by caps 1^aA2CB (47.79 kN), SB (46.75 kN), and 2^aA2CB (46.54 kN). When the average values of maximum axial compression strength and the average maximum tensile stress values in 4-point bending were subjected to statistical analysis, it was found that there were no significant differences between C1A1 and C1A2, except in the modulus of elasticity of the mixtures. The load of 75 kN, established as the main objective for TB-450, was not achieved in the flexural test of the covers; however, all covers had a load capacity greater than 40 kN for TB-240. Furthermore, it should be noted that the incorporation of steel bars in the covers maintained a similar resistance to the cover without bars, but contributed significantly to the increase in ductility and in the post-test cracking pattern, which was directly influenced by the presence and arrangement of the reinforcing elements and the variation in the superplasticizer additive content.

Keywords: Manhole cover; Self-compacting concrete; Metal fibers; Composite materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagens dos locais com furtos de tampa de bueiro	12
Figura 2 – Tampa de bueiro contendo resíduo de vidro	16
Figura 3 – Vistas da tampa de bueiro no software de simulação NASTRAN	17
Figura 4 – Área livre	19
Figura 5 – Disposição das cargas (P)	20
Figura 6 – Procedimento Experimental	21
Figura 7 – Imagens do modelo selecionado da tampa de bueiro em ferro fundido ...	22
Figura 8 – Vistas da modelagem da tampa de bueiro em CAAF.....	22
Figura 9 – Molde em madeira modelado com posicionamento das barras de aço....	23
Figura 10 – Materiais utilizados na produção do CAAF	24
Figura 11 – Misturador CIBI M 600	27
Figura 12 – Etapas de produção do CAAF	28
Figura 13 – Equipamentos para o ensaio do cone de Abrams e medição do espalhamento da mistura	29
Figura 14 – Índice de estabilidade visual da mistura.....	29
Figura 15 – Moldagem dos corpos de prova	31
Figura 16 – Moldagem da tampa.....	31
Figura 17 – Desmoldagem e cura da tampa e corpos de prova.....	32
Figura 18 – Máquina universal de ensaios Instron	33
Figura 19 – Configuração do ensaio de resistência à compressão axial.....	34
Figura 20 – Instrumentação do corpo de prova para o ensaio de resistência à tração na flexão em 4 pontos	35
Figura 21 – Vistas do anel sobre os quatro pilaretes	37
Figura 22 – Ajustes do telar.....	37
Figura 23 – Delimitação da área a receber o carregamento	38
Figura 24 – Instrumentação do ensaio de resistência na tampa	39
Figura 25 – Dimensões do projeto da tampa.....	40
Figura 26 – Projeto do molde	41
Figura 27 – Molde produzido em madeira	41
Figura 28 – Imagens da tampa produzida em CAAF	42
Figura 29 – Curvas de resistência à compressão axial x deformação	43
Figura 30 – Curvas de resistência à tração na flexão em 4 pontos x deslocamento ..	45

Figura 31 – Corpos de prova prismáticos após ensaio de Resistência à tração na flexão em 4 pontos	46
Figura 32 – Curvas de carga x deslocamento obtidas no ensaio da tampa	48
Figura 33 – Tampa danificada na cura	49
Figura 34 – Parte inferior das tampas fissuradas pós ensaio	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas de controle	19
Tabela 2 – Massa específica dos materiais cimentícios.....	25
Tabela 3 – Teor de sólidos e massa específica do SP	25
Tabela 4 – Composição das misturas	26
Tabela 5 – Identificação das tampas de bueiro produzidas	30
Tabela 6 – Resultados de resistência à compressão axial.....	43
Tabela 7 – Resultados de resistência à tração na flexão em 4 pontos	45
Tabela 8 – Comparação de valores resultantes do ensaio de resistência à tração na flexão em 4 pontos	47
Tabela 9 – Resultados do ensaio de flexão nas tampas	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Composição dos elementos do sistema de drenagem pluvial urbana.....	15
2.2 Concreto para utilização em tampa de bueiro	17
2.3 Resistência exigida para o elemento.....	18
3 METODOLOGIA	21
3.1 Projeto e construção das tampas	21
3.2 Materiais.....	23
3.3 Caracterização dos materiais.....	24
3.3.1 Caracterização dos materiais cimentícios	24
3.3.2 Caracterização do aditivo superplastificante	25
3.4 Composição do CAAF.....	25
3.5 Procedimento de mistura do CAAF	26
3.6 Ensaio reológico no estado fresco	28
3.7 Moldagem dos corpos de prova e das tampas.....	30
3.8 Cura dos corpos de prova	32
3.9 Ensaaios mecânicos no estado endurecido	32
3.9.1 Ensaio de resistência à compressão axial.....	33
3.9.2 Ensaio de resistência à tração na flexão em 4 pontos.....	35
3.9.3 Ensaio de resistência à flexão das tampas de bueiro projetadas.....	36
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
4.1 Projeto, modelagem e produção da tampa e molde.....	40
4.2 Resistência à compressão axial	43
4.3 Resistência à tração na flexão em 4 pontos	44
4.4 Resistência à flexão das tampas de bueiro	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A utilização de tampas de poço de visita, ou também conhecidas como tampas de bueiro produzidas em ferro fundido, está se tornando uma preocupação devido ao alto índice de roubos para a venda do ferro fundido. Em março de 2023, na cidade de Porto Alegre – RS, em um mesmo local na Avenida Ipiranga, foi furtado 3 vezes. Em novembro de 2023, o mesmo crime ocorreu em Juiz de Fora – MG, na avenida Rio Branco, principal via da cidade. Outros locais como Curitiba – PR, Iúna – ES, Rio de Janeiro – RJ e Distrito Federal – DF podem ser citados como locais onde houveram roubos das tampas (Malinoski, 2022; Emerenciano & Cruzeiro, 2023; Notícias R7, 2021; Redação Osasco, 2023; Marra, 2023). Alguns registros destes crimes podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 – Imagens dos locais com furtos de tampa de bueiro



(a) Furto de tampa em Porto Alegre (b) Furto de tampa em Juiz de Fora

Fontes: Malinoski (2022); Emerenciano & Cruzeiro (2023).

As aberturas decorrentes da ausência das tampas prejudicam a segurança de vias públicas, tanto para o tráfego de ciclistas e veículos como o de pedestres em calçadas, podendo constituir graves riscos à integridade física. Enquanto, as tampas não são reinstaladas, lixo, terra, entulhos, e outros resíduos, podem entrar nas redes e causar o entupimento das galerias. Outro destaque que pode ser dado às tampas em ferro fundido é o elevado peso para manuseio, tendo em torno de 32 kg para uma

tampa de diâmetro de 600 mm, impactando na qualidade de vida dos profissionais que trabalham diariamente com elas.

Desse modo, a utilização de diferentes materiais para a produção de tampas de poço de visita vem sendo estudada para mudar este cenário. No entanto, a tampa de poço de visita feita em concreto pode-se tornar uma alternativa viável para utilização em vias públicas, uma vez que o material concreto não teria interesse comercial dos criminosos como há no ferro fundido (Kewate *et al.*, 2022; Ng *et al.*, 2017; Nerdido, 2004; De Melo & Da Silva, 2018). No entanto, cabe salientar que a resistência à tração do concreto é um fator determinante na construção de tampas em concreto convencional sem elementos de reforço.

Em contrapartida, o concreto autoadensável fibroso (CAAF) torna-se uma alternativa, devido à utilização de fibras, que promove acréscimo na resistência à tração do concreto e tem como principal característica a alta capacidade de absorção de energia, após a fissuração da matriz cimentícia. Em relação ao estado fresco do CAAF, é constatado que seu desempenho possui capacidade de preenchimento, habilidade de passagem em obstáculos e resistência à segregação, fatores importantes para preencher às geometrias complexas, como pode ser a de uma tampa de poço de visita.

Diante disso, desenvolver e avaliar as propriedades mecânicas de tampas de bueiro produzidas em concreto autoadensável reforçado com fibras, pode ser considerada como uma alternativa, devido à facilidade de execução e as propriedades mecânicas de interesse. Por outro lado, caso os resultados obtidos não sejam suficientes para atender as necessidades de uso e de resistência mecânica, pode-se ainda utilizar o concreto autoadensável fibroso e adicionar barras de aço, obtendo assim um elemento estrutural com reforço híbrido, que deve ser avaliado (Gomes; Barros, 2009; Marangon, 2011; Jucá, 2020).

1.1 Objetivo geral

Projetar, desenvolver e avaliar o comportamento mecânico de tampas de bueiro produzidas em concreto autoadensável reforçado com elementos metálicos que sejam adequadas para tráfego em vias públicas.

1.2 Objetivos específicos

- Projetar um modelo de tampa de bueiro baseada nas geometrias das tampas de ferro fundido usadas comercialmente;
- Produzir uma fôrma em madeira obedecendo a geometria projetada, uma vez que a geometria é complexa e dificuldades podem ser encontradas na hora da desmoldagem;
- Avaliar o comportamento mecânico à compressão axial e resistência à tração na flexão em 4 pontos do concreto autoadensável fibroso produzido;
- Realizar os ensaios das tampas com os diferentes elementos de reforço conforme as condições de contorno de uso.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico serão abordados a composição dos elementos do sistema de drenagem pluvial urbana, o concreto autoadensável com fibras metálicas para ser utilizado em tampas de bueiro e por fim, a resistência mecânica exigida para esses elementos.

2.1 Composição dos elementos do sistema de drenagem pluvial urbana

Grande volume dos elementos do sistema pluvial urbano são feitos de ferro fundido ou concreto. Como alguns elementos, pode-se citar sarjetas, bocas de lobo, galerias e poços de visita, também conhecidos como tampas de bueiro (Hidelfonso *et al.*, 2017).

Entretanto, as tampas de ferro fundido apresentam desvantagens como o risco de lesões aos trabalhadores que manuseiam, a dificuldade de abertura da tampa devido à sujeira e ferrugem que acumulam ao decorrer do tempo e o furto atraído devido ao valor elevado de revenda do material. Diante disso, estudos vêm sendo desenvolvidos buscando novas composições para esses objetos tão presentes nas vias (Ng *et al.*, 2017; De Melo & Da Silva, 2018; Ferreira & Ribeiro, 2019).

Com o objetivo de desenvolver um concreto para ser utilizado em uma tampa de bueiro, De Melo & Da Silva (2018) realizaram quatro composições com diferentes teores de substituição de agregado graúdo natural por resíduo de vidro temperado, sendo 0%, 30%, 50% e 100%, buscando encontrar uma proporção ideal para a resistência adequada. Através do ensaio de resistência à compressão axial aos 7 e 14 dias de idade, observou-se que o traço convencional com 0% de substituição do agregado e o traço com 30% de substituição do agregado apresentaram resultados semelhantes próximos de 20000 kgf enquanto os demais traços resultaram em valores próximos de 10000 kgf. Aos 28 dias de idade, os resultados de resistência à compressão axial foram ainda surpreendentes para o traço de 30% de substituição, sendo 30000 kgf, enquanto os traços de 0%, 50% e 100%, apresentaram valores próximos de 22000 kgf, 15000 kgf e 12500 kgf, respectivamente. Desse modo, constatou-se que neste estudo, apenas a substituição de 30% apresentou resultados consideráveis, sendo eles superiores aos obtidos no concreto de referência (0%). Os autores reconheceram que os valores obtidos de resistência não são válidos para a

produção de uma tampa de bueiro que suporte os esforços resultantes do tráfego de veículos, mas sim, de pedestres. Com isso, foi produzida uma tampa de bueiro para ser posicionada na via de passeio, conforme a Figura 2.

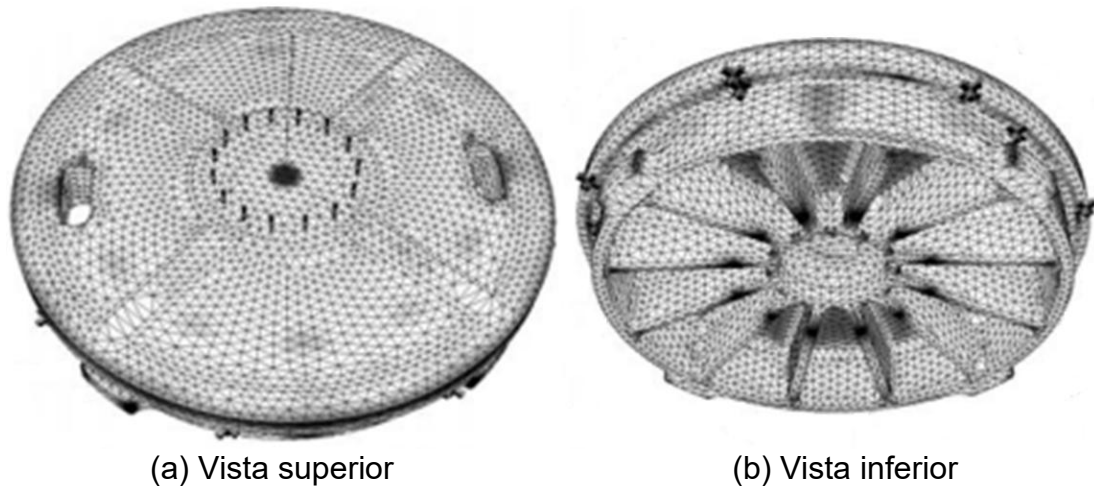
Figura 2 – Tampa de bueiro contendo resíduo de vidro



Fonte: De Melo & Da Silva (2018).

Ao buscar outro material para produzir uma tampa de bueiro sem utilizar ferro fundido ou concreto, Nerdido (2004) avaliou a composição com fibras de vidro e resina poliéster. O modelo sólido da tampa com diâmetro de 544 mm foi desenvolvido no software CATIA V5 e as características de deformação permanente avaliadas no software NASTRAN, através dos ensaios de resistência à tração e à flecha residual. O ensaio de resistência à tração teve uma força de 300 kN distribuída em um diâmetro de 120 mm no centro da tampa, com velocidade de 60 kN/min. A tensão máxima suportada foi de 333 MPa, 12,6 vezes maior que a tensão exigida pela normativa de 26,53 MPa para essa área de aplicação. A flecha residual máxima obtida foi de 1,45 mm, sendo 1,5 vezes menor do que o indicado pela norma, que é 2,176 mm. A tampa modelada é mostrada em diferentes vistas na Figura 3 (a) e (b).

Figura 3 – Vistas da tampa de bueiro no software de simulação NASTRAN



Fonte: Adaptada de Nerdido (2004).

Para o desenvolvimento de uma tampa de bueiro em concreto, o desafio é atingir as propriedades mecânicas exigidas pelos esforços referentes ao tráfego de veículos. Uma vez que o concreto possui uma resistência à tração inferior a resistência à compressão, torna-se necessário a utilização de elementos de reforço à matriz cimentícia.

2.2 Concreto para utilização em tampa de bueiro

As construções em concreto tradicionais, bem como, os artefatos rodoviários demandam grande período de tempo de execução e exigem dos operários processos como montagem de fôrmas, armações, escoramento, preparação do concreto, lançamento, tempo de cura, desenforma, entre outros. Com isso, a busca de métodos de construção mais eficazes e o desenvolvimento de concretos mais eficientes vêm sendo pesquisados e implantados. Como exemplo do avanço no que tange o concreto pode-se citar os concretos autoadensável, fibroso, bombeável e pré-moldado (Pereira, 2017).

O concreto autoadensável (CAA), é um concreto que apresenta alta fluidez e coesividade, sendo capaz de preencher completamente as fôrmas com geometrias complexas, mesmo na presença de obstáculos (tais como os elementos estruturais com alta densidade de armadura), além de proporcionar alta qualidade nas superfícies de acabamento. Esses CAAs ainda podem receber fibras as quais aumentam a resistência à tração, bem como, a tenacidade e ductilidade desses concretos

(Marangon, 2006; Nehdi & Ladanchuk, 2004; Walaraven, 2003; Tutikian & Dal Molin, 2008).

A incorporação de fibras em matrizes cimentícias vem sendo estudada em significativa proporção a partir da década de sessenta, a fim de sanar a fragilidade natural do concreto. A união dos concretos fibroso e armado gera possibilidade de substituição dos elementos contínuos, ou seja, armaduras convencionais, em até 40% em elementos submetidos à tração direta, podendo ser possível uma maior substituição quando submetidos a outros tipos de tração (Pereira, 2017; Marangon, 2011; Jucá, 2020).

No CAA, a adição de fibras gera ampliação na vida útil e segurança das estruturas, trazendo benefícios econômicos devidos à menor manutenção e reparos. A atuação das fibras está na habilidade da criação de pontes entre fissuras e no controle da propagação e abertura, proporcionando tenacidade, as tensões residuais de tração e a rigidez à flexão. Desse modo, o concreto autoadensável fibroso (CAAF) surge unindo o alto desempenho do autoadensável e as propriedades mecânicas consequentes das fibras e, segundo Marangon (2011), as fibras em elevadas frações volumétricas (1% a 1,5%), podem ser adicionadas às misturas sem introduzir danos à matriz. (Gomes & Barros, 2009; Pereira, 2017).

2.3 Resistência exigida para o elemento

A fabricação de tampões e grelhas de ferro fundido é realizada conforme a ABNT NBR 10160:2005, que trata sobre os requisitos e métodos de ensaios. A classificação referente à resistência mecânica dos elementos divide-se em seis classes e a classificação referente ao local de instalação é dividida em grupos, denominados do 1 ao 6, cada um obedecendo uma classe de resistência mínima conforme o tráfego a ser submetido. O grupo 4 – classe mínima D 400, abrange o uso em vias de circulação de veículos, acostamentos e estacionamentos para todo o tipo de veículo. Na Tabela 1 são apresentadas as dimensões da cota de passagem, as classes e as cargas de controle exigidas para verificação da resistência às cargas eventuais.

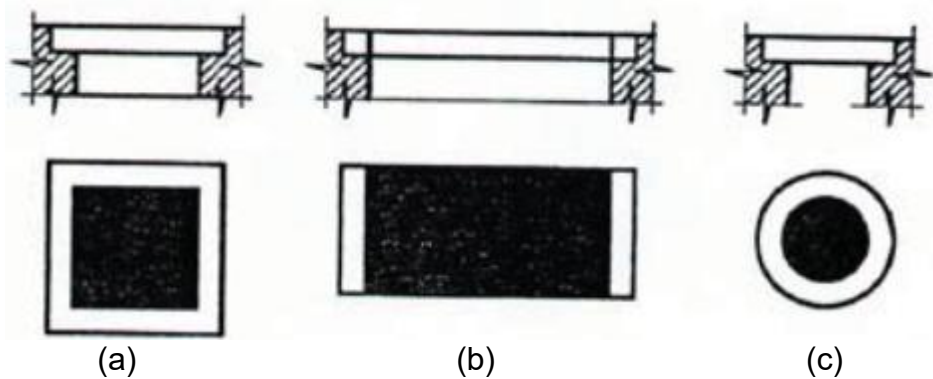
Tabela 1 – Cargas de controle

Dimensão da cota de passagem (CP)	Classes de tampão ou grelha (Grupo)	Cargas de controle kN
CP ≥ 250 mm	A 15	15
	B 125	125
	C 250	250
	D 400	400
	E 600	600
	F 900	900
CP < 250 mm	Todas as classes	Carga de controle x CP/250

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 10160:2005.

A cota de passagem é o diâmetro do maior círculo inscrito na área livre do aro destinado a receber a tampa ou grelha, identificado na hachura de cor preta conforme a Figura 4.

Figura 4 – Área livre

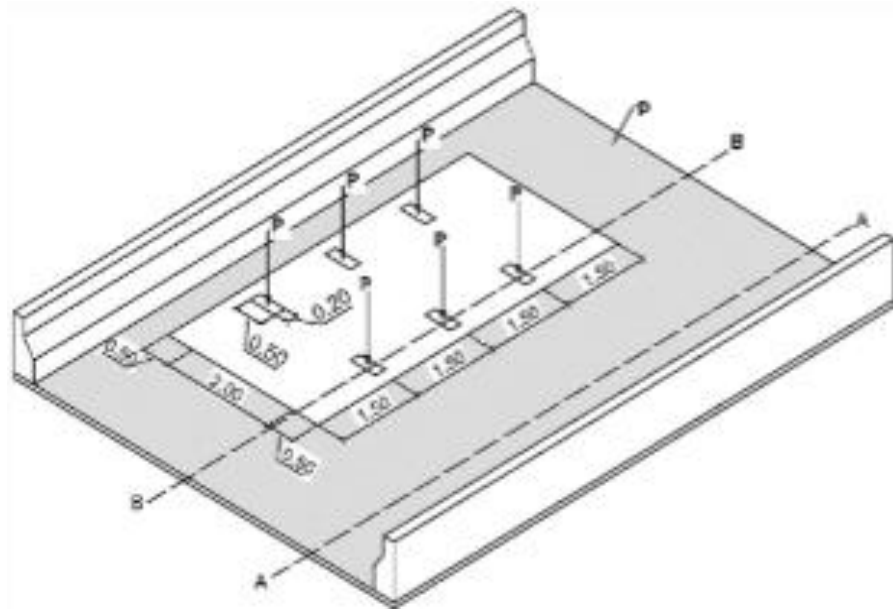


Fonte: ABNT NBR 10160:2005.

De outro modo, a ABNT NBR 7188:2024, que trata de ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas, apresenta duas categorias de trem-tipo, denominados TB-450 e TB-240, sendo a utilização do segundo a critério de autoridade competente, uma vez que aplicado em obras em estradas ou rodovias vicinais municipais e obras particulares. Ambos os trem-tipos são representados por um veículo com área de ocupação de 18 m², seis rodas e contendo três eixos afastados entre si por uma distância de 1,5 m. As diferenças entre o TB-450 e o TB-240 são a carga e sua distribuição, tendo o TB-450, 450 kN distribuídos em 75 kN em cada roda enquanto o TB-240 tem 240 kN, distribuídos em

40 kN em cada roda. A disposição das cargas nas rodas é representada na Figura 5 por P.

Figura 5 – Disposição das cargas (P)

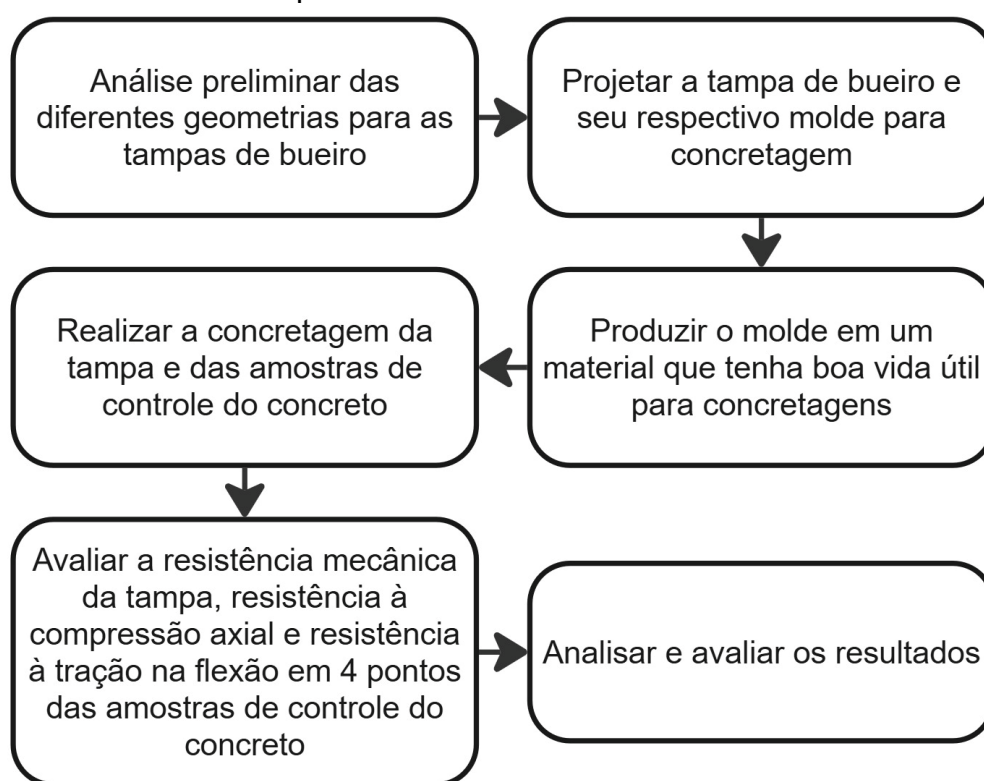


Fonte: ABNT NBR 7188:2024.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os tópicos de projeto e construção das tampas, materiais, caracterização dos materiais, composição do CAAF, procedimento de mistura do CAAF, ensaio reológico no estado fresco, moldagem dos corpos de prova e das tampas de bueiro, cura dos corpos de prova e das tampas e ensaios mecânicos no estado endurecido. Os procedimentos adotados para a execução do trabalho são mostrados na Figura 6.

Figura 6 – Procedimento Experimental

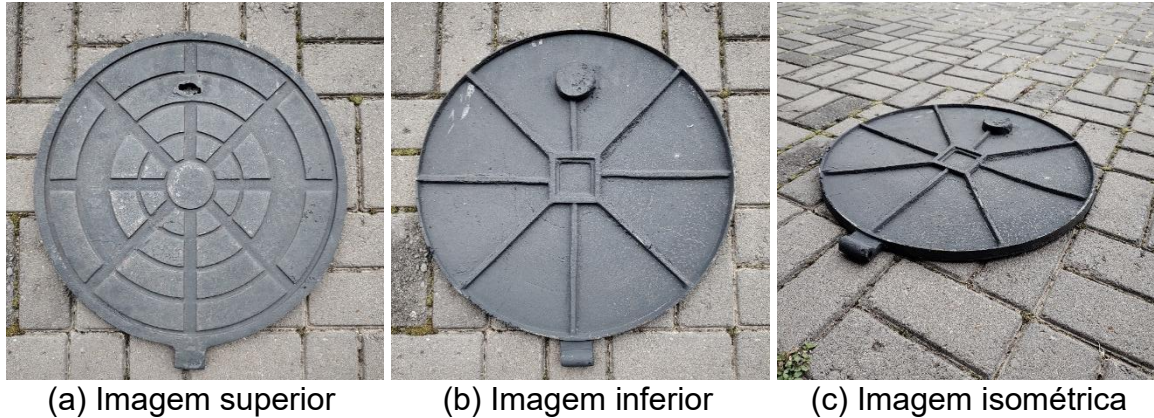


Fonte: Elaboração própria.

3.1 Projeto e construção das tampas

A concepção da geometria das tampas de bueiro em CAAF foi baseada em um tipo de modelo comercial em ferro fundido utilizado nas vias públicas brasileiras. O modelo é mostrado na Figura 7 sendo (a), (b) e (c) diferentes imagens. A realização da escolha desse modelo se deve pela geometria mais simples de ser produzida, a qual apresenta oito nervuras de mesma espessura e alturas interligadas no centro.

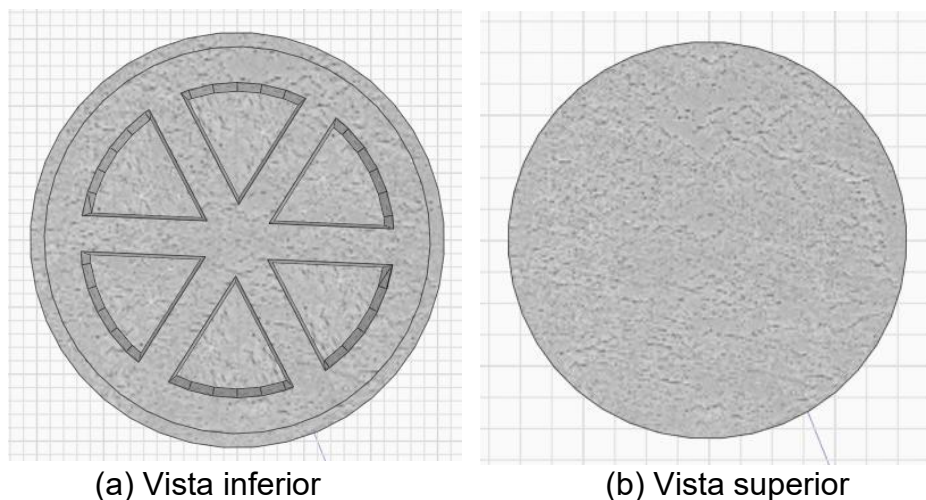
Figura 7 – Imagens do modelo selecionado da tampa de bueiro em ferro fundido



Fonte: Elaboração própria.

A partir disso, considerando uma cota de passagem de 540 mm, foi realizada a modelagem da tampa de bueiro para ser feita em CAAF, além da modelagem da fôrma a ser utilizada na concretagem, através dos softwares AutoCAD e Formit. As modelagens da tampa e da fôrma em madeira são mostradas nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Se necessário a inclusão das barras de aço, as nervuras que ficam na parte inferior da tampa devem ser em número par, para que, consiga-se acomodar as barras de uma extremidade à outra. Este modo de acomodação das barras influencia na resistência à tração na flexão do elemento, uma vez que no comportamento de uma viga, a parte superior trabalha em compressão enquanto a parte inferior trabalha na tração. A Figura 9 exemplifica, em linhas de cor vermelha, a disposição das barras no molde.

Figura 8 – Vistas da modelagem da tampa de bueiro em CAAF



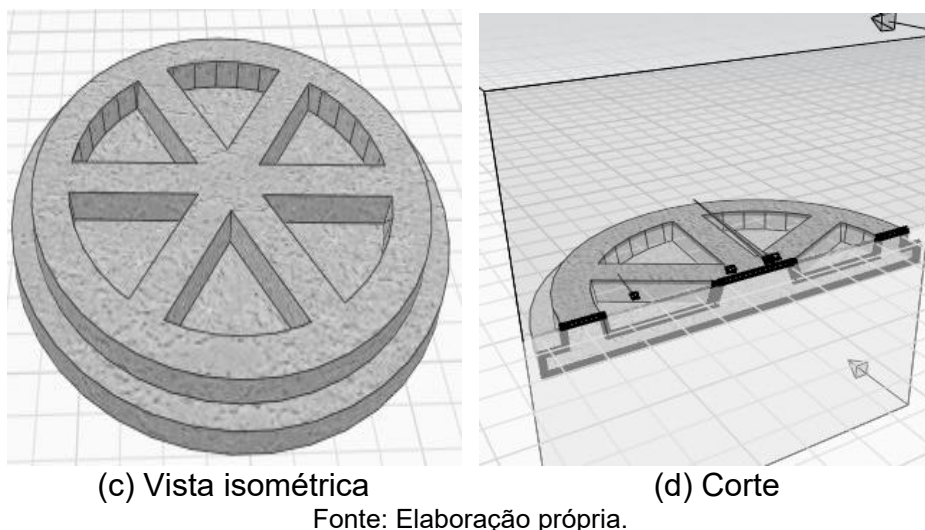
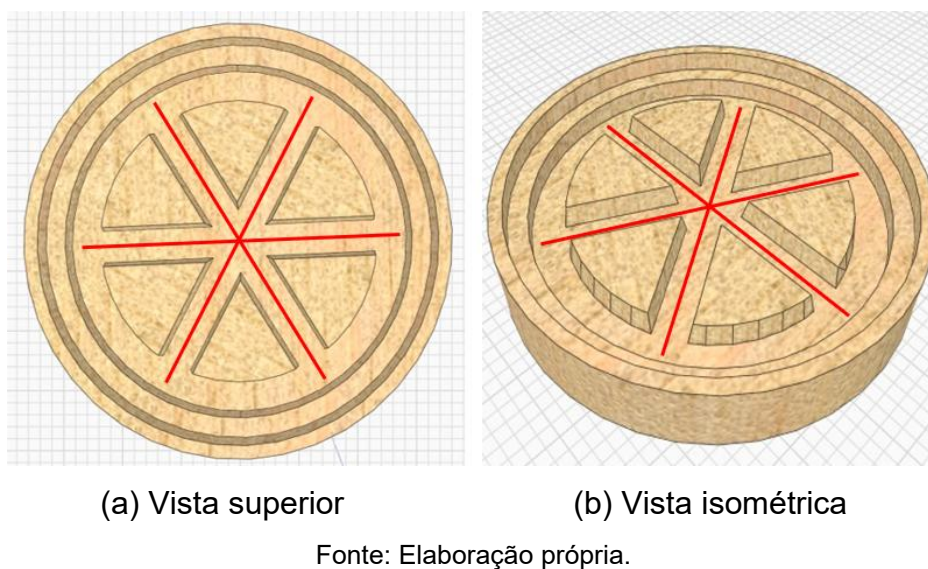


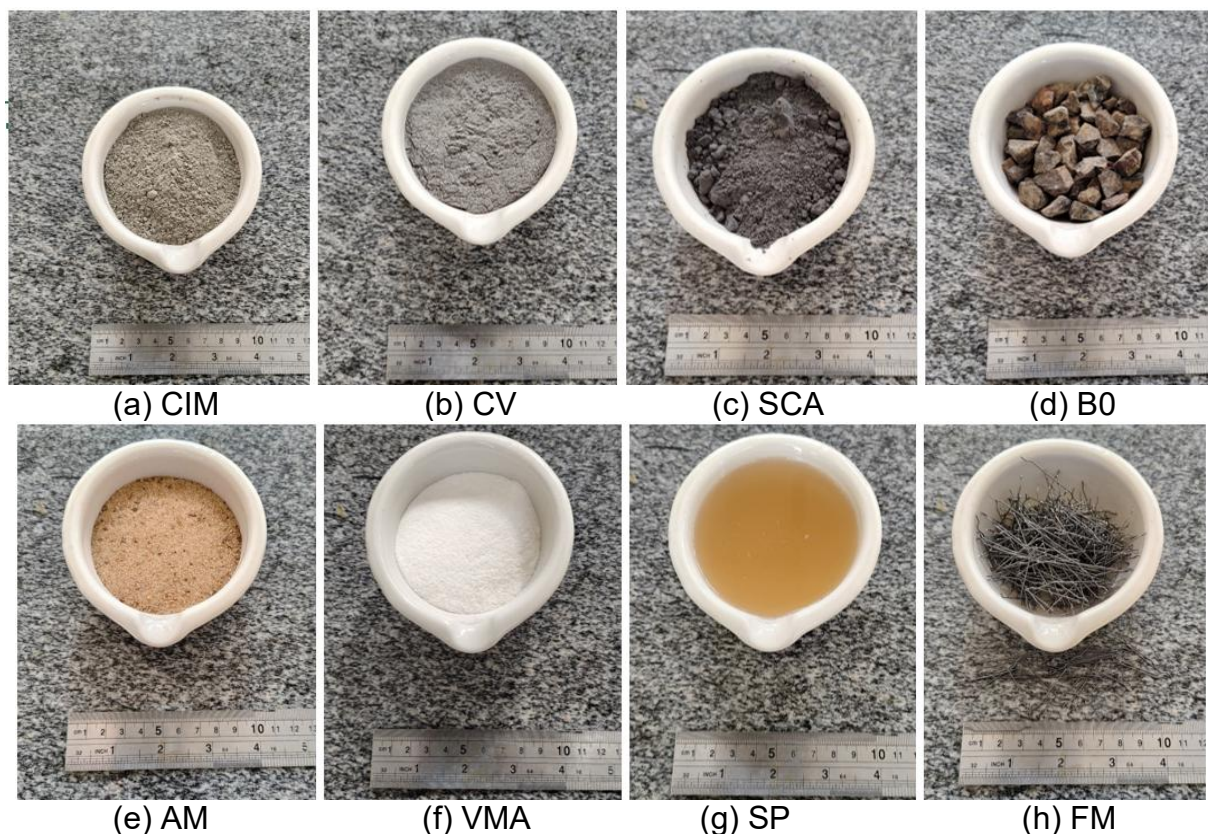
Figura 9 – Molde em madeira modelado com posicionamento das barras de aço



3.2 Materiais

Para a produção do CAAF foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland V-ARI (CIM), cinza volante (CV), sílica da casca de arroz (SCA), brita 0 (B0), areia média (AM), agente modificador de viscosidade (VMA), superplastificante (SP) à base de polímeros policarboxilatos e por fim, fibras metálicas (FM) Dramix 3D 65/35 BG com diâmetro nominal de 0,55 mm, comprimento de 35 mm, relação de aspecto (l/d) de 65 e resistência à tração de 1345 MPa. Na Figura 10 é mostrado os materiais supracitados.

Figura 10 – Materiais utilizados na produção do CAAF



Fonte: Elaboração própria.

Para a produção das tampas, barras metálicas com diâmetro de 5 mm nervuradas foram utilizadas, sendo 3 seções de 50 cm para cada tampa.

3.3 Caracterização dos materiais

A caracterização do agregado miúdo pode ser obtida em Jucá (2020) e a caracterização do agregado graúdo será desenvolvida posteriormente em trabalhos futuros do grupo de pesquisa Modelagem e Análise Experimental de Compósitos (MAEC).

3.3.1 Caracterização dos materiais cimentícios

Para a caracterização do CIM, CV e SCA, o ensaio de massa específica foi realizado conforme a ABNT NBR 16605:2017. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Massa específica dos materiais cimentícios

Material	Massa específica (g/cm³)
CIM	3,08
SCA	2,10
CV	2,04

Fonte: Elaboração própria.

Os valores obtidos referentes as massas específicas do CIM (3,08 g/cm³), da SCA (2,10 g/cm³) e da CV (2,04 g/cm³) estão de acordo com os resultados encontrados pelos fabricantes ou disponíveis na literatura, sendo eles 3,06 g/cm³, 2,00 - 2,32 g/cm³ e 1,9 - 2,2 g/cm³, respectivamente (Itambé Cimentos, 2025; Khankhaje *et al.*, 2025; Ram & Mohanty, 2022).

3.3.2 Caracterização do aditivo superplastificante

Para caracterização do SP, o teor de sólidos totais e a massa específica foram mensurados de acordo com a ABNT NBR 11768-3:2019. Os valores resultantes são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Teor de sólidos e massa específica do SP

Propriedade	Superplastificante
Teor de Sólidos (%)	28,30
Massa específica (g/cm ³)	1,05

Fonte: Elaboração própria.

Os valores encontrados estão de acordo com os fornecidos pelo fabricante, os quais são 28,50% a 31,50% para o teor de sólidos e 1,067 g/cm³ a 1,107 g/cm³ para a massa específica e a diferença encontrada pode estar relacionada ao manuseio durante o ensaio.

3.4 Composição do CAAF

A composição do concreto tem como base o concreto autoadensável fibroso utilizado por Jucá (2020). O material denominado de sílica #325 foi substituído por

SCA por apresentar uma granulometria muito próxima. A B0 utilizada é originada de outra pedra devido à característica lamelar presente na utilizada em Jucá (2020), a qual pode influenciar negativamente na resistência à compressão do concreto por sua geometria, uma vez que as lamelares favorecem concentrações de tensões e iniciam microfissuração com mais facilidade do que se usasse agregados com forma mais regular (Deng *et al.*, 2023; Ostrowski *et al.*, 2018). O SP utilizado foi diferente devido à disposição deste pelo grupo de pesquisa MAEC. Estas adaptações realizadas na escolha dos materiais para o concreto (C1), são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição das misturas

Composição	Jucá (2020)	C1
Agregado graúdo (kg/m ³)	454,00	454,00
Agregado miúdo (kg/m ³)	930,06	930,06
Cimento (kg/m ³)	360,00	360,00
Cinza volante (kg/m ³)	168,00	168,00
Sílica #325 (kg/m ³)	70,00	-
Sílica da casca e arroz (kg/m ³)	45,00	115,00
Superplastificante (kg/m ³)	13,46	13,46
Água (kg/m ³)	150,00	150,00
Fibra de aço (kg/m ³)	117,00	117,00
Modificador de viscosidade (g/m ³)	121,70	121,70

Fonte: Elaboração própria.

Entre as concretagens, houveram ajustes no teor de aditivo superplastificante, os quais foram: concretagem 2ª tampa SP=28,76 kg/m³, concretagem 3ª e 4ª tampas SP=10,33 kg/m³. Para melhor identificação, os concretos com esses ajustes são chamados de C1A1 e C1A2, respectivamente.

3.5 Procedimento de mistura do CAAF

Para a elaboração do concreto foi utilizado o misturador planetário estático CIBI M 600 com volume geométrico de 600 litros e capacidade efetiva de 480 kg ou 200 litros de material, mostrado na Figura 11. O misturador planetário estático é utilizado para a obtenção de uma mistura de maior homogeneidade quando comparado à uma

betoneira convencional, devido à sua geometria ser projetada com hastes que giram em torno de um eixo central, aumentando a energia da mistura.

O procedimento de mistura foi iniciado com o umedecimento prévio do misturador, cujo excesso de água era removido com auxílio de um pano. Em seguida, foram adicionados os agregados, AG e AM, que permaneceram em mistura por cerca de um minuto para assegurar a homogeneização inicial. Na etapa posterior, foram acrescentados os materiais cimentícios, CIM, CV e SCA, mantendo-se a mistura por mais um minuto. Após, incorporou-se aproximadamente 80% da água, seguida da quantidade total do SP, e por fim, o volume restante de água. Concluída a adição de todos materiais secos e líquidos, 8 minutos decorreram para a incorporação das FM. Passados 5 minutos era realizado o ensaio de espalhamento para verificação das propriedades de fluidez do CAAF e após, avaliado a necessidade da utilização do VMA. Caso necessário, a adição do VMA era realizada e a mistura seguia por 5 minutos para então, novamente ser efetuado o ensaio de espalhamento. Algumas etapas do processo da mistura foram registradas e são mostradas na Figura 12.

Figura 11 – Misturador CIBI M 600



(a) Vista frontal do misturador (b) Vista do interior do misturador

Fonte: Elaboração própria.

Figura 12 – Etapas de produção do CAAF



(a) Adição dos agregados



(b) Adição dos materiais cimentícios



(c) Incorporação das fibras



(d) Fim do processo de mistura

Fonte: Elaboração própria.

3.6 Ensaio reológico no estado fresco

O ensaio tronco de cone de Abrams foi realizado para a avaliação da fluidez, conforme a ABNT NBR 15823-2:2017, e os equipamentos utilizados no ensaio e o espalhamento são mostrados na Figura 13.

Figura 13 – Equipamentos para o ensaio do cone de Abrams e medição do espalhamento da mistura



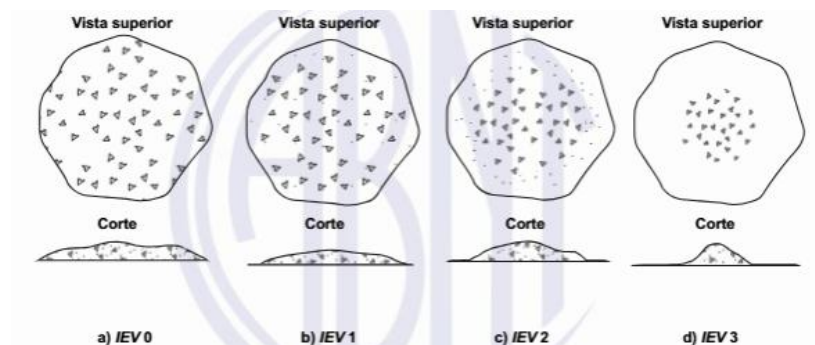
(a) Equipamentos utilizados no ensaio

(b) Verificação do espalhamento

Fonte: Elaboração própria.

O índice de estabilidade é classificado através da visualização, analisando a possível exsudação e segregação da mistura e, desse modo, classifica-se a homogeneidade pela distribuição no espalhamento dos agregados, como mostrado na Figura 14. A classificação inicia em IEV0 e vai até IEV3, sendo IEV0 um concreto com homogeneidade e sem segregação e IEV3 uma mistura contendo concentração de agregados graúdos no centro do espalhamento e as bordas contendo dispersão da argamassa.

Figura 14 – Índice de estabilidade visual da mistura



Fonte: ABNT NBR 15823-2:2017.

A mistura que foi realizado o ensaio foi somente a concretagem da composição C1A2 e o concreto produzido foi caracterizado como IEV0. Em relação ao diâmetro de espalhamento, o resultado obtido foi de 620 mm, sendo enquadrado na classe SF1 (550-650 mm), conforme EFNARC (2005).

3.7 Moldagem dos corpos de prova e das tampas

Os moldes referentes aos corpos de prova cilíndricos e prismáticos, horas antes da moldagem, eram preenchidos com uma camada fina de óleo desmoldante para gerar maior facilidade na desmoldagem. A moldagem dos mesmos, foi realizada em duas camadas e aplicados golpes de martelo de borracha para a regularização da superfície, sendo os cilíndricos com dimensões 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura e, os prismáticos de 100x100x400 mm, conforme pode ser observado na Figura 15. Ao total, foram moldados 11 CPs cilíndricos e nove CPs prismáticos.

Previamente à moldagem das tampas, o molde era envelopado com fita adesiva para torná-lo impermeável, uma vez que se a água entrasse em contato com o mesmo durante as concretagens, as peças em madeira iriam se degradar numa velocidade maior do que a esperada. Além do envelopamento, o molde era preenchido com uma camada fina de cera, para induzir maior facilidade na hora da desmoldagem. Então, eram posicionadas três barras metálicas espaçadas de 10 mm do fundo do molde por um calço de madeira, exceto em uma das tampas produzidas. Quatro tampas foram moldadas com diferentes composições e contendo ou não barras de aço como elemento de reforço. A Tabela 5 apresenta a identificação das tampas com suas respectivas propriedades de produção.

Tabela 5 – Identificação das tampas de bueiro produzidas

Nomenclatura dada à tampa	Composição do CAAF	Utilização de barras
SB	C1	Não
A1CB	C1A1	Sim
1ªA2CB	C1A2	Sim
2ªA2CB	C1A2	Sim

Fonte: Elaboração própria.

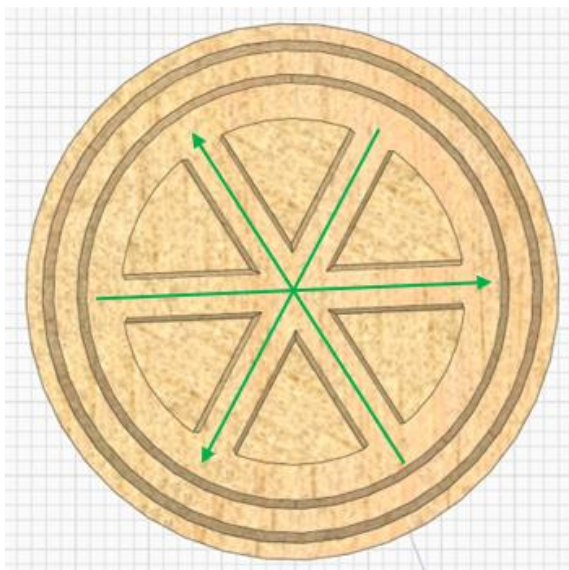
A tampa foi moldada na fôrma, apresentada no tópico 3.1, sendo o concreto espalhado primeiramente nas nervuras, de uma extremidade à outra, como ilustrado e executado na Figura 16. Este modo de espalhamento foi utilizado com o objetivo de obter uma distribuição favorável das fibras metálicas, conforme a distribuição dos esforços internos.

Figura 15 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 – Moldagem da tampa



(a) Sentido da moldagem no molde



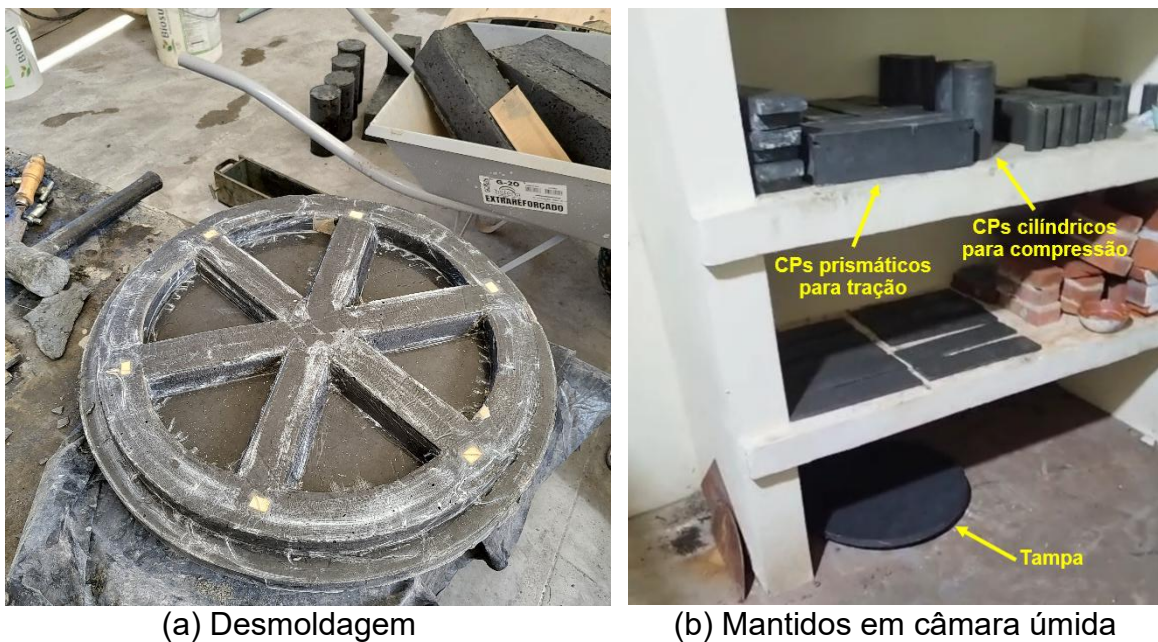
(b) Execução do espalhamento

Fonte: Elaboração própria.

3.8 Cura dos corpos de prova

Após 24 horas da moldagem, as tampas e os corpos de prova foram desmoldados e levados para a câmara úmida (Figura 17), onde permaneceram por 28 dias até a execução dos ensaios mecânicos. A temperatura ambiente manteve-se $23 \pm 2^\circ \text{C}$ e a umidade relativa do ar superior a 95%, conforme as condições estabelecidas na NBR 9479 (ABNT, 2006).

Figura 17 – Desmoldagem e cura da tampa e corpos de prova



Fonte: Elaboração própria.

3.9 Ensaios mecânicos no estado endurecido

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios Instron com capacidade de carga de 1500 kN, mostrada na Figura 18.

Figura 18 – Máquina universal de ensaios Instron



Fonte: Elaboração própria.

3.9.1 Ensaio de resistência à compressão axial

Para caracterização mecânica do concreto em relação a resistência à compressão axial, após 28 dias de cura em câmara úmida, onze corpos de prova cilíndricos foram ensaiados baseados na ABNT NBR 5739:2018 com velocidade de deslocamento do travessão de 0,05 mm/min. Para a obtenção do valor de resistência à compressão axial, utilizou-se a Equação 1.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:

σ_c – resistência à compressão axial (MPa);

F – força máxima alcançada (N);

A – área da seção transversal do corpo de prova (mm²).

Além dos valores de resistência à compressão axial, foram obtidos os valores do módulo de elasticidade do concreto, através da medição do deslocamento dos corpos de prova utilizando 2 LVDTs e aplicando os valores encontrados na equação 2. A instrumentação do ensaio é mostrada na Figura 19 (b).

$$E = \frac{\sigma_{c2} - \sigma_{c1}}{\varepsilon_{c2} - \varepsilon_{c1}} \quad (2)$$

Onde:

E – módulo de elasticidade do concreto;

σ_{c2} – tensão normal correspondente à 40% do valor da carga última;

σ_{c1} – tensão normal correspondente à deformação axial de 0,00005 (ε_{c1});

ε_{c2} - deformação axial correspondente à tensão σ_{c2} ;

ε_{c1} - deformação axial correspondente à tensão σ_{c1} ou de 0,00005.

Figura 19 – Configuração do ensaio de resistência à compressão axial



(a) Execução do ensaio



(b) Instrumentação do ensaio

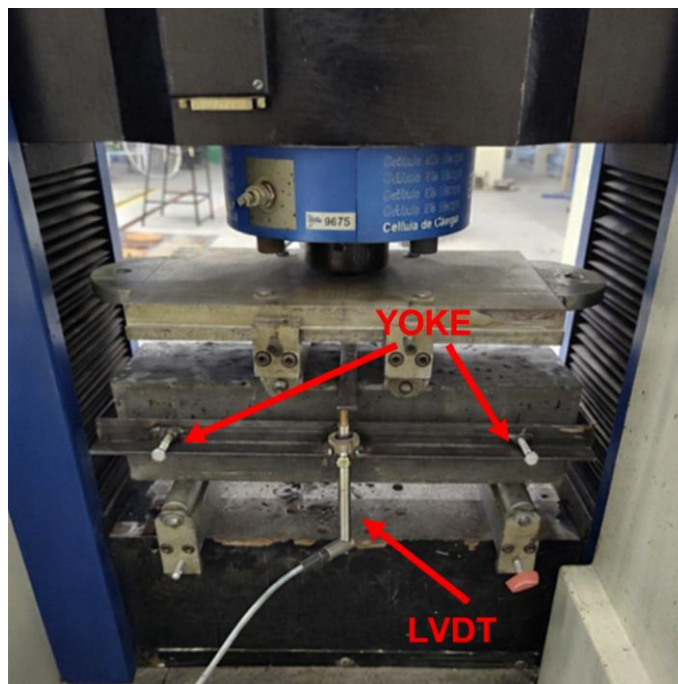
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados de resistência máxima à compressão axial e os valores de módulo de elasticidade foram analisados estatisticamente no software OriginLab 7, utilizando a análise de variância (ANOVA), e o teste de comparação múltipla de Tukey, com nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$).

3.9.2 Ensaio de resistência à tração na flexão em 4 pontos

Este ensaio emprega o princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão, conforme a ABNT NBR 12142:2010. Nove corpos de prova prismáticos após os 28 dias de cura em câmara úmida, foram ensaiados na velocidade de deslocamento do travessão de 0,10 mm/min. A distância entre os apoios utilizada foi de 300 mm, obedecendo a relação estabelecida na normativa do vão ser 3 vezes a altura do corpo de prova. Para a medição do deslocamento no centro do vão foi utilizado um LVDT, fixado por sistema Yoke, conforme pode ser observado na instrumentação da Figura 20.

Figura 20 – Instrumentação do corpo de prova para o ensaio de resistência à tração na flexão em 4 pontos



Fonte: Elaboração própria.

Para a obtenção do valor de resistência à tração na flexão em 4 pontos, utilizou-se a equação 3.

$$f_{ct, f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (3)$$

Caso a ruptura do corpo de prova ocorresse fora do terço médio, a equação 4 deveria ser utilizada.

$$f_{ct, f} = \frac{3.F.a}{b.h^2} \quad (4)$$

Onde:

$f_{ct, f}$ – resistência à tração na flexão em 4 pontos (MPa);

F – força máxima registrada na máquina de ensaio (N);

l – vão livre entre os apoios (mm);

b – largura média do corpo de prova (mm);

d – altura média do corpo de prova (mm).

a – distância entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo (mm).

Os resultados de resistência máxima à tração na flexão em 4 pontos foram submetidos a análise estatística no software OriginLab 7, empregando a análise de variância (ANOVA), e o teste de comparação múltipla de Tukey, com nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$).

3.9.3 Ensaio de resistência à flexão das tampas de bueiro projetadas

O ensaio de resistência das tampas em CAAF foi conduzido baseado no item 6 da ABNT NBR 10160:2005, com o objetivo de atingir a carga de 75 kN correspondente à uma roda do eixo-padrão TB-450, conforme especificado na ABNT NBR 7188:2024.

Para a instrumentação do ensaio, um anel de ferro fundido, conhecido também como aro ou telar, foi posicionado sobre os quatro pilaretes para ser futuramente posicionado na máquina universal de ensaios Instron, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Vistas do anel sobre os quatro pilaretes



(a) Imagem superior

(b) Imagem isométrica

Fonte: Elaboração própria.

Entretanto, a máquina Instron não apresentava dimensões de vão suficientes para o telar ser posicionado em seu centro, sendo necessária a remoção de parte de duas extremidades do telar, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Ajustes do telar



(a) Corte do telar

(b) Espaçamento do telar na máquina

Fonte: Elaboração própria.

Após a verificação mostrada na Figura 22 (b), pode-se prosseguir com a instrumentação do ensaio. Para garantir o posicionamento adequado da tampa no centro da estrutura, de modo a assegurar a distribuição correta da carga, foi desenhado um círculo de diâmetro equivalente ao da rótula utilizada no ensaio, de 250 mm, conforme mostrado na Figura 23. A utilização deste diâmetro de rótula em específico é uma exigência da ABNT NBR 10160:2005 e resulta em uma área de aplicação de carga de 490,87 cm², porém os 75 kN apresentados na ABNT NBR 7188:2024 são distribuídos em uma área de 0,20 m x 0,50 m (1000,00 cm²), conforme mostrado na Figura 5. Essa aplicação de carga durante o ensaio, em uma área menor do que 1000,00 cm², desfavorece a distribuição de tensões na tampa.

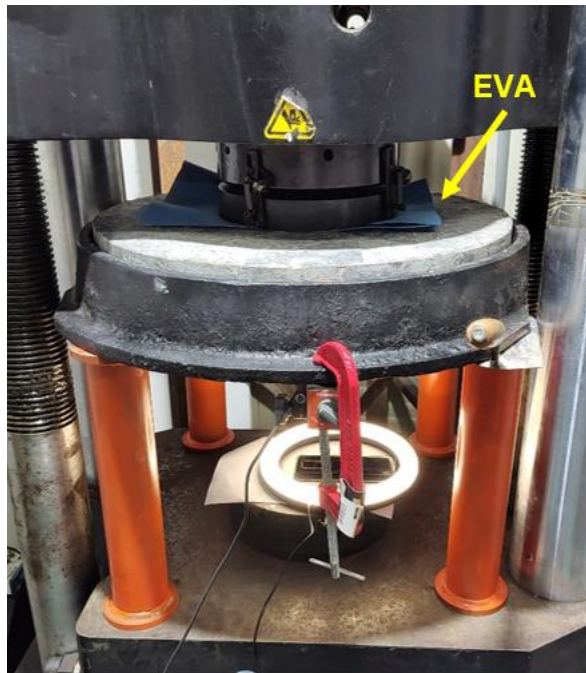
Figura 23 – Delimitação da área a receber o carregamento



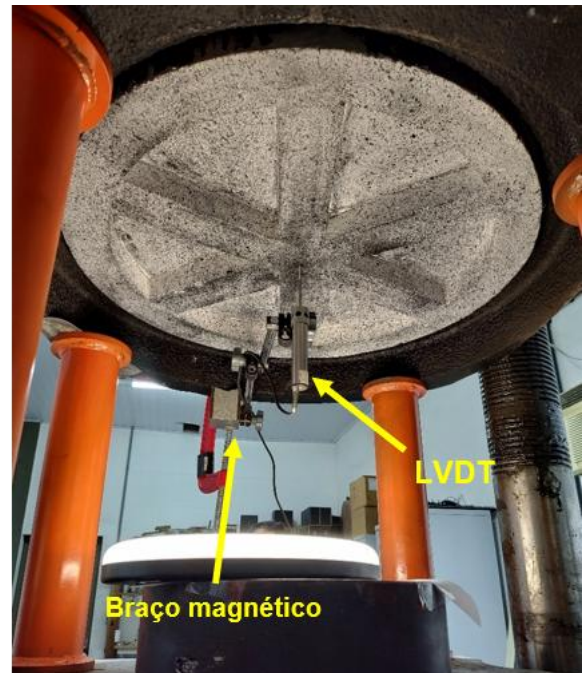
Fonte: Elaboração própria.

Então, posicionou-se a tampa sobre o telar e o ensaio de resistência foi realizado com velocidade de deslocamento do travessão de 0,10 mm/min. Entre a rótula e a tampa, utilizou-se um recorte de EVA para proporcionar melhor acomodação da rótula. Para a obtenção do deslocamento, em mm, foi utilizado um LVDT na parte central inferior da tampa durante o ensaio, fixado por um braço magnético no telar. A execução do ensaio e a instrumentação citada são mostradas na Figura 24.

Figura 24 – Instrumentação do ensaio de resistência na tampa



(a) Imagem de parte superior



(b) Imagem de parte inferior

Fonte: Elaboração própria.

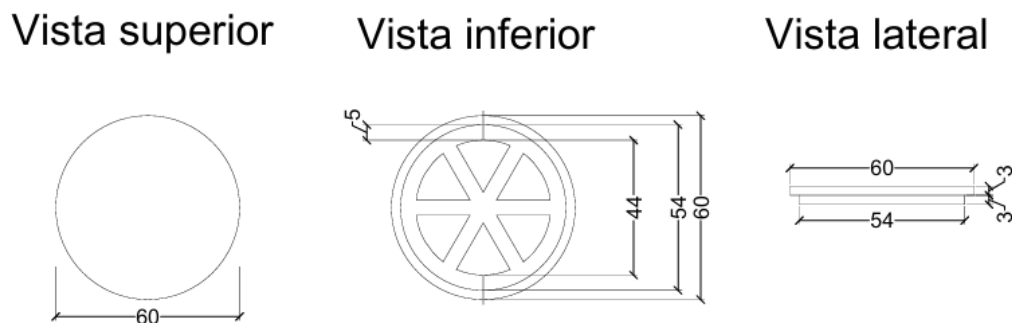
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos do projeto e modelagem da tampa e molde, resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão em 4 pontos e resistência à flexão das tampas de bueiro.

4.1 Projeto, modelagem e produção da tampa e molde

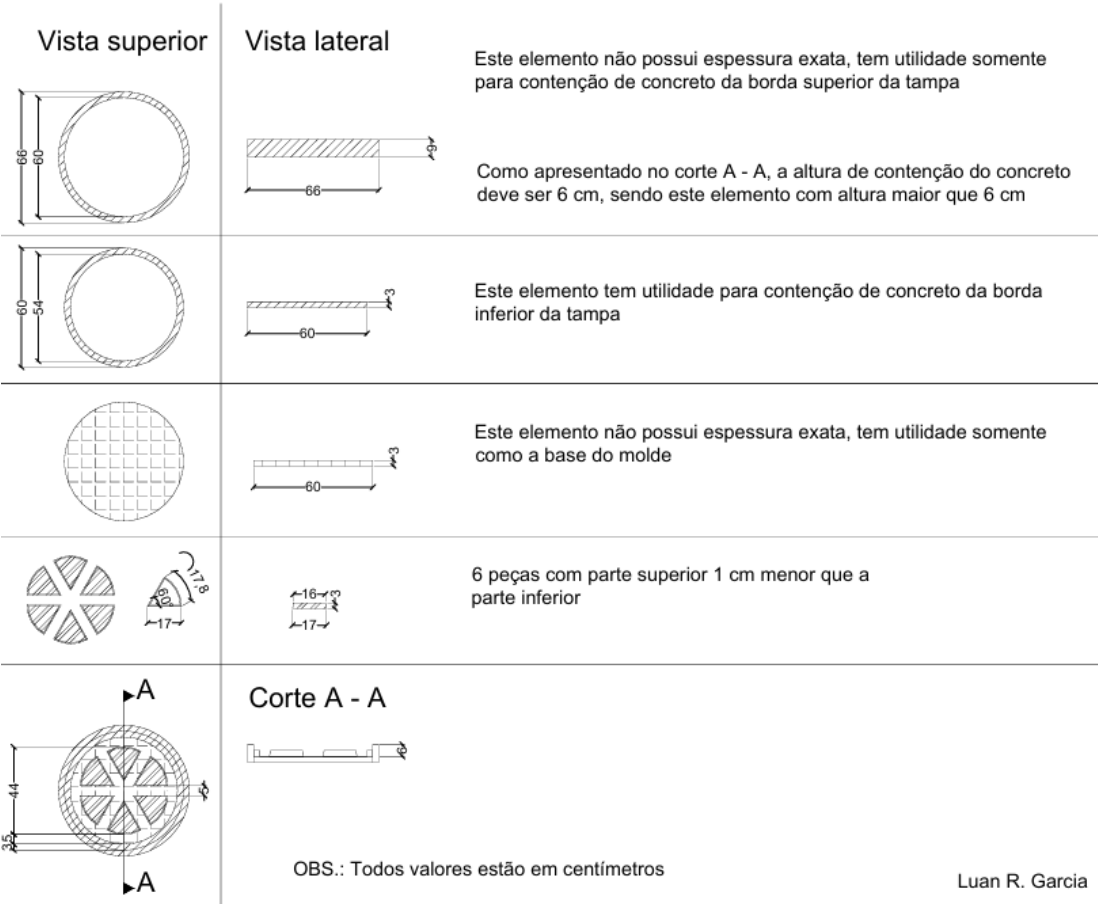
Após ser projetada e modelada a tampa de bueiro e a fôrma, conforme apresentada na metodologia no item 3.1, a execução do projeto da fôrma foi realizada por uma madeireira local de Alegrete-RS. Optou-se por terceirizar a execução do projeto devido à maior precisão dos profissionais e seus maquinários, uma vez que a geometria deveria ser obedecida fielmente para a tampa ser produzida conforme a modelagem. As dimensões da tampa podem ser verificadas na Figura 25 e o projeto do molde e seu resultado, são mostrados respectivamente na Figura 26 e Figura 27.

Figura 25 – Dimensões do projeto da tampa



Fonte: Elaboração própria.

Figura 26 – Projeto do molde



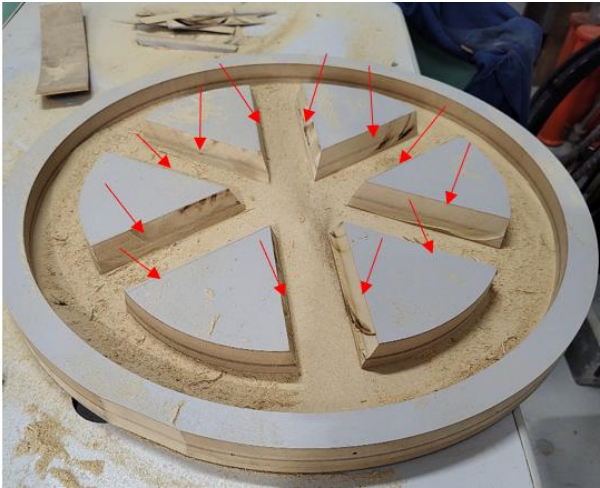
Luan R. Garcia

Fonte: Elaboração própria.

Figura 27 – Molde produzido em madeira



(a) Molde produzido



(b) Ajuste do molde

Fonte: Elaboração própria.

Entretanto, a máquina da madeira não tinha a opção de fazer ângulo diferente de 90° entre as nervuras, como solicitado em projeto, e o ângulo foi realizado com uma serra mármore no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção do campus Alegrete da UNIPAMPA. A importância deste ajuste se dá na desmoldagem da tampa pois caso o ângulo permanecesse em 90° , o concreto apresentaria resistência para ser retirado do molde, e poderia danificar o molde e a tampa moldada, a qual encontra-se ainda em estado de endurecimento. Caso danificasse o molde, isso iria prejudicar a produção da tampa nas concretagens futuras. As setas na Figura 27 (b) indicam onde o ângulo foi realizado.

As tampas produzidas apresentaram bom acabamento e uma tampa pode ser observada na Figura 28. A média da massa das tampas mensuradas em balança digital foi 26,10 kg.

Figura 28 – Imagens da tampa produzida em CAAF



(a) Imagem superior



(b) Imagem lateral



(c) Imagem parte inferior



(d) Imagem isométrica parte inferior

Fonte: Elaboração própria.

4.2 Resistência à compressão axial

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de tensão máxima, deformação para a tensão máxima, módulo de elasticidade, desvio padrão e coeficiente de variação referentes ao ensaio de resistência à compressão axial. Na Figura 29, as curvas obtidas correlacionando a resistência à compressão axial x deformação podem ser observadas, sendo cinco corpos de prova referentes à mistura C1A1, na cor verde e seis corpos de prova referentes à mistura C1A2, na cor vermelha.

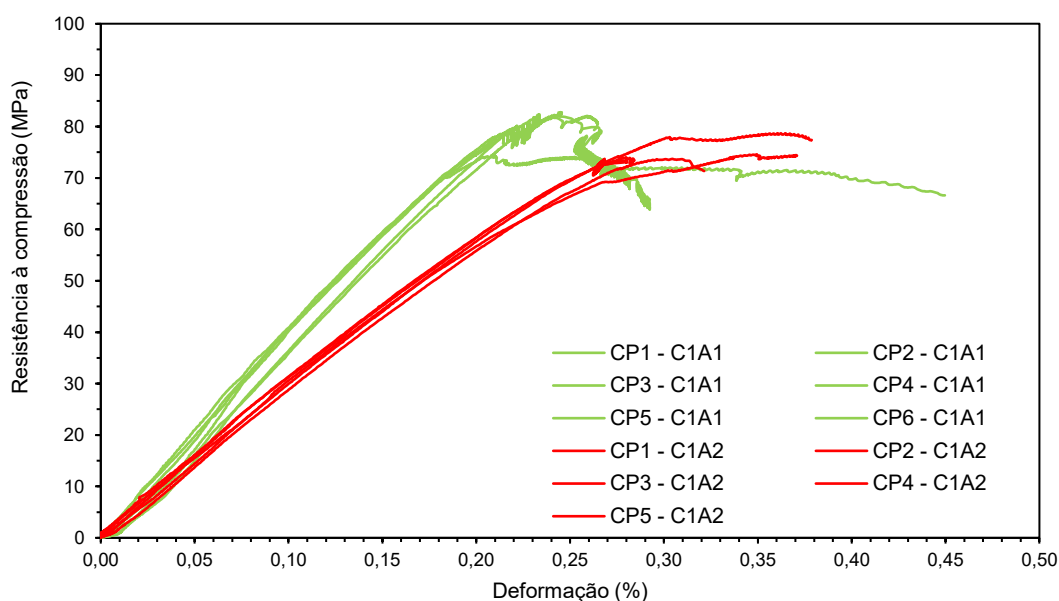
Tabela 6 – Resultados de resistência à compressão axial

Idade	Nº prisma	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)		Deformação na $\sigma_{\text{máx}}$ (%)		E (GPa)	
		C1A1	C1A2	C1A1	C1A2	C1A1	C1A2
28 dias	1	82,06	82,31	0,26	0,24	40,19	35,58
	2	82,79	78,68	0,24	0,36	36,01	29,90
	3	80,57	73,71	0,20	0,30	40,67	28,86
	4	82,39	74,59	0,23	0,35	41,71	30,62
	5	74,47	73,69	0,21	0,27	39,32	31,45
	6	-	74,04	-	0,28	-	31,67
	Média	80,46	76,17	0,23	0,30	39,58	31,35
	DP	3,45	3,56	0,02	0,05	2,17	2,32
	CV (%)	4,29	4,67	8,70	16,67	5,48	7,40

*DP = desvio padrão; CV= coeficiente de variação

Fonte: Elaboração própria.

Figura 29 – Curvas de resistência à compressão axial x deformação



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar na Tabela 6 e ao mesmo tempo no gráfico da Figura 29 que a tensão máxima média à compressão do C1A1 (80,46 MPa), apresentou valor superior de resistência à compressão axial em relação ao valor do C1A2 (76,17 MPa). Diante disso, os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística no software OriginLab 7, utilizando à análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de comparação múltipla de Tukey, a um nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$), onde foi constatado que não houveram diferenças significativas entre as tensões máximas de compressão.

Os valores médios de módulo de elasticidade, referindo-se ao C1A1 e C1A2, foram de 39,58 GPa e 31,35 GPa, respectivamente e, ao submete-los à análise estatística, apresentaram diferenças significativas. Marangon (2011), encontrou para a mistura de concreto semelhante a esta, um módulo de elasticidade de 37,35 GPa, próximo ao valor encontrado do C1A1, enquanto, Jucá (2020), obteve 29,71 GPa para mistura de concreto apresentada no tópico 3.4, próximo ao valor médio do C1A2.

Essa diferença possivelmente se deve ao teor de aditivo superplastificante usado, Marangon (2011) utilizou 46,1 kg/m³ (C1A1 - 28,76 kg/m³), Jucá (2020) utilizou 13,46 kg/m³ (C1A2 - 10,33 kg/m³).

Observa-se nas curvas obtidas na Figura 29, que após a tensão máxima, as amostras continuam apresentando uma resistência residual e tenacidade, e isso se dá devido à utilização das fibras metálicas na mistura.

4.3 Resistência à tração na flexão em 4 pontos

Na Tabela 7 são apresentados os valores de tensão na primeira fissura, deslocamento na primeira fissura, tensão máxima, deslocamento na tensão máxima, desvio padrão e coeficiente de variação referentes ao ensaio de tração na flexão em 4 pontos para as misturas C1A1 e C1A2. Com o deslocamento obtido na utilização do LVDT e os valores de carga gerados na Instron convertidos em tensão, as curvas de resistência à tração em função do deslocamento foram plotadas e são mostradas na Figura 30.

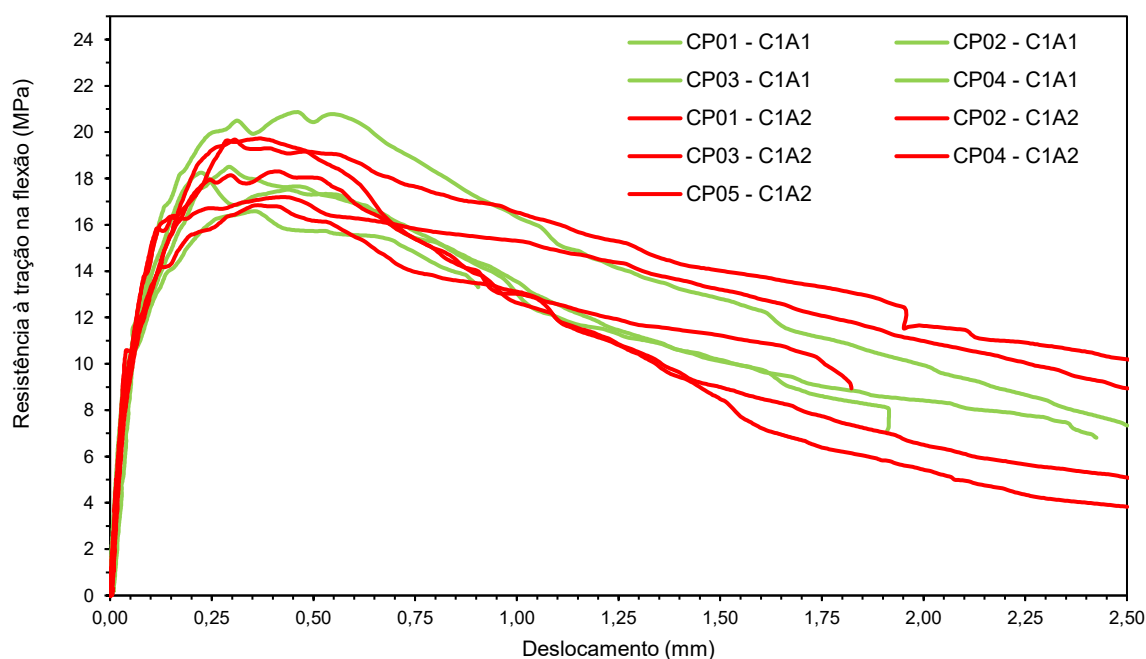
Tabela 7 – Resultados de resistência à tração na flexão em 4 pontos

Idade	Nº prisma	σ na 1ª fissura (MPa)		Deslocamento na 1ª fissura (mm)		$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)		Deslocamento na $\sigma_{\text{máx}}$ (mm)	
		C1A1	C1A2	C1A1	C1A2	C1A1	C1A2	C1A1	C1A2
28 dias	CP1	9,03	11,24	0,04	0,07	18,50	17,20	0,29	0,42
	CP2	9,44	11,63	0,03	0,07	18,25	16,85	0,22	0,36
	CP3	8,69	10,46	0,03	0,04	16,59	19,68	0,35	0,31
	CP4	11,53	9,21	0,06	0,03	20,87	18,30	0,46	0,41
	CP5	-	8,83	-	0,04	-	19,73	-	0,37
	Média	9,67	10,27	0,04	0,05	18,55	18,35	0,33	0,37
	DP	1,28	1,23	0,01	0,02	1,76	1,35	0,10	0,04
	CV (%)	13,20	11,97	27,27	37,56	9,51	7,35	30,80	11,75

*DP = desvio padrão; CV= coeficiente de variação

Fonte: Elaboração própria.

Figura 30 – Curvas de resistência à tração na flexão em 4 pontos x deslocamento



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 31 representa a característica predominante de ruptura dos prismas analisados, os quais apresentaram fissuração no terço médio resultando na utilização da equação 2 para obtenção dos valores de tensão. Além disso é possível observar a formação de uma única fissura com pouca nucleação de pequenas fissuras ao redor da fissura principal.

Figura 31 – Corpos de prova prismáticos após ensaio de Resistência à tração na flexão em 4 pontos



Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados apresentados na Tabela 7, verifica-se que para C1A1 e C1A2, as médias de tensão na primeira fissura são de 9,67 MPa e 10,27 MPa, enquanto as médias de resistência máxima, são 18,55 MPa e 18,35 MPa. Esses valores evidenciam um aumento de mais de 78% na resistência entre a primeira fissura e o pico de tensão máxima, indicando que a incorporação de fibras contribuiu significativamente para a capacidade de redistribuição de tensões e absorção de energia. Provavelmente uma mistura de referência sem fibras, resultaria em valores em torno de 9,67 MPa e 10,27 MPa, como as médias de tensão na primeira fissura ou, 9,15 MPa, conforme Marangon (2011) havia encontrado para mistura referência sem fibras. A Tabela 8 apresenta a proximidade de resultados das misturas C1A1 e C1A2, desenvolvidas no presente trabalho, com os valores encontrados por Marangon (2011).

Tabela 8 – Comparação de valores resultantes do ensaio de resistência à tração na flexão em 4 pontos

Mistura	σ na 1ª fissura (MPa)	Deslocamento na 1ª fissura (mm)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	DV (MPa) / CV (%)	Deslocamento na $\sigma_{\text{máx}}$ (mm)
C1A1	9,67	0,04	18,55	1,28/13,20	0,33
C1A2	10,27	0,05	18,35	1,23/11,97	0,37
Marangon (2011)	11,02	0,055	19,22	1,40/7,28	0,55

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se dizer que apesar dos materiais no traço, o concreto segue apresentando propriedades mecânicas equivalentes.

A cerca das curvas apresentadas na Figura 30, referentes ao comportamento dos corpos de prova durante o ensaio, observa-se que nas fases elásticas apresentaram rigidez inicial semelhante. Tratando-se do comportamento pós pico de tensão máxima, há uma queda em estilo soft-hardening de modo geral, ou seja, a capacidade de carga do material diminui gradualmente à medida que a deslocamento aumenta.

Ainda, ressalva-se que não houveram diferenças notáveis entre os valores das concretagens com diferentes teores de aditivo superplastificante, como observado no ensaio de compressão axial. Quando submetidos os resultados à análise estatística de mesmo modo que realizado no tópico 4.2, os mesmos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

4.4 Resistência à flexão das tampas de bueiro

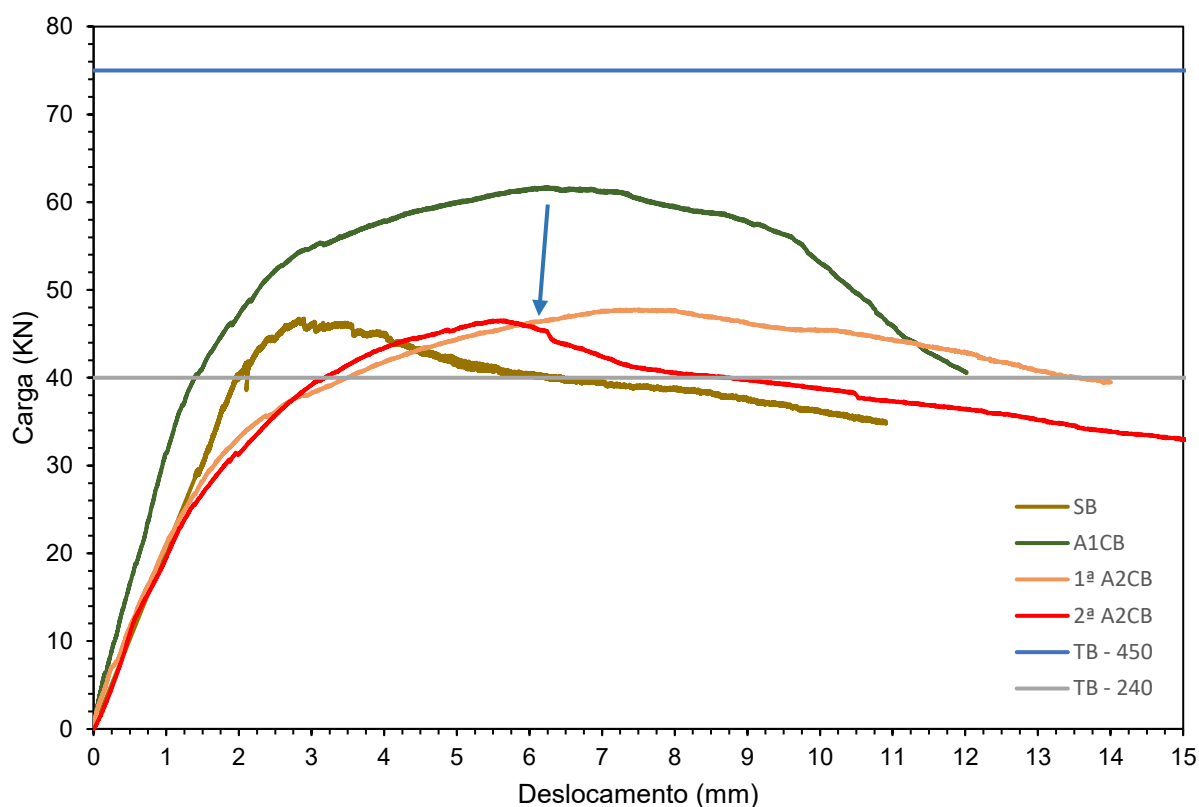
Na Tabela 9 são apresentados os valores de carga máxima e deslocamento na carga máxima obtidos no ensaio de flexão das tampas produzidas. A Figura 32 mostra as curvas plotadas com os dados de carga em relação ao deslocamento.

Tabela 9 – Resultados do ensaio de flexão nas tampas

Idade	Identificação	Carga máx (kN)	Deslocamento na carga máx
28 dias	SB	46,75	2,83
	A1CB	61,74	6,25
	1ª A2CB	47,79	7,50
	2ª A2CB	46,54	5,61

Fonte: Elaboração própria.

Figura 32 – Curvas de carga x deslocamento obtidas no ensaio da tampa



Fonte: Elaboração própria.

A linha em azul constante na Figura 32, nomeada como TB-450, refere-se à carga de 75 kN, enquanto a linha em cinza, identificada como TB-240, corresponde à carga de 40 kN. Embora testadas as tampas sem e com a incorporação de barras de aço, a carga referente ao TB-450 não foi atingida, contudo, todas alcançaram a carga correspondente ao TB-240.

De acordo com a Tabela 9, é possível observar que a tampa A1CB foi a que apresentou a maior carga máxima (61,74 kN), seguida pelas tampas 1ªA2CB (47,79

kN), SB (46,75 kN) e 2ªA2CB (46,54 kN). As reduções percentuais partindo da carga máxima de A1CB para 1ªA2CB, C1SB e 2ªA2CB, foram de 22,59%, 24,27% e 24,64%, respectivamente.

Com relação as curvas apresentadas na Figura 32, a tampa A1CB apresenta um comportamento distinto das demais, onde é possível observar uma maior rigidez na fase ascendente em comparação as outras tampas que apresentam uma rigidez semelhante. Tal comportamento pode estar associado ao maior teor de SP utilizado, bem como, observado no ensaio de resistência à compressão. Ainda, decorrente ao teor de SP, a segregação das fibras na parte inferior da tampa pode ter sido ocasionada, proporcionando a melhora da resistência à carga máxima no material, uma vez que as fibras mais próximas das barras de aço, proporcionaram uma região maior de reforço, e neste caso, sendo muito favorável para a obtenção da carga máxima. Para as tampas 1ªA2CB e 2ªA2CB, como havia menor teor SP na composição, as distribuições das fibras na massa de concreto apresentaram-se de uma forma mais tridimensional, homogênea, o que pode ter ocasionado a perda de resistência se comparada à A1CB. Ainda, durante a cura da 2ªA2CB, dentro das primeiras 24 horas, um incidente ocorreu na tampa enquanto o concreto ainda estava fresco, conforme pode ser observado na região destacada da Figura 33.

Figura 32 – Tampa danificada na cura



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se dizer que a influência deste incidente em relação à resistência da tampa, é observada na sua respectiva curva pós carga máxima, indicada pela seta azul da Figura 32, onde, diferentemente de 1ªA2CB, o elemento apresentou uma leve queda, aproximadamente no deslocamento de 6 mm. Caso o incidente não houvesse ocorrido, provavelmente o comportamento da curva pós carga máxima acompanharia o comportamento da curva da 1ªA2CB. Diante disso, observa-se que a adição de barras na produção das tampas, ao analisar o comportamento pós carga máxima, mantiveram a resistência semelhante quando comparada com tampa sem a utilização de barras, porém as tampas contendo barras de aço, aparentemente apresentaram maior ductilidade. As fissurações da parte inferior das tampas pós ensaio podem ser observadas na Figura 33.

Figura 33 – Parte inferior das tampas fissuradas pós ensaio



(a) SB



(b) A1CB



(c) 1ªA2CB



(d) 2ªA2CB

Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se que, nas quatro tampas ensaiadas, ocorreu um padrão semelhante de fissurações nas bordas externas, o que pode estar relacionado à ausência de um aro metálico ao longo da borda atuando como outro elemento de reforço. A tampa SB apresentou fissuração e espessura de fissura maiores que as outras tampas ensaiadas, possivelmente devido à ausência das barras nas nervuras como elementos de reforço. A tampa A1CB apresentou menor fissuração que as demais, com abertura de fissuras majoritariamente na região central, onde a carga era aplicada durante o ensaio e consequentemente onde o maior momento fletor era localizado. Esse comportamento pode estar associado à concentração das fibras em torno das barras, citada anteriormente, gerando uma região mais reforçada que nas demais tampas. As tampas 1ªA2CB e 2ªA2CB, apresentaram fissuras semelhantes ao longo das nervuras e bordas, com exceção de que a 2ªA2CB apresentou uma área de fissuração de proporção mais significativa, conforme destacado na Figura 33 (d). Essa área corresponde à parte inferior da região danificada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos, são apresentadas as conclusões referentes ao molde produzido, à produção das tampas de bueiro e os ensaios realizados.

O molde da tampa projetado e produzido apresentou boa funcionalidade nas concretagens e desmoldagens, porém na etapa de pré-concretagem, o processo de envelopamento demandava um período de mais de 1 hora, sendo um ponto a ser revisado para futuras produções. Em consequência da boa funcionalidade do molde, as tampas produzidas resultaram em um bom acabamento, além de apresentarem um valor médio em massa de 26,10 kg, sendo mais leve que as tampas de ferro fundido (32 kg) amplamente utilizadas nas cidades brasileiras.

Com relação ao comportamento mecânico, os valores médios máximos obtidos à compressão axial foram de 80,46 MPa e 76,17 MPa, e os valores de módulo de elasticidade 39,58 GPa e 31,35 GPa para as misturas C1A1 e C1A2, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas entre os CAAFs C1A1 e C1A2 em relação à resistência de compressão axial. Entretanto, tratando-se do módulo de elasticidade, diferenças significativas foram constatadas quando submetidos os valores à análise estatística utilizando à análise de variância (ANOVA), seguido pelo teste de comparação múltipla de Tukey, a um nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$).

Com isso, pode-se dizer que a variação do teor de aditivo teve influência no módulo de elasticidade enquanto na resistência à compressão, não apresentou influência. Tratando-se da tração na flexão em 4 pontos, os resultados de tensão máxima variaram entre 16,59 MPa à 20,87 MPa para C1A1 enquanto para C1A2 variaram de 16,85 MPa à 19,73 MPa. Diferenças estatísticas significativas não foram constatadas. Quanto ao ensaio de resistência à flexão das tampas, os resultados de carga máxima encontrados foram de 46,75 kN, 61,74 kN, 47,79 kN e 46,54 kN para as tampas SB, A1CB, 1ªA2CB e 2ªA2CB, respectivamente. Apesar da produção das tampas com variações em teor de aditivo e incorporação de barras de aço, a carga de 75 kN referente ao TB-450 não foi alcançada. Entretanto, todas as tampas produzidas apresentaram capacidade de carga superior ao valor de 40 kN, referente ao TB-240.

De modo geral, o panorama de fissurações das tampas pós ensaio foram influenciados diretamente pela presença e disposição dos elementos de reforço, além da variação do teor de SP. A ausência de barras (SB) nas nervuras resultou em mais

áreas de fissuração, bem como, maiores espessuras de fissuras, principalmente na região central, onde o momento fletor é máximo. A combinação entre as barras de aço e as fibras promoveram melhor distribuição de tensões e redução espessura das fissuras avaliadas visualmente.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao elevado tempo necessário no envelopamento do molde com fita adesiva para as concretagens, torna-se pertinente buscar outros materiais para evitar esse processo, como vernizes poliuretânicos (PU) ou resinas acrílicas.

Devido à preparação do molde para as concretagens exigir elevado tempo e recortes de material para envelopamento, pode-se pensar em variar o material utilizado no molde. Como a carga desejada de 75 kN não foi alcançada no ensaio de resistência à flexão na tampa de bueiro, a seguir são apresentadas algumas sugestões de trabalhos e modificações:

- Análise de fissuração das tampas, para ver relação entre o processo de fissuração;
- Aumento da espessura da tampa;
- Estudo da viabilização de aumento somente da espessura da parte central da tampa;
- Estudo de variação no diâmetro das barras;
- Adição de reforço contínuo (barra de aço) na nervura circular.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10160:2005** Tampões e grelhas de ferro fundido dúctil – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-3:2019** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 3: Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2:2017** Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espelhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605:2017** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479:2006**. Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: 2018**. Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188:2024**. Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:2003** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53:2006** Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10160:2005** Tampões e grelhas de ferro fundido dúctil – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142:2010** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

DE MELO, G. M. M.; DA SILVA, M. A. A. Tampa de bueiro utilizando resíduo de vidro temperado como agregado graúdo. **Scientia Amazonia**. S1, p. 71-78, 2018.

DENG, P.; XU, K.; GUO, S. Effects of coarse aggregate morphology on concrete mechanical properties, **Journal of Building Engineering**, v. 63, 2023. 105408, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105408>.

KHANKHAJE, E.; JANG, H.; KIM, J.; RAFIEIZONOOZ, M. Utilizing rice husk ash as cement replacement in pervious concrete: A review, **Developments in the Built Environment**, v. 22, 2025, 100675, ISSN 2666-1659, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100675>.

EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL ASSOCIATIONS REPRESENTING PRODUCERS AND APPLICATORS OF SPECIALIST BUILDING PRODUCTS FOR 108 CONCRETE. **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. Surrey, UK: EFNARC, 2002.

EMERENCIANO, P.; CRUZEIRO, A. P. **VÍDEO: mulher aproveita avenida vazia para arrancar e furtar tampa de bueiro, e prejuízo para repor fica com lojista**. 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2023/11/24/video-mulher-aproveita-avenida-vazia-para-arrancar-e-furtar-tampa-de-bueiro-e-prejuizo-para-repor-fica-com-lojista.ghtml>> Acesso em: 20 de junho de 2024.

FERREIRA, A. de A.; RIBEIRO, R. C. Geração de tampas de bueiros formadas por resíduos de quartzitos e pu. In: **X Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. p. 9, Fortaleza, 2019.

GK TAMPÕES E GRELHAS. **Tampão de ferro fundido DN600 articulado 40 toneladas**. 2025. Disponível em: <https://www.tampaoegrelhagk.com.br/p-tampao-de-ferro-fundido-tda-600-articulado-40-toneladas-413?srsId=AfmBOoqFtAlCI2aE4epcsRITRSTXhrUmYivRks2ds7F-l46QXAmsUxyF> acesso em: 09/07/2025.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R de. Métodos de dosagem de concreto autoadensável. **São Paulo: Pini**, 2009.

HIDELFONSO, J.; QUARESMA, W. M. G.; SILVA, A. S.; GOMES, T. I. de C. VERSELONI, F. A. Elementos do sistema pluvial urbano. In: **Congresso Interdisciplinar – Responsabilidade, Ciência e Ética**. ISSN: 2595-7732, 2017.

ITAMBÉ CIMENTOS. **Relatório de ensaios de cimento**. 2025. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2025/04/Cimento-CP-V-ARI-Março-2025.pdf> acesso em: 08/07/2025.

JUCÁ, P. H. de O. **Avaliação do mecanismo de transferência de tensões e formação de fissuras no concreto autoadensável com reforço híbrido**. 2020. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2020.

KEWATE, S.; JAMGADE, M.; SINHA, M. Design of cost-effective bamboo reinforced manhole Cover; a step toward sustainable development. **Applications of**

Computational Methods in Manufacturing and Product Design. p. 307-315, DOI 10.1007/978-981-19-0296-3_28, 2022.

MALINOSKI, A. **Depois dos fios de cobre, tampas de bueiro entram na mira de ladrões em Porto Alegre.** 2022. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2022/04/depois-dos-fios-de-cobre-tampas-de-bueiro-entram-na-mira-de-ladroses-em-porto-alegre-cl2kp6uei00660167hkxxk0yr.html>> Acesso em: 29 de junho de 2024.

MARANGON, E. **Caracterização material e estrutural de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço.** 2011. 322 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MARANGON, E. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço.** 2006. 322 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MARRA, P. **Furtos de tampas de bueiro e de fios elétricos causam prejuízo à população.** Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/cidades-df/2023/01/5069171-furto-de-tampas-de-bueiro-e-de-fios-eletricos-causam-prejuizo-a-populacao.html#google_vignette> Acesso em: 12 de abril de 2024.

NEHDI, M. L.; LADANCHUK, J. D. Fiber synergy in fiber-reinforced self-consolidating concrete. **ACI Materials Journal.** p. 508-517, 2004.

NERDIDO, L. E. E. **Desenvolvimento de tampas de bueiro tipo SABESP com fibra de vidro (Fiber Glass) e resina poliéster.** 2004.

NG, P. L.; LI, H. D.; LEUNG, C. K. Y. **Utilisation of engineered cementitious composites (ECC) for manhole covers.** 2017.

NOTÍCIAS R7. **Furtos de tampas de bueiro causam acidentes graves e prejuízos milionários.** 2021. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/jr-na-tv/videos/furtos-de-tampas-de-bueiro-causam-acidentes-graves-e-prejuizos-milionarios-06062022/>> Acesso em: 10 de maio de 2024.

OSTROWSKI, K.; SADOWSKI, Ł.; STEFANIUK, D.; WAŁACH, D.; GAWENDA, T.; OLESIK, K.; USYDUS, I. The Effect of the Morphology of Coarse Aggregate on the Properties of Self-Compacting High-Performance Fibre-Reinforced Concrete. **Materials** 2018, 11, 1372. <https://doi.org/10.3390/ma11081372>.

PEREIRA, E. V. **Influência de fibras de aço no comportamento mecânico e nos mecanismos de fissuração de concretos autoadensáveis.** 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

RAM, A.K., MOHANTY, S. State of the art review on physiochemical and engineering characteristics of fly ash and its applications. **International Journal of Coal Science & Technology** 2022, 9, 9. <https://doi.org/10.1007/s40789-022-00472-6>

REDAÇÃO OSASCO. **Iúna sofre com furtos de tampas de bueiros**. Disponível em: <<https://www.oeste360.com/noticia/131169/iuna-sofre-com-furtos-de-tampas-de-bueiros>> Acesso em: 10 de junho de 2024.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. Concreto auto-adensável. **São Paulo: Pini**, 2008.

WALRAVEN, J. Structural aspects of self-Compacting concrete. In: **International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete**. p. 15-22, 2003.