DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA DURABILIDADE DAS CAIXAS PARA UNIDADES DE MEDIÇÃO DE ÁGUA DA SABESP

Amanda Mattos Antunes[(1)]
Engenheira civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo com sete anos de atuação na área de gestão técnica de Programas Setoriais da Qualidade do PBQP-H – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat –, qualificação de materiais de construção civil e combate à não conformidade.
Allan Saddi Arnesen[(2)]
Engenheiro Sanitarista e Ambiental (UFSC), Mestre em Sensoriamento Remoto (INPE), Especialista em Gerenciamento de Projetos – Práticas do PMI (SENAI), MBA em Gestão de Ativos (ABRAMAN). Gerente do Departamento de Acervo e Normalização Técnica da SABESP.
Jairo Cukierman[(3)]
Engenheiro Civil (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). Sócio-diretor da TESIS – Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia Ltda.
Marcos Takayama[(4)]
Engenheiro Mecânico (FEI), Especialista em Administração para Engenheiros (ESAN), Supervisão em Radioproteção Industrial (CNEN), MBA em Gestão Empresarial (FIA/USP). Engenheiro no Departamento de Acervo e Normalização Técnica da SABESP.
Vera da Conceição Fernandes Hachich[(5)]
Engenheira Civil (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), Doutora e Mestre (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Construção Civil), Conselheira e Coordenadora do Comitê de Materiais do CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Sócia-diretora da TESIS – Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia Ltda.

Endereço[(1)]**:** Rua Guaipá, 486 - Vila Leopoldina - São Paulo - SP - CEP: 05089-000 - Brasil - Tel: +55 (11) 2137-9666 - e-mail: amanda.antunes@tesis.com.br.

RESUMO

Após mais de duas décadas de implantação de caixas para Unidades de Medição de Água (UMA) na SABESP, a baixa resistência mecânica e a baixa durabilidade são os principais problemas relacionados a caixas de policarbonato reportados pelas unidades operacionais. Estes problemas motivaram a Companhia a aumentar o rigor das especificações normativas utilizadas em sua internalidade e a definir o tema como prioritário em estudos relativos a especificações de materiais aplicados em ligações e redes de água e esgoto, desenvolvidos no âmbito do contrato firmado entre a SABESP e a empresa de engenharia TESIS. O presente artigo técnico tem por objetivo apresentar os resultados obtidos para caixas UMA durante os primeiros 15 (quinze) meses de vigência do referido contrato. No decorrer do texto, são relatadas as principais constatações da análise documental efetuada, bem como de inspeções visuais realizadas em amostras retiradas de campo e prospecções laboratoriais conduzidas para melhor compreender o comportamento mecânico do material, identificar regiões preferenciais de falha, julgar a adequação dos critérios de desempenho e metodologias de ensaio propostos na versão vigente da normalização técnica aplicável, NTS0303:2020, e avaliar o potencial de materiais alternativos ao policarbonato em atender as exigências de resistência mecânica requeridas pela SABESP.

PALAVRAS-CHAVE: caixas UMA; caixas de policarbonato

INTRODUÇÃO

Há mais de duas décadas, a SABESP tem adotado o padrão de ligação de água conhecido como Unidade de Medição de Água (UMA). Composto por uma caixa conforme a Norma Técnica SABESP NTS0303 e um dispositivo de medição de acordo com a NTS0302, esse padrão está presente em mais de 3 milhões de conexões de clientes. No entanto, ao longo do tempo, algumas das caixas UMA plásticas (feitas de policarbonato) têm apresentado problemas, sendo a baixa resistência mecânica e a baixa durabilidade os principais. A necessidade de substituição de produtos instalados é recorrente e especialmente motivada por rupturas em suas tampas, comprometendo a eficiência operacional e ampliando o consumo de recursos e a produção de resíduos.

Os problemas mencionados motivaram a Companhia a aumentar o rigor das especificações contempladas na Norma Técnica SABESP NTS0303:2020 – Caixa para unidade de medição de água – UMA –, alterando a energia utilizada para realização do ensaio de determinação da resistência ao impacto antes e após envelhecimento artificial – de 20 J para 50 J – e a definir o tema como prioritário nos estudos conduzidos pela empresa de engenharia TESIS – Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia LTDA. – no âmbito de um contrato para prestação de serviço de engenharia para estudos relativos a especificações de materiais aplicados em ligações e redes de água e esgoto.

OBJETIVOS

O presente artigo técnico apresenta os resultados obtidos para caixas para Unidades de Medição de Água (UMA) durante os primeiros 15 (quinze) meses de desenvolvimento das atividades que constituem o Plano de Trabalho do Contrato firmado entre TESIS e SABESP. São objetivos do estudo:

- Melhor compreender o comportamento mecânico das caixas UMA, mapear pontos de fragilidade, mapear a perda de resistência do material ao longo do tempo e identificar regiões preferenciais de ruptura;
- Avaliar se os requisitos de desempenho prescritos na NTS0303:2020 são suficientes para garantir que as caixas UMA terão durabilidade e comportamento mecânico adequado em serviço;
- Verificar se os critérios de desempenho estabelecidos pela NTS0303:2020 são adequados, especialmente aqueles relativos ao ensaio de determinação da resistência ao impacto antes e após envelhecimento artificial;
- Julgar se as metodologias de ensaio propostas na NTS0303:2020 reproduzem fidedignamente as condições de solicitação às quais as caixas UMA estão submetidas e se são repetitivas para avaliação da matéria-prima, da geometria e do processamento;
- Avaliar se existem materiais alternativos ao policarbonato para confecção de caixas UMA e se dispõem de potencial para atender às exigências de desempenho mecânico requeridas pela SABESP;
- Identificar oportunidades de melhorias nos processos de avaliação e inspeção adotados atualmente pela SABESP;
- Adequar as especificações e metodologias de ensaio contempladas na NTS0303:2020, propondo revisões normativas, se necessário.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para desenvolvimento das atividades que constituem o Contrato Para Prestação de Serviço de Engenharia Para Estudos Relativos a Especificações de Materiais Aplicados em Ligações e Redes de Água e Esgoto, foram estabelecidas 4 (quatro) Frentes de Trabalho:

- **Frente de Trabalho 1:** Estudo de soluções adotadas nacional e internacionalmente para redes e ligações de água e esgoto;
- **Frente de Trabalho 2:** Diagnóstico das soluções atuais da SABESP para redes e ligações de água e esgoto;
- **Frente de Trabalho 3:** Propostas de melhorias em especificações de materiais de redes e ligações de água e esgoto;
- **Frente de Trabalho 4:** Implementação da avaliação contínua da qualidade dos materiais especificados em normas técnicas.

Durante os primeiros 15 (quinze) meses de projeto, foram desenvolvidas atividades relacionadas às Frentes de Trabalho 1 e 2. A descrição das metodologias aplicadas, no que concerne ao tema “caixas para Unidades de Medição de Água”, é apresentada na sequência.

Na Frente de Trabalho 1, como forma de avaliar a suficiência dos requisitos de desempenho prescritos na NTS0303:2020, e considerando a inexistência de norma brasileira publicada pertinente ao tema, foram consultados 4 (quatro) documentos técnicos de outras Companhias de Saneamento, priorizando-se aqueles que abordavam caixas para Unidades de Medição de Água similares ao padrão SABESP – documentos das Concessionárias SAAE Sorocaba, SANASA Campinas, SANEAGO (GO) e SANEPAR (PR). Os requisitos de desempenho estabelecidos pelas diferentes Concessionárias foram separados em 5 (cinco) grupos – requisitos gerais, requisitos específicos, requisitos para qualificação do fabricante, requisitos de qualidade durante a fabricação e requisitos para inspeção e recebimento. Para cada grupo, foi elaborada uma tabela para evidenciar eventuais discrepâncias entre as prescrições dos diferentes documentos analisados, com foco em requisitos de desempenho contemplados na documentação das Concessionárias sob avaliação e ausentes ou com especificações mais brandas na norma técnica SABESP.

Como forma de verificar a adequação dos critérios de desempenho estabelecidos pela NTS0303:2020 para o requisito de resistência ao impacto antes e após envelhecimento artificial, foram consultadas 2 (duas) normas técnicas brasileiras, ABNT NBR 15820 e ABNT NBR 16851, aplicáveis a caixas para medidor de energia elétrica e perfis em PVC rígido para fabricação de esquadrias, respectivamente. Buscou-se, essencialmente, avaliar a abordagem feita pelas normas citadas no que tange à perda de resistência após envelhecimento artificial, que não está prevista na Norma Técnica SABESP NTS0303:2020. Também buscou-se identificar requisitos e critérios de desempenho estabelecidos para avaliação da matéria-prima e para avaliação do produto acabado, e respectivas metodologias de ensaio. Ao final, foi elaborada uma tabela para comparação das especificações de resistência ao impacto (procedimento de ensaio, corpos de prova utilizados e critérios) estabelecidas para caixas para medidor de energia elétrica e perfis em PVC rígido para fabricação de esquadrias com aquelas estabelecidas para caixas UMA.

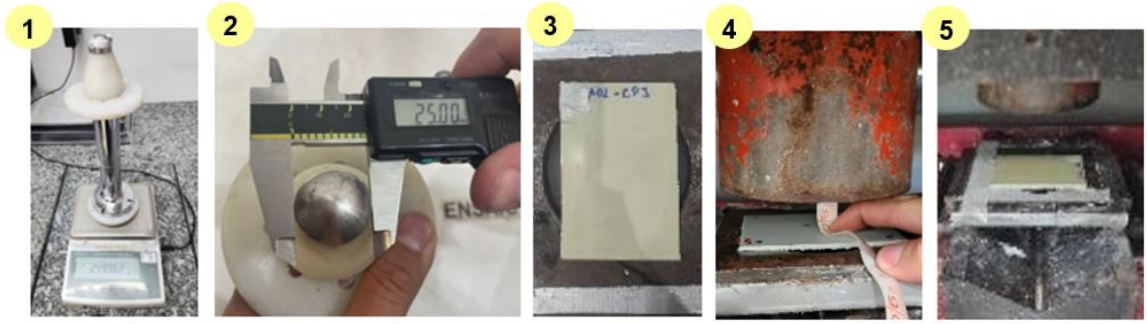
Como forma de averiguar a existência de materiais alternativos ao policarbonato para confecção de caixas UMA, foram consultados sites de Concessionárias Nacionais e catálogos de fabricantes internacionais. Foram encontradas 3 (três) soluções da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE (CE) – e 5 (cinco) soluções de fabricantes internacionais (ACCYSA (Espanha), ALIAF (Arábia Saudita), AVK PLASTICS (Holanda), CAHORS (França) e SOLCO (Espanha)). Ao final, foi elaborada uma tabela para comparação das soluções encontradas com aquelas adotadas pela SABESP.

Na Frente de Trabalho 2, como forma de melhor compreender o comportamento mecânico das caixas UMA, mapear pontos de fragilidade, mapear a perda de resistência do material ao longo do tempo, identificar regiões preferenciais de ruptura e julgar a adequação das metodologias de ensaio e dos critérios de desempenho estabelecidos na NTS0303:2020, a TESIS:

- Recebeu e inspecionou visualmente 20 (vinte) tampas de caixas UMA retiradas de campo por apresentarem, em sua maioria, problemas em serviço;

- Extraiu corpos de prova de 6 (seis) tampas de caixas UMA (dentre 20 (vinte) retiradas de campo) para realização do ensaio de determinação da resistência ao impacto por queda de massa, priorizando, sempre que possível, regiões identificadas como as mais suscetíveis à ocorrência de falhas: grelhas, bordas e proximidade de furos. Os testes foram realizados com base na Norma Técnica SABESP NTS0303:2020. O procedimento de ensaio – aplicação de impacto no centro geométrico de cada corpo de prova (dimensões: 7 cm x 10 cm) por punção de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 2,5 kg a partir de 4 (quatro) alturas de queda distintas (energias de impacto incrementais) – h = 0,5 m (12,5 J), h = 1 m (25 J), h = 1,5 m (37,5 J) e h = 2 m (50 J) –, ilustrado na Figura 1, foi alterado durante as avaliações em virtude dos resultados obtidos pelas 4 (quatro) primeiras amostras ensaiadas, conforme evidenciado nas Figuras 17, 18, 19 e 20 deste artigo. Com isso, houve redução das alturas de queda da punção de aço e incremento de 5 cm de altura, caso o corpo de prova não apresentasse ruptura, e redução de 5 cm de altura, caso contrário;

Figura 1 - Ensaio de resistência ao impacto por queda de massa



1 | 2 → Punção de aço (m = 2,5 kg) de ponta semiesférica (Φ = 25 mm); **3** → Corpo de prova (7 cm x 10 cm) na base de apoio; **4** → Aferição da altura de aplicação do impacto; **5** → Impacto por queda de massa.

Fonte: Acervo TESIS.

- Adquiriu caixas UMA de policarbonato de distintos fabricantes para realização de ensaios de determinação da resistência ao impacto por queda de massa na caixa montada e em corpos de prova não envelhecidos, com base nos procedimentos descritos na Norma Técnica SABESP NTS0303:2020. O ensaio de resistência ao impacto por queda de massa na caixa montada foi realizado em 2 (duas) condições: temperatura ambiente (23 ± 2) °C, com aplicação de impacto no centro geométrico da superfície da tampa por punção de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 2,5 kg na altura h = 2 m (50 J), e em temperatura negativa (caixa previamente condicionada a (-3 ± 1) °C por período de 4h), com aplicação de impacto no centro da tampa frontal e no centro do fundo da caixa por punção de aço de ponta semiesférica de 50 mm de diâmetro e massa de 1 kg na altura h = 2 m (20 J). O ensaio de resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova não envelhecidos foi realizado com aplicação de impacto no centro geométrico de cada corpo de prova (dimensões: 7 cm x 10 cm) por punção de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 2,5 kg, com redução das alturas de queda e incremento de 5 cm de altura, caso o corpo de prova não apresentasse ruptura, e redução de 5 cm de altura, caso contrário.

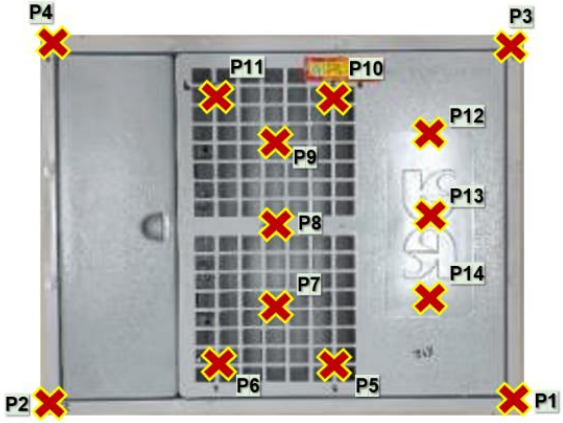
Como forma de estudar metodologias de ensaio alternativas àquelas contempladas na NTS0303:2020, e capazes de reproduzir de forma mais fidedigna as condições de solicitação às quais as caixas montadas estão submetidas, foram realizados ensaios de resistência ao impacto de corpo duro em 4 (quatro) amostras de caixas UMA de policarbonato não envelhecidas de diferentes fabricantes, adquiridas pela TESIS. Para realização do ensaio, as amostras foram fixadas em moldura de madeira, sendo esta alocada na parede, de modo a simular as condições reais de instalação do produto (Figura 2). Na sequência, adotou-se o seguinte procedimento (com base na norma ABNT NBR 15575-4:2021): aplicação de impacto por liberação pendular de esfera de aço de 63 mm de diâmetro e 1 kg, de uma altura de 2 m, configurando energia de 20 J, em 14 (catorze) pontos identificados como de fragilidade (Figura 3). Para cada impacto aplicado, as amostras foram avaliadas quanto à ocorrência de fissuras, trincas, rupturas e deformações.

Figura 2 - Exemplo de fixação de caixa UMA de policarbonato e realização do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro



Fonte: Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

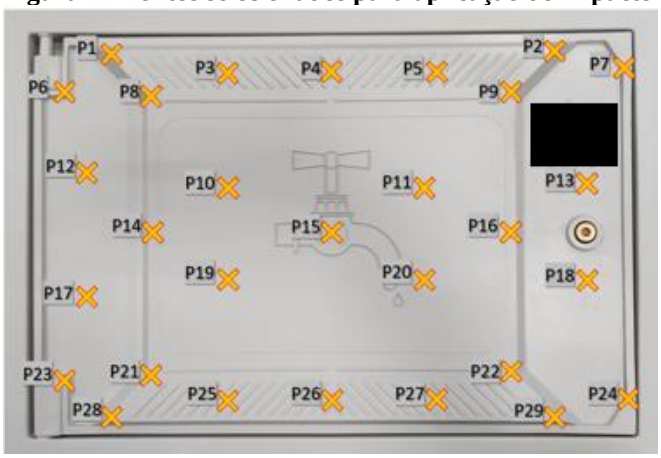
Figura 3 - Pontos selecionados para aplicação do impacto de corpo duro em caixas UMA de policarbonato



Fonte: Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

Como forma de avaliar o potencial de materiais alternativos ao policarbonato em atender às exigências de desempenho mecânico requeridas pela SABESP, a TESIS submeteu caixas UMA de poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV) de fabricante estrangeira aos ensaios de determinação da resistência ao impacto de corpo duro, com seleção de 29 (vinte e nove) pontos, conforme Figura 4, para aplicação de impacto por liberação pendular de esfera de aço de 63 mm de diâmetro e 1 kg, de uma altura de 2 m, e de determinação da resistência ao impacto por queda de massa, realizado segundo dois procedimentos distintos: o primeiro, com base na NTS0303:2020 – aplicação de impacto no centro geométrico de cada corpo de prova (dimensões: 7 cm x 10 cm) por punção de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 2,5 kg a partir de 3 (três) alturas de queda distintas (energias de impacto incrementais) – h = 0,8 m (20 J), h = 1 m (25 J) e h = 1,2 m (30 J); o segundo, com base na ABNT NBR 15820, que aborda produto equiparável e de constituição compatível ao PRFV – material compósito – aplicação de impacto no centro geométrico de cada corpo de prova (dimensões: 6 cm x 6 cm) por punção de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 1,5 kg a partir da altura de 2 m, configurando energia de 30 J.

Figura 4 - Pontos selecionados para aplicação do impacto de corpo duro em caixas UMA de PRFV



Fonte: Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

Como forma de refinar e adequar as especificações e metodologias de ensaio contempladas na NTS0303:2020, sistematizar procedimentos e analisar sua repetibilidade, foram realizadas 3 (três) novas rodadas de testes, 2 (duas) delas com acompanhamento de representantes da SABESP. Caixas UMA de policarbonato de distintos fabricantes, adquiridas pela TESIS, foram submetidas aos ensaios de resistência ao impacto de corpo duro na caixa montada, para avaliação do produto acabado, e de resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova não envelhecidos de dimensões (7 x 10) cm, para avaliação da matéria-prima, do processamento e da geometria. As metodologias adotadas em cada rodada são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Metodologias de ensaio adotadas nas três novas rodadas de testes (Resistência ao impacto de corpo duro na caixa montada)

Rodada de teste	Resistência ao impacto de corpo duro na caixa montada
1	Aplicação de impacto por liberação pendular de esfera de aço de 63 mm de diâmetro e 1 kg, de uma altura de 2 m, configurando energia de 20 J, em 14 (catorze) pontos identificados como de fragilidade
2	Conforme rodada de teste 1
3	Conforme rodada de teste 1, com inclusão de ponto adicional, localizado no centro da tampa da caixa UMA

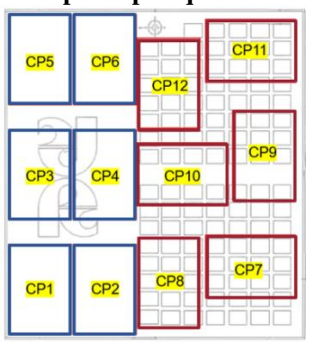
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Quinto e Sexto Relatórios Técnicos Bimensais da Frente de Trabalho 2 (documentos 1428/RTB005A-2 e 1428/RTB006A-2) – TESIS.

Tabela 2 - Metodologias de ensaio adotadas nas três novas rodadas de testes (Resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova)

Rodada de teste	Resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova
1	Extração de 12 (doze) corpos de prova (dimensões: 7 cm x 10 cm) da tampa do compartimento SABESP da caixa UMA, sendo 6 (seis) extraídos da região de seção plana, e 6 (seis) extraídos da região da grelha (Figura 5) Aplicação de impacto no centro geométrico de cada corpo de prova por percussor de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 2,5 kg a partir de 3 (três) alturas de queda distintas (energias de impacto incrementais) – h = 0,8 m (20 J), h = 1 m (25 J) e h = 1,2 m (30 J)
2	Extração dos corpos de prova conforme rodada 1 Aplicação de impacto no centro geométrico de cada corpo de prova (CP) por percussor de aço de ponta semiesférica de 25 mm de diâmetro e massa de 2,5 kg. Uso de suporte com recorte circular de 89 mm de diâmetro para apoio dos corpos de prova Corpos de prova extraídos da região de seção plana: impacto único a partir das alturas 0,8 m (CP1 e CP2), 1,2 m (CP3 e CP4) e 1,4 m (CP5 e CP6) Corpos de prova extraídos da região da grelha: impacto a partir de 4 (quatro) alturas de queda distintas (energias de impacto incrementais) – h = 0,8 m (20 J), h = 1 m (25 J), h = 1,2 m (30 J) e h = 1,4 m (35 J)
3	Conforme rodada 2, exceto pela base de apoio dos corpos de prova (uso de suporte retangular de dimensões (6 cm x 9 cm))

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Quinto e Sexto Relatórios Técnicos Bimensais da Frente de Trabalho 2 (documentos 1428/RTB005A-2 e 1428/RTB006A-2) – TESIS.

Figura 5 - Mapeamento dos locais de extração dos corpos de prova para realização do ensaio de resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova



Fonte: Sexto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB006A-2) – TESIS.

RESULTADOS OBTIDOS

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos por tema de estudo.

Avaliação da suficiência dos requisitos de desempenho prescritos na NTS0303:2020

As Figuras 6 a 10 apresentam os resultados da análise comparativa das seguintes normas técnicas referentes a caixas para Unidades de Medição de Água: EB/USDO/030-CPH (SANEPAR), EN00.0300 (SANEAGO), ETP002 (SAAE Sorocaba), SAN.A.IN.NA 49 (SANASA Campinas) e NTS0303 (SABESP). As referidas Figuras utilizam os símbolos "✓" e "X" para indicar, respectivamente, requisitos abordados e não abordados nos documentos avaliados.

Figura 6 - Requisitos gerais de desempenho estabelecidos para caixas UMA

REQUISITOS GERAIS	EN00.0300 (SANEAGO)	ETP002 (SAAE Sorocaba)	EB/USDO/030-CPH (SANEPAR)	SAN.A.IN.NA 49 (SANASA Campinas)	NTS0303 (SABESP)
COMPONENTES E ACESSÓRIOS DA CAIXA	✓	✓	✓	✓	✓
MATERIAIS	✓	✓	✓	✓	✓
MATÉRIAS PRIMAS	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB002A-1) – TESIS.

Figura 7 - Requisitos específicos de desempenho estabelecidos para caixas UMA

REQUISITOS GERAIS		EN00.0300 (SANEAGO)	ETP002 (SAAE Sorocaba)	EB/USDO/030-CPH (SANEPAR)	SAN.A.IN.NA 49 (SANASA Campinas)	NTS0303 (SABESP)
ASPECTO VISUAL		✓	✓	✓	✓	✓
ANÁLISE DIMENSIONAL		✓	✓	✓	✓	✓
ESTABILIDADE DIMENSIONAL AO CALOR		✓	✓	✓	X	✓
CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS		✓	✓	✓	✓	✓
ENSAIOS DA CAIXA METÁLICA	ESPESSURA DO REVESTIMENTO	X	X	X	X	✓
	ADERÊNCIA DA PELÍCULA SECA	X	X	X	X	✓
	ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO APÓS EXPOSIÇÃO À NÉVOA SALINA	X	X	X	X	✓
	ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO APÓS EXPOSIÇÃO EM CÂMARA ÚMIDA	X	X	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO	X	X	X	X	✓
ENSAIOS DA CAIXA PLÁSTICA	RESISTÊNCIA AO IMPACTO ANTES DO ENVELHECIMENTO	✓	✓	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO APÓS ENVELHECIMENTO	✓	✓	✓	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO DA CAIXA E TAMPA FRONTAL MONTADAS	✓	✓	✓	✓	✓
	RESISTÊNCIA A CARGAS ESTÁTICAS EM TEMPERATURA ELEVADA	✓	✓	✓	✓	✓
	DISPERSÃO DE PIGMENTOS	✓	✓	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB002A-1) – TESIS.

Figura 8 - Requisitos para qualificação do fabricante de caixas UMA plásticas

REQUISITOS PARA QUALIFICAÇÃO DO FABRICANTE		EN00.0300 (SANEAGO)	ETP002 (SAAE Sorocaba)	EB/USDO/030-CPH (SANEPAR)	SAN.A.IN.NA 49 (SANASA Campinas)	NTS0303 (SABESP)
CAIXA PLÁSTICA	MATÉRIA PRIMA	✓	X	✓	✓	✓
	ASPECTO VISUAL E EMBALAGEM	✓	X	✓	✓	✓
	ANÁLISE DIMENSIONAL	✓	X	✓	✓	✓
	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	✓	X	✓	✓	✓
	ESTABILIDADE DIMENSIONAL AO CALOR	✓	X	✓	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO ANTES DO ENVELHECIMENTO	✓	X	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO APÓS ENVELHECIMENTO	✓	X	✓	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO DA CAIXA E TAMPA FRONTAL MONTADAS	✓	X	✓	✓	✓
	RESISTÊNCIA A CARGAS ESTÁTICAS EM TEMPERATURA ELEVADA	✓	X	✓	✓	✓
	DISPERSÃO DE PIGMENTOS	✓	X	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	✓	X	✓	✓	✓

Fonte: Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB002A-1) – TESIS.

Figura 9 - Requisitos de qualidade durante a fabricação de caixas UMA plásticas

REQUISITOS DE QUALIDADE DURANTE A FABRICAÇÃO		EN00.0300 (SANEAGO)	ETP002 (SAAE Sorocaba)	EB/USDO/030-CPH (SANEPAR)	SAN.A.IN.NA 49 (SANASA Campinas)	NTS0303 (SABESP)
CAIXA PLÁSTICA	ASPECTO VISUAL E EMBALAGEM	✓	X	✓	✓	✓
	ANÁLISE DIMENSIONAL	✓	X	✓	✓	✓
	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	✓	X	✓	✓	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO DA CAIXA E TAMPA FRONTAL MONTADAS	✓	X	✓	✓	✓
	DISPERSÃO DE PIGMENTOS	✓	X	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	✓	X	✓	✓	✓

Fonte: Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB002A-1) – TESIS.

Figura 10 - Requisitos para inspeção e recebimento de caixas UMA plásticas

REQUISITOS PARA INSPEÇÃO E RECEBIMENTO		EN00.0300 (SANEAGO)	ETP002 (SAAE Sorocaba)	EB/USDO/030-CPH (SANEPAR)	SAN.A.IN.NA 49 (SANASA Campinas)	NTS0303 (SABESP)
CAIXA PLÁSTICA	MATÉRIA PRIMA	✓	X	X	✓	✓
	ASPECTO VISUAL E EMBALAGEM	✓	✓	✓	✓	✓
	ANÁLISE DIMENSIONAL	✓	✓	✓	✓	✓
	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	✓	✓	✓	✓	✓
	ESTABILIDADE DIMENSIONAL AO CALOR	✓	✓	✓	X	✓
	RESISTÊNCIA AO IMPACTO DA CAIXA E TAMPA FRONTAL MONTADAS	✓	✓	✓	✓	✓
	RESISTÊNCIA A CARGAS ESTÁTICAS EM TEMPERATURA ELEVADA	✓	✓	✓	X	✓
	DISPERSÃO DE PIGMENTOS	✓	✓	X	X	✓
	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB002A-1) – TESIS.

Não foram constatadas diferenças significativas entre as prescrições contempladas na Norma Técnica SABESP e aquelas contempladas nas Normas das Companhias de Saneamento SAAE Sorocaba, SANASA Campinas, SANEAGO e SANEPAR.

Não há requisitos de desempenho contemplados na documentação das Concessionárias avaliadas ausentes ou com especificações mais brandas na norma técnica SABESP.

Adequação dos critérios de desempenho estabelecidos pela NTS0303:2020 para o requisito de resistência ao impacto antes e após envelhecimento artificial

A Figura 11 apresenta a relação de especificações de resistência ao impacto estabelecidas para avaliação da matéria-prima e do produto acabado para diferentes itens fabricados em materiais plásticos – caixas para medidor de energia elétrica (conforme ABNT NBR 15820) e perfis em PVC rígido para fabricação de esquadrias (conforme ABNT NBR 16851-1 e ABNT NBR 16851-2). Para efeito comparativo, também são apresentadas as especificações de resistência ao impacto estabelecidas pela NTS0303:2020 para caixas para unidades de medição de água (Figura 12).

Figura 11 - Especificações de resistência ao impacto aplicáveis a outros produtos em material plástico

NORMA E PRODUTO	AVALIAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA			AVALIAÇÃO DO PRODUTO		
	ENSAIO	CORPO DE PROVA - CP	CRITÉRIO	ENSAIO	CORPO DE PROVA - CP	CRITÉRIO
ABNT NBR 15820 Caixa Para Medidor de Energia Elétrica	**Impacto Por Queda Livre** Antes do Envelhecimento: m = 1,5 kg / h = 2 m / E = 30 J Após Envelhecimento: (3000 h em Câmara de Arco Xenônio) m = 1,5 kg / h = 1,33 m / E = 20 J **(ABNT NBR 15820)**	Antes do Envelhecimento: 6 CPs de (60 x 60) mm retirados da tampa ou visor e da base Após Envelhecimento: 6 CPs de (60 x 60) mm retirados da tampa ou visor e da base	Sem fissuras, deformações permanentes ou quebra	**Grau de Proteção Contra Impactos Mecânicos Externos (Código IK)** m = 5 kg / h = 0,4 m / E = 20 J **(IEC 62262)**	Caixa completamente montada	Conservar seu grau de proteção IP, manter operação normal de abertura e fechamento, não apresentar fissuras
ABNT NBR 16851-1 Perfis em PVC Rígido Para Esquadrias	**Resistência ao Impacto Charpy** Maior martelo, dentre as opções 0,5 J, 1 J, 2 J e 4 J, para o qual o valor da energia de quebra do CP esteja entre 10% e 80% de sua escala de energia **(ISO 179-1)**	20 CPs condicionados a 23°C (10 antes e 10 após envelhecimento) (50 ± 1) mm x (6 ± 0,2) mm com entalhes	Resistência inicial ≥ 55 kJ/m² Redução da resistência após envelhecimento (2000 h em câmara de UV) ≤ 40%	**Resistência ao Impacto Por Queda de Massa** m = 1 kg / ϕpino = 50 mm / h = 1 m E = 10 J **(ABNT NBR 16851-2)**	10 CPs condicionados a 0°C Seção de perfil com (300 ± 5) mm de comprimento	Apenas 1 CP pode apresentar ruptura na superfície ensaiada

Fonte: Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB003A-1) – TESIS.

Figura 12 - Especificações de resistência ao impacto estabelecidas para caixas UMA (Conforme NTS0303:2020)

NORMA E PRODUTO	AVALIAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA			AVALIAÇÃO DO PRODUTO		
	ENSAIO	CORPO DE PROVA - CP	CRITÉRIO	ENSAIO	CORPO DE PROVA - CP	CRITÉRIO
NTS0303 Caixa Para Unidade de Medição de Água	**Resistência ao Impacto Por Queda de Massa** Antes do Envelhecimento: m = 2,5 kg / ϕpino = 25 mm / h = 2 m / E = 50 J Após Envelhecimento: (2016 h em câmara de UV) m = 2,5 kg / ϕpino = 25 mm / h = 2 m / E = 50 J **(NTS0303)**	5 tampas e 5 caixas com extração de 1 CP de (70 x 100) mm de cada, totalizando 10 CPs	Sem deformações permanentes, fissuras ou rupturas em qualquer região	**Resistência ao Impacto Por Queda de Massa** m = 2,5 kg / ϕpino = 25 mm / h = 2 m E = 50 J Aplicação do impacto no centro geométrico da tampa	Caixa montada (23 ± 2) °C	Sem deformações permanentes, fissuras ou rupturas em qualquer região
				Resistência ao Impacto Por Queda de Massa m = 1 kg / ϕpino = 50 mm / h = 2 m E = 20 J Aplicação do impacto no centro da tampa e do fundo	Caixa montada (-3 ± 1) °C	

Fonte: Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB003A-1) – TESIS.

Diferentemente da NTS0303:2020, a normalização técnica de referência aplicável a caixas para medidor de energia elétrica e perfis em PVC rígido para esquadrias admite perda de desempenho do material após envelhecimento (redução de até 33,3% e 40%, respectivamente, para corpos de prova extraídos de caixas para medidor de energia elétrica e de perfis em PVC rígido para esquadrias).

Materiais alternativos ao policarbonato para confecção de caixas UMA

As Tabelas 3 e 4 apresentam a relação de materiais empregados por fabricantes internacionais (ACCYSA (Espanha), ALIAF (Arábia Saudita), AVK PLASTICS (Holanda), CAHORS (França) e SOLCO (Espanha)) e pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE (CE)) para confecção de caixas UMA. Para efeito comparativo, também são apresentados os materiais admitidos pela SABESP, conforme NTS0303:2020.

Tabela 3 - Materiais empregados internacionalmente para confecção de caixas UMA

Fabricante e País	Material
ALIAF | Arábia Saudita	Poliéster reforçado com fibra de vidro moldado a quente
ACCYSA | Espanha	Poliéster reforçado com fibra de vidro moldado a quente
SOLCO | Espanha	Chapa de aço dobrada de 1 mm
CAHORS | França	Poliéster reforçado com fibra de vidro
AVK | Holanda	Diversos materiais, conforme parte da caixa (PP, PC, PA / Metal, TPE)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB003A-1) – TESIS.

Tabela 4 - Materiais empregados nacionalmente para confecção de caixas UMA

Companhia e Estado	Material
CAGECE | Ceará	PPH001D (corpo em polipropileno e tampa em policarbonato) PPH001A e PPH001B (corpo e tampa: fibra de vidro)
SABESP | São Paulo	Caixa plástica: homopolímero ou copolímero de policarbonato Caixa metálica: chapa de aço carbono classe EP ou EEP gr.1 ou chapa de aço inox no mínimo tipo 444

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 (documento 1428/RTB003A-1) – TESIS.

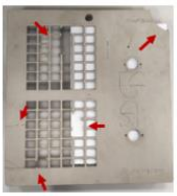
Foi identificada tendência de utilização, internacionalmente, de poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV), como alternativa ao policarbonato. Nacionalmente, as soluções apresentadas pela CAGECE admitem emprego de polipropileno e fibra de vidro.

Diagnóstico preliminar das caixas UMA de policarbonato

Inspeção visual de amostras encaminhadas pela SABESP

As Figuras 13 a 16 apresentam os resultados da inspeção visual de 20 (vinte) tampas de caixas UMA encaminhadas pela SABESP à TESIS para análise.

Figura 13 - Inspeção visual de tampas de caixas UMA encaminhadas pela SABESP à TESIS

Amostra 1428/07	Amostra 1428/08	Amostra 1428/09	Amostra 1428/10	Amostra 1428/16
				
Fabricante "A" (Fabricação: Nov/17) Ruptura na grelha	Fabricante "A" (Fabricação: Dez/16) Ruptura na proximidade do furo	Fabricante "B" (Fabricação: Mai/13) Rupturas na grelha, borda e extremidade	Fabricante "C" (Fabricação: Out/12) Rupturas na grelha e extremidade	Fabricante "B" (Fabricação: Fev/16) Ruptura na grelha

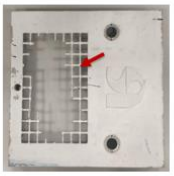
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Segundo e Terceiro Relatórios Técnicos Bimensais da Frente de Trabalho 2 (documentos 1428/RTB002A-2 e 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 14 - Inspeção visual de tampas de caixas UMA encaminhadas pela SABESP à TESIS

Amostra 1428/17	Amostra 1428/18	Amostra 1428/19	Amostra 1428/20	Amostra 1428/21
				
Fabricante "B" (Fabricação: Fev/13) Grelha removida	Fabricante "B" (Fabricação: Jul/15) Amostra íntegra	Fabricante "B" (Fabricação: 11/19) Ruptura na grelha e na borda	Fabricante "A" (Fabricação: 04/17) Ruptura na borda	Fabricante "C" (Fabricação: 09/15) Amostra íntegra

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 15 - Inspeção visual de tampas de caixas UMA encaminhadas pela SABESP à TESIS

Amostra 1428/22	Amostra 1428/23	Amostra 1428/24	Amostra 1428/30	Amostra 1428/31
				
Fabricante "C" (Fabricação: Jun/12) Amostra íntegra	Fabricante "G" (Fabricação: Mar/16) Amostra íntegra	Fabricante "A" (Fabricação: Ago/19) Amostra íntegra	Fabricante "B" (Fabricação: Ago/17) Ruptura na grelha	Fabricante "B" (Fabricação: Mai/11) Ruptura na grelha e próximo ao furo

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 16 - Inspeção visual de tampas de caixas UMA encaminhadas pela SABESP à TESIS

Amostra 1428/32	Amostra 1428/33	Amostra 1428/34	Amostra 1428/36	Amostra 1428/44
				
Fabricante "B" (Fabricação: Jul/16) Ruptura na grelha e na região plana	Fabricante "B" (Fabricação: Abr/17) Amostra íntegra	Fabricante "B" (Fabricação: Nov/15) Amostra íntegra	Fabricante "B" (Fabricação: Dez/13) Ruptura na grelha e na extremidade	Fabricante "B" (Fabricação: Fev/21) Ruptura na extremidade

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro e Quarto Relatórios Técnicos Bimensais da Frente de Trabalho 2 (documentos 1428/RTB003A-2 e 1428/RTB004A-2) – TESIS.

Foram identificados como pontos de fragilidade do produto e regiões preferenciais de falha: grelha, extremidades / bordas e áreas próximas a furos, respectivamente, com 7 (sete), 4 (quatro) e 2 (duas) ocorrências de ruptura.

Realização de ensaios laboratoriais para avaliação da matéria-prima, do processamento e da geometria das caixas de policarbonato

As Figuras 17 a 22 apresentam os resultados obtidos no ensaio de determinação da resistência ao impacto por queda de massa por corpos de prova envelhecidos, e as Figuras 23 a 25 por corpos de prova não envelhecidos. Células em vinho e com traços verticais em vermelho indicam ruptura quando da aplicação do impacto; células em verde e com traços verticais em verde indicam inocorrência de ruptura quando da aplicação do impacto; a sigla "NA" significa "não avaliado".

Ressalta-se que, a partir de 01/11/2020, a NTS0303 alterou os critérios de desempenho estabelecidos para o requisito – de "apresentar resistência ao impacto de 20 J" para "apresentar resistência ao impacto de 50 J" antes e após envelhecimento artificial.

Figura 17 - Resultados da amostra 1428/07 (Fabricante "A") - Envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	CP e Região	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
		0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/07 Fabricante "A" Nov/17	CP 1 | Plana																					---	---
	CP 2 | Plana																						
	CP 3 | Grelha					NA																	
	CP 4 | Plana																						
	CP 5 | Plana																						
	CP 6 | Plana + Grelha																						
	CP 7 | Plana																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 18 - Resultados da amostra 1428/08 (Fabricante "A") - Envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	CP e Região	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
		0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/08 Fabricante "A" Dez/16	CP 1 | Plana																					---	---
	CP 2 | Plana																						
	CP 3 | Grelha																						
	CP 4 | Grelha																						
	CP 5 | Plana																						
	CP 6 | Plana																						
	CP 7 | Grelha																						
	CP 8 | Grelha																						
	CP 9 | Plana																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 19 - Resultados da amostra 1428/09 (Fabricante "B") - Envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	CP e Região	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
		0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/09 Fabricante "B" Mai/13	CP 1 | Plana + Grelha																					---	---
	CP 2 | Plana + Grelha																						
	CP 3 | Plana + Grelha																						
	CP 4 | Plana																						
	CP 5 | Plana																						
	CP 6 | Plana																						
	CP 7 | Plana																						
	CP 8 | Plana																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 20 - Resultados da amostra 1428/10 (Fabricante "C") - Envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	CP e Região	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
		0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/10 Fabricante "C" Out/12	CP 1 | Plana																					---	---
	CP 2 | Plana																						
	CP 3 | Plana + Grelha																						
	CP 4 | Grelha																						
	CP 5 | Plana																						
	CP 6 | Plana																						
	CP 7 | Plana																						
	CP 8 | Plana																						
	CP 9 | Plana + Grelha																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 21 - Resultados da amostra 1428/18 (Fabricante "B") - Envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	CP e Região	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
		0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/18 Fabricante "B" Jul/15	CP 1 | Plana				NA		NA	NA														38,75 J	12,5 J
	CP 2 | Plana									NA	NA	NA	NA	NA									
	CP 3 | Plana																						
	CP 4 | Plana																						
	CP 5 | Plana																						
	CP 6 | Plana																						
	CP 7 | Grelha																						
	CP 8 | Grelha				NA		NA	NA															
	CP 9 | Grelha						NA	NA															
	CP 10 | Grelha						NA	NA															
	CP 11 | Grelha																						
	CP 12 | Grelha				NA		NA	NA															

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 22 - Resultados da amostra 1428/21 (Fabricante "C") - Envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	CP e Região	Altura (m) | Energia (J)																					Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
		0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/21 Fabricante "C" Set/15	CP 1 | Plana																						11,25 J	3,75 J
	CP 2 | Plana																							
	CP 3 | Plana																							
	CP 4 | Plana																							
	CP 5 | Plana																							
	CP 6 | Plana																							
	CP 7 | Grelha																							
	CP 8 | Grelha																							
	CP 9 | Grelha																							
	CP 10 | Grelha																							
	CP 11 | Grelha																							
	CP 12 | Grelha																							

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 23 - Resultados da amostra 1428/13 (Fabricante "A") - Não envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	Região	CP	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
			0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/13 Fabricante "A" Mai/23	Plana	CP 1 (Caixa 1)																					50 J	23,75 J
		CP 2 (Caixa 1)																						
		CP 3 (Caixa 1)																						
		CP 4 (Caixa 1)																						
		CP 5 (Caixa 1)																						
		CP 6 (Caixa 1)																						
		CP 4 (Caixa 2)																						
		CP 5 (Caixa 2)																						
		CP 6 (Caixa 2)																						
	Grelha	CP 7 (Caixa 1)																						
		CP 8 (Caixa 1)																						
		CP 9 (Caixa 1)																						
		CP 10 (Caixa 1)																						
		CP 11 (Caixa 1)																						
		CP 12 (Caixa 1)																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 24 - Resultados da amostra 1428/11 (Fabricante "D") - Não envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	Região	CP	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
			0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/11 Fabricante "D" Jul/23	Plana	CP 1																					8,75 J	3,75 J
		CP 2																						
		CP 3																						
		CP 4																						
		CP 5																						
		CP 6																						
	Grelha	CP 7																						
		CP 8																						
		CP 9																						
		CP 10																						
		CP 11																						
		CP 12																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 25 - Resultados da amostra 1428/14 (Fabricante "B") - Não envelhecida

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	Região	CP	Altura (m) | Energia (J)																				Maior Energia Resistida (Plana)	Maior Energia Resistida (Grelha)
			0,1 m / 2,5 J	0,2 m / 5 J	0,3 m / 7,5 J	0,4 m / 10 J	0,5 m / 12,5 J	0,6 m / 15 J	0,7 m / 17,5 J	0,8 m / 20 J	0,9 m / 22,5 J	1,0 m / 25 J	1,1 m / 27,5 J	1,2 m / 30 J	1,3 m / 32,5 J	1,4 m / 35 J	1,5 m / 37,5 J	1,6 m / 40 J	1,7 m / 42,5 J	1,8 m / 45 J	1,9 m / 47,5 J	2,0 m / 50 J		
1428/14 Fabricante "B" Jun/23	Plana	CP 1																					12, 5 J	---
		CP 2																						
		CP 3																						
		CP 4																						
		CP 5																						
		CP 6																						
	Grelha	CP 7																						
		CP 8																						
		CP 9																						
		CP 10																						
		CP 11																						
		CP 12																						

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Os resultados obtidos evidenciaram:

- Diferenças expressivas de resistência entre corpos de prova extraídos de diferentes regiões da tampa, sendo a região da grelha o ponto de maior fragilidade;

- Diferenças expressivas de resistência de tampas de diferentes fabricantes, demonstrando a efetividade do ensaio em diferenciar a geometria, o processamento e a qualidade da matéria-prima empregada na fabricação das caixas UMA;

- Dificuldade de atendimento aos critérios de desempenho estabelecidos na NTS0303 por todos os produtos avaliados.

Realização de ensaios laboratoriais para avaliação da caixa de policarbonato montada

A Figura 26 apresenta os resultados obtidos no ensaio de determinação da resistência ao impacto por queda de massa realizado na caixa montada em temperatura ambiente, e a Figura 27 na caixa montada previamente condicionada a (-3 ± 1) °C por período de 4h.

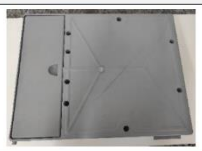
De acordo com a NTS0303:2020, após aplicação do impacto, a caixa montada não pode apresentar anomalias visuais, deformações, fissuras ou rupturas.

Figura 26 - Resultados da amostra 1428/11 (Fabricante "D") - Temperatura ambiente

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	Registro Fotográfico	Ocorrências			
		Deformações	Fissuras	Rupturas	Anomalias Visuais
1428/11 Fabricante "D" Jul/23		---	---	SIM	---

Fonte: Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Figura 27 - Resultados da amostra 1428/11 (Fabricante "D") - Temperatura negativa

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação	Tampa					Fundo				
	Registro Fotográfico	Ocorrências				Registro Fotográfico	Ocorrências			
		Deformações	Fissuras	Rupturas	Anomalias Visuais		Deformações	Fissuras	Rupturas	Anomalias Visuais
1428/11 Fabricante "D" Jul/23		---	---	SIM	---		---	---	---	---

Fonte: Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB003A-2) – TESIS.

Os resultados obtidos evidenciaram diferenças de resistência entre diferentes partes da caixa (tampa e fundo), sendo a tampa o ponto de maior fragilidade. Com isso, a capacidade do ensaio em reproduzir fidedignamente as condições de solicitação às quais as caixas plásticas estão submetidas foi colocada em análise, uma vez que a metodologia exclui pontos identificados como de fragilidade do produto – bordas, extremidades e proximidade de furos.

Estudo de metodologias de ensaio alternativas para avaliação da caixa montada

A Figura 28 apresenta os resultados de resistência ao impacto de corpo duro obtidos por caixas UMA de policarbonato de distintos fabricantes, e a Figura 29 apresenta os registros fotográficos das amostras após aplicação dos impactos, com indicação, em vermelho, dos pontos de ruptura.

Para cada impacto aplicado, as amostras foram avaliadas quanto à ocorrência de fissuras, trincas, rupturas e deformações.

Figura 28 - Resultados de resistência ao impacto de corpo duro na caixa montada

Pontos de Aplicação do Impacto		Amostra 1428/11 Fabricante "D" (Fab: Julho/23)				Amostra 1428/13 Fabricante "A" (Fab: Maio/23)				Amostra 1428/14 Fabricante "B" (Fab: Abril/23)				Amostra 1428/39 Fabricante "C" (Fab: Março/23)			
		Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações
Extremidade	P1	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--
	P2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P3	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	PONTO NÃO ENSAIADO (*)			
Grelha	P5	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P6	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--
	P7	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM (**)	--
	P8	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P9	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P11	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--
Furo	P10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--
Plana	P12	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--
	P13	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P14	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(*): O impacto aplicado no P11 causou ruptura em parte no P4, impossibilitando realização do ponto. | (**): O impacto aplicado causou ruptura próximo ao P6.

Fonte: Quarto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB004A-2) – TESIS.

Figura 29 - Registro fotográfico das amostras após ensaio de resistência ao impacto de corpo duro

Amostra 1428/11 Fabricante "D" (Fab: Julho/23)	Amostra 1428/13 Fabricante "A" (Fab: Maio/23)	Amostra 1428/14 Fabricante "B" (Fab: Abril/23)	Amostra 1428/39 Fabricante "C" (Fab: Março/23)
			
RUPTURAS: • Extremidade → P3; • Grelha → Todos os pontos; • Região Plana → P12 e P14.	RUPTURAS: • Extremidade → P1; • Grelha → P6.	RUPTURAS: • Grelha → P6 e P11; • Furo → P10; • Região Plana → P12.	RUPTURAS: • Grelha → P6 e P11; • Furo → P10; • Região Plana → P12; • Extremidade → P1 e P4.

Fonte: Quarto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB004A-2) – TESIS.

A metodologia adotada para avaliação do produto acabado, em contraponto àquela estabelecida na NTS0303:2020, permitiu direcionar a aplicação do impacto em pontos de fragilidade da caixa (bordas, grelhas e proximidade a furos), além de prever posicionamento da amostra em condições mais próximas às de instalação do produto (na vertical, com fixação na parede).

Os resultados obtidos evidenciaram:

- Diferenças expressivas de resistência entre caixas UMA produzidas por diferentes fabricantes;
- Capacidade do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro com energia de 20 J em diferenciar a qualidade dos produtos e reproduzir fidedignamente as condições de solicitação das caixas UMA.

Avaliação do potencial de materiais alternativos ao policarbonato em atender às exigências de desempenho mecânico requeridas pela SABESP – Caixas UMA de PRFV

Realização de ensaios laboratoriais para avaliação da matéria-prima, do processamento e da geometria das caixas de PRFV

A Figura 30 apresenta os resultados obtidos no ensaio de determinação da resistência ao impacto por queda de massa realizado com base na NTS0303, e a Figura 31 apresenta os resultados obtidos no ensaio realizado com base na ABNT NBR 15820. Ambas as figuras contemplam fotos dos corpos de prova extraídos da caixa UMA de PRFV após aplicação dos impactos.

Figura 30 - Resultados da amostra 1428/46 (Fabricante "F") - Metodologia com base na NTS0303

Amostra 1428/46 – Fabricante "F" Metodologia Com Base na NTS0303 – Corpos de Prova de (7x10) cm Extraídos da Tampa da Caixa UMA								
Altura (m)	Energia (J)	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
1,20	30	-	-	-	-	-	-	-
1,00	25	-	-	-	-	-	-	-
0,80	20	X	X	X	X	X	X	X

CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
						
h = 0,8 m	h = 0,8 m	h = 0,8 m	h = 0,8 m	h = 0,8 m	h = 0,8 m	h = 0,8 m

X – Rompeu / O – Não rompeu

Fonte: Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

Figura 31 - Resultados da amostra 1428/46 (Fabricante "F") - Metodologia com base na NBR 15820

Amostra 1428/46 – Fabricante "F" Metodologia Com Base na ABNT NBR 15820 – Corpos de Prova de (6x6) cm Extraídos da Tampa e da Base da Caixa UMA													
Altura (m)	Energia (J)	CPs da Tampa					CPs da Base						
		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
2,00	30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

CPs da Tampa					CPs da Base						
CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
											
h = 2,0 m					h = 2,0 m						

X – Rompeu / O – Não rompeu

Fonte: Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

Todos os corpos de prova ensaiados sofreram ruptura após aplicação do impacto por queda de massa, identificando-se, preliminarmente, incapacidade da matéria-prima ensaiada em atender às demandas de resistência mecânica estabelecidas atualmente pela SABESP para caixas UMA.

Realização de ensaios laboratoriais para avaliação da caixa de PRFV montada

A Figura 32 apresenta os resultados de resistência ao impacto de corpo duro obtidos por caixas UMA de PRFV.

Figura 32 - Resultados de resistência ao impacto de corpo duro na caixa montada

Pontos de Aplicação do Impacto e Ocorrências	Amostra 1428/46 – Fabricante "F"																												
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29
Fissuras	NA	--	NA	NA	NA	NA	--	NA	--	NA	--	NA	--	NA	NA	--	NA	--	--	--	NA	--	NA	--	NA	NA	NA	NA	--
Trincas	NA	--	NA	NA	NA	NA	--	NA	--	NA	--	NA	--	NA	NA	--	NA	--	--	--	NA	--	NA	--	NA	NA	NA	NA	--
Rupturas	NA	SIM	NA	NA	NA	NA	--	NA	SIM	NA	SIM	NA	SIM	NA	NA	SIM	NA	SIM	SIM	SIM	NA	SIM	NA	--	NA	NA	NA	NA	SIM
Deformações	NA	--	NA	NA	NA	NA	--	NA	--	NA	--	NA	--	NA	NA	--	NA	--	--	--	NA	--	NA	--	NA	NA	NA	NA	--

Registro Fotográfico	Amostra ANTES do Ensaio	Amostra APÓS Ensaio
		

NA: Não avaliado devido a rupturas na caixa.

Fonte: Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

Os resultados obtidos demonstraram que há diferença relevante de resistência entre caixas UMA produzidas em policarbonato e em poliéster reforçado com fibra de vidro, com a amostra em PRFV apresentando rupturas de

expressiva magnitude na maioria significativa dos pontos ensaiados. O comportamento verificado preliminarmente, portanto, não foi considerado favorável ao uso desse material em caixas UMA, como alternativa ao policarbonato.

Adequação das especificações e metodologias de ensaio contempladas na NTS0303:2020

Realização de ensaios laboratoriais para avaliação da matéria-prima, do processamento e da geometria das caixas de policarbonato

As Figuras 33, 34 e 35 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos no ensaio de determinação da resistência ao impacto por queda de massa na 1ª, 2ª e 3ª rodadas de teste. Células em vinho indicam ruptura quando da aplicação do impacto; células em verde indicam inocorrência de ruptura quando da aplicação do impacto; células em branco indicam ausência de avaliação, devido à reprovação constatada quando da aplicação do impacto anterior; células em branco com traço (-) indicam ausência de avaliação, devido à metodologia de ensaio adotada.

Figura 33 - Resultados da 1ª rodada de testes

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação		1428/47 - Fabricante "A" (Out/23)		1428/48 - Fabricante "C" (Set/23)		1428/49 - Fabricante "B" (Jun/23)		1428/50 - Fabricante "D" (Set/23)	
Região		Plana	Grelha	Plana	Grelha	Plana	Grelha	Plana	Grelha
Corpo de Prova		1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12
Altura | Energia	0,8 m | 20 J								
	1,0 m | 25 J								
	1,2 m | 30 J								
	1,4 m | 35 J	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -
Maior Energia Resistida		30 J	20 J	30 J	20 J	30 J	---	30 J	25 J

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB005A-2) – TESIS.

Figura 34 - Resultados da 2ª rodada de testes

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação		1428/47 - Fabricante "A" (Out/23)	
Região		Plana	Grelha
Corpo de Prova		1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12
Altura | Energia	0,8 m | 20 J	- - - -	
	1,0 m | 25 J	- - - - -	
	1,2 m | 30 J	- - - -	
	1,4 m | 35 J	- - - -	
Maior Energia Resistida		35 J	30 J

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sexto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB006A-2) – TESIS.

Figura 35 - Resultados da 3ª rodada de testes

Amostra, Fabricante e Data de Fabricação		1428/47 - Fabricante "A" (Out/23)		1428/48 - Fabricante "C" (Set/23)		1428/49 - Fabricante "B" (Jun/23)		1428/50 - Fabricante "D" (Set/23)		1428/64 - Fabricante "E" (Jun/21)	
Região		Plana	Grelha	Plana	Grelha	Plana	Grelha	Plana	Grelha	Plana	Grelha
Corpo de Prova		1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12
Altura | Energia	0,8 m | 20 J										
	1,0 m | 25 J										
	1,2 m | 30 J										
	1,4 m | 35 J										
Maior Energia Resistida		35 J	35 J	30 J	20 J	30 J	---	35 J	20 J	35 J	25 J

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sexto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 (documento 1428/RTB006A-2) – TESIS.

Os resultados obtidos ratificaram a repetibilidade da metodologia proposta. Em todas as três rodadas de teste verificou-se diferença expressiva de comportamento de produtos de distintos fabricantes, potencial das caixas em atender a energia de ensaio de 30 J na região plana, e que a grelha é ponto de fragilidade das caixas UMA de policarbonato, com potencial para resistir a impactos de cerca de 20 J.

Realização de ensaios laboratoriais para avaliação da caixa de policarbonato montada

A Figura 36 apresenta os resultados de resistência ao impacto de corpo duro obtidos por caixas UMA de policarbonato de distintos fabricantes na 1ª, 2ª e 3ª rodadas de ensaios.

Figura 36 - Resultados de resistência ao impacto de corpo duro na caixa montada

Pontos de Aplicação do Impacto		1ª Rodada																2ª Rodada				3ª Rodada																			
		Amostra 1428/47 Fabricante "A" (Fab: Outubro/23)				Amostra 1428/48 Fabricante "C" (Fab: Setembro/23)				Amostra 1428/49 Fabricante "B" (Fab: Junho/23)				Amostra 1428/50 Fabricante "D" (Fab: Setembro/23)				Amostra 1428/47 Fabricante "A" (Fab: Outubro/23)				Amostra 1428/48 Fabricante "C" (Fab: Setembro/23)				Amostra 1428/49 Fabricante "B" (Fab: Junho/23)				Amostra 1428/50 Fabricante "D" (Fab: Setembro/23)				Amostra 1428/64 Fabricante "E" (Fab: Junho/21)			
		Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações	Fissuras	Trincas	Rupturas	Deformações
Extremidade	P1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--
	P4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Grelha	P5	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P6	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--
	P7	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P8	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	NA	NA	NA	NA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P9	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	NA	NA	NA	NA	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Furo	P10	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Plana	P12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P13	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	P14	--	--	--	--	--	--	--	--	NA	NA	NA	NA	--	--	SIM	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Centro Geométrico	P15																					--	--	--	--	--	--	SIM	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

NA: Não avaliado devido a rupturas na caixa.

Aparência Após Ensaio	

Fonte: Quinto e Sexto Relatórios Técnicos Bimensais da Frente de Trabalho 2 (documentos 1428/RTB005A-2 e 1428/RTB006A-2) – TESIS.

Os resultados obtidos ratificaram a repetibilidade da metodologia proposta, sua capacidade em reproduzir de forma fidedigna as solicitações de uso das caixas plásticas quando instaladas, sua adequação em identificar pontos de fragilidade dos produtos e regiões preferenciais de falha, e sua capacidade em diferenciar a qualidade de caixas UMA de diferentes fabricantes.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando a documentação técnica avaliada, foi possível constatar que a Norma Técnica SABESP NTS0303:2020 contempla os principais requisitos de desempenho estabelecidos a nível nacional para caixas para unidades de medição de água.

O rigor de suas especificações é, para determinadas propriedades, maior que o de outras Companhias de Saneamento e maior que o de normas brasileiras aplicáveis a outros produtos fabricados em materiais plásticos. Sobre este aspecto, chama a atenção o fato de a NTS0303 não admitir perda de desempenho do material após envelhecimento artificial.

Quanto ao material empregado na fabricação de caixas UMA, identificou-se tendência internacional de uso do poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV). Entretanto, face às exigências de desempenho mecânico requeridas pela SABESP, e considerando os resultados obtidos em ensaios laboratoriais, não se pode considerá-lo, preliminarmente, uma alternativa ao policarbonato.

No que tange às caixas UMA de policarbonato, as atividades desenvolvidas na etapa de diagnóstico, relativas à inspeção de amostras retiradas de campo, permitiram identificar pontos de fragilidade do produto e regiões preferenciais de falha – grelha, extremidades / bordas e áreas próximas a furos.

Tais constatações foram ratificadas pela experimentação laboratorial que, complementarmente, permitiu identificar a necessidade de revisão de critérios de desempenho e metodologias de ensaio para avaliação da matéria-prima e do produto acabado atualmente contemplados na NTS0303:2020.

Para avaliação da matéria-prima, do processamento e da geometria, a existência de diferenças expressivas de resistência entre corpos de prova extraídos de diferentes regiões da tampa da caixa UMA e a dificuldade de atendimento aos critérios de desempenho estabelecidos na norma SABESP por todos os produtos avaliados, conforme evidenciado nas Figuras 33, 34 e 35, apontam para a necessidade de adoção de critérios de resistência ao impacto por queda de massa distintos, conforme região de extração dos corpos de prova – "região plana" ou "região da grelha". Adicionalmente, revelam a necessidade de revisão da energia de impacto atualmente prescrita no documento, tanto para a condição "antes do envelhecimento", como para a condição "após envelhecimento".

Para avaliação da caixa montada, a metodologia de ensaio atualmente contemplada na NTS0303:2020 se mostrou pouco precisa em reproduzir as condições reais de solicitação das caixas UMA em serviço, uma vez que exclui da avaliação bordas, extremidades e proximidade de furos e prevê a aplicação de impacto na caixa em posição horizontal, condição distinta daquela de instalação do produto. A metodologia de ensaio alternativa prospectada e apresentada neste artigo – resistência ao impacto de corpo duro –, em contrapartida, comprovou adequação e eficácia, possibilitando a análise do produto na totalidade de seus pontos de fragilidade.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As atividades desenvolvidas durante os primeiros 15 (quinze) meses de vigência do contrato firmado entre TESIS e SABESP, relativas a caixas para Unidades de Medição de Água (UMA), permitiram:

- Conhecer soluções adotadas nacional e internacionalmente relacionadas ao material utilizado para a fabricação desses produtos e requisitos de desempenho utilizados para avaliação de sua conformidade;
- Identificar a tendência internacional de uso do poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV), como alternativa ao policarbonato;
- Mapear a resistência média do material, avaliar seu padrão de ruptura e identificar pontos de fragilidade;
- Julgar a efetividade das metodologias de ensaio propostas na NTS0303:2020 em reproduzir fidedignamente as condições reais de solicitação do produto quando em serviço;
- Identificar a necessidade de revisão de critérios de desempenho e metodologias de ensaio para avaliação da matéria-prima e do produto acabado atualmente contemplados na normalização técnica de referência da SABESP.

Diante disso, como etapas futuras de desenvolvimento dos trabalhos, a serem aprimoradas durante a Frente de Trabalho 3, recomenda-se a revisão da NTS0303, com as seguintes propostas de alteração:

- Diferenciar claramente os ensaios previstos para avaliação da matéria-prima e do produto acabado;
- Revisar o método de ensaio de determinação da resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova, com padronização do plano de extração – 6 (seis) corpos de prova extraídos da região plana e 6 (seis) corpos de prova extraídos da região da grelha – e revisão dos critérios de desempenho estabelecidos, diferenciando a energia de ensaio para corpos de prova não envelhecidos extraídos da região plana (30 J) daquela aplicável a corpos de prova não envelhecidos extraídos da região da grelha (20 J). Adicionalmente, admitir em caráter preliminar, a ser prospectado mediante experimentação, perda admissível de resistência de 30% para corpos de prova extraídos da tampa da caixa plástica após envelhecimento artificial;
- Incorporar a determinação da resistência ao impacto por queda de massa em corpos de prova nas exigências SABESP para inspeção de recebimento dos produtos, uma vez que a qualidade das caixas UMA de policarbonato pode ser afetada pelo seu processo de fabricação;

- Alterar o procedimento de ensaio previsto para avaliação da caixa montada, com substituição do ensaio de resistência ao impacto por queda de massa na caixa montada pelo ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 15575-4:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE;

2. ABNT NBR 15820:2023 – Caixa para medidor de energia elétrica – Requisitos;

3. ABNT NBR 16851-1:2020 – Esquadrias – Perfis de PVC rígido para a fabricação de esquadrias – Parte 1: Requisitos para perfis de cores claras;

4. ABNT NBR 16851-2:2020 – Esquadrias – Perfis de PVC rígido para a fabricação de esquadrias – Parte 2: Métodos de ensaio para perfis de cores claras;

5. EB/USDO/030-CPH:2012 (SANEPAR) – CPH Caixa de Proteção de Hidrômetros;

6. EN00.0300:2022 (SANEAGO) – Especificação de caixa padrão (CP) em policarbonato;

7. ETP002:2018 (SAAE Sorocaba) – Caixa para unidade de medição de ligação de água;

8. NIT-0069-V10:2023 (CAGECE) – Padrões de ligação;

9. NTS0302:2020 (SABESP) – Dispositivo para Unidade de Medição de Água – UMA – e UMA no Passeio – UMAP;

10. NTS0303:2017 (SABESP) – Caixa para unidade de medição de água – UMA;

11. NTS0303:2020 (SABESP) – Caixa para unidade de medição de água – UMA;

12. SAN.A.IN.NA 49:2023 (SANASA – Campinas) – Especificações técnicas para fornecimento de caixa de proteção para medidor de água DN 20;

13. 1428/RTB002A-1 – Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 – TESIS;

14. 1428/RTB002A-2 – Segundo Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 – TESIS;

15. 1428/RTB003A-1 – Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 – TESIS;

16. 1428/RTB003A-2 – Terceiro Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 – TESIS;

17. 1428/RTB004A-1 – Quarto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 1 – TESIS;

18. 1428/RTB004A-2 – Quarto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 – TESIS;

19. 1428/RTB005A-2 – Quinto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 – TESIS;

20. 1428/RTB006A-2 – Sexto Relatório Técnico Bimensal da Frente de Trabalho 2 – TESIS.