

**DESENVOLVIMENTO DE UM RESERVATÓRIO EM PRFV DE 25 M³ PARA ÁGUA
POTÁVEL**

DEVELOPMENT OF A 25 M³ FRP RESERVOIR FOR POTABLE WATER

¹Gabriel da Silva Guerra, ²Fabiano Farias de Oliveira

¹Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, Minas Gerais, Email:
gabriels.guerra@hotmail.com

²Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, Minas Gerais. Email:
fabiano.oliveira@professor.unis.edu.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um reservatório cilíndrico vertical com capacidade de 25 m³, confeccionado em Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), destinado ao armazenamento de água potável. O projeto teve como objetivo principal elaborar, fabricar e testar um equipamento que atendesse às normas ASME RTP-1, ASTM D3299, ASTM D4097 e ABNT NBR 16098, garantindo segurança estrutural e conformidade com os requisitos de potabilidade. Para isso, foram aplicados processos de laminação manual, *Spray-up* e *Filament winding*, além da execução de ensaios de qualidade, como testes de dureza Barcol, cinzas, estanqueidade e sensibilidade à acetona. O memorial de cálculo considerou as ações de pressão hidrostática e de vento conforme a ABNT NBR 6123, assegurando a integridade estrutural do costado e dos tampos. Os resultados demonstraram que o PRFV é uma alternativa tecnicamente viável para substituição de materiais metálicos, apresentando alta resistência mecânica, baixa densidade e excelente desempenho contra corrosão. O estudo proporcionou ganhos técnicos e práticos, evidenciando o potencial de aplicação dos materiais compósitos na fabricação de reservatórios para uso industrial e de saneamento.

Palavras-chave: PRFV. Reservatório. Materiais compósitos. Ensaios. Potabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de água e a necessidade de armazenamento, principalmente durante os períodos de seca, têm impulsionado o desenvolvimento de sistemas de estocagem. Os reservatórios em aço carbono ou inox já não são unanimidade no mercado. Com o avanço dos materiais compósitos, o Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) surge como uma excelente alternativa para solucionar os desafios relacionados ao armazenamento de diversos tipos de fluidos, desde efluentes até produtos químicos, como, por exemplo, os ácidos.

O PRFV é um material compósito formado por uma matriz polimérica e fibras de vidro. Pode-se fazer uma analogia entre o PRFV e o coco, onde polpa interna, está em contato com água e responsável pela estanqueidade, corresponde ao *liner* e à barreira química; já a casca representa a camada estrutural, que garante resistência mecânica. O emprego de materiais compósitos tem prosperando na indústria, em setores que exigem alta confiabilidade e baixo custo de manutenção.

Os reservatórios em PRFV devem seguir normas nacionais e internacionais com a ASME RTP-1, ASTM D3299, ASTM D4097. Para os reservatórios de água a NBR 16098 que estabelece critérios para fabricação e potabilidade.

A motivação para este estudo, é apresentar os reservatórios em PRFV, são capazes de atender aos requisitos normativos, garantindo resistência estrutural e potabilidade. Dessa forma assegurar a segurança no armazenamento de 25 m³ de água potável. Além disso, buscou-se compreender as etapas de fabricação e inspeção do equipamento, a fim de assegurar sua conformidade técnica e funcional.

A relevância deste trabalho será buscar soluções de alta durabilidade para o armazenamento de água, em ambientes rurais, industriais, residenciais e químicos, entre outros. A resistência a corrosão e a facilidade de manutenção contribuem para a escolha desse material. O projeto também visa contribuir para o avanço do conhecimento técnico sobre o emprego de materiais compósitos em diversos setores industriais.

O objetivo geral deste estudo é desenvolver e fabricar um reservatório cilíndrico vertical, com tampo inferior plano e tampo superior elíptico, com capacidade total de 25m³ de água potável, seguindo todos os parâmetros normativos aplicáveis. Como objetivo específico se destacam:

- a) projetar o equipamento conforme as normas ASTM e NBR;
- b) selecionar os materiais adequados, garantindo compatibilidade da resina com o fluido armazenado;

- c) realizar a memória de cálculo conforme as normas NBR 6123, ASTM D3299, ASTM D4097 e ASME RTP-1;
- d) submeter o equipamento a ensaios de qualidade e estanqueidade.

A metodologia adotada fundamentou-se no acompanhamento prático de todas as etapas de fabricação do reservatório, desde elaboração do projeto, até os testes de validações finais. Foram empregados métodos experimentais e análise normativas, que incluindo ensaios de tração, dureza Barcol, teste de cinzas e teste hidrostático, com o objetivo de comprovar o desempenho e conformidade do equipamento dentro dos padrões normativos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reservatórios atmosféricos

Conforme apresentado por Telles (2007), todo e qualquer recipiente estanque capaz de conter um fluido pressurizado, independentemente do tipo, dimensão, formato ou finalidade, são classificados genericamente, com um vaso de pressão.

Entretanto, para Chattopadhyay (2005), conclui que, os vasos de pressão e tanques de armazenamentos, possui a finalidade de armazenar fluidos, seja a pressão atmosférica ou superiores a esta. Tais equipamentos, poderão apresentar grande variedade de dimensões desde poucos centímetros até 50m de diâmetro.

2.2 Confeção de um reservatório em PRFV

Conforme o estudo de Cauhois (2012), para a confecção de um reservatório em PRFV (plástico reforçado com fibra de vidro), podem-se aplicar diferentes maneiras de se laminar a resina com a fibra de vidro, as escolhas estarão sujeitas a dimensão, quantidade e esforços que a peça irá sofrer durante sua vida útil.

Para Cauhois (2012) as técnicas mais empregadas para a produção de lâminas de PRFV são *Hand Lay-up* (manual), que permite a aplicação de mantas, tecidos e véus de fibra de vidro. Por outro lado, o *Spray-up* (mecanizada) é qualificado pelo emprego do *rouving*, e finalmente o *Filament Winding* (semiautomática), é caracterizado pelo uso exclusivo do *rouving*. A diferenciação dos processos de laminação será apresentada no quadro 1.

Quadro 1. Descrição dos processos de laminação

Processo de laminação	Descrição
<i>Hand Lay-up</i>	É um método manual de laminação, de baixo custo e simples execução, usado para protótipos e reparos. Envolve aplicação manual de fibra e resina sobre o molde com rolos e pincéis. O processo apresenta boa aparência externa, porém possui limitações no controle estrutural e acabamento interno rugoso.
<i>Spray-up</i>	É versão mecanizada do <i>Hand Lay-up</i> , onde fibra e resina são aplicadas simultaneamente por <i>spray</i> . É um processo rápido e produtivo, porém com limitações de controle e acabamento, indicado para peças simples.
<i>Filament Winding</i>	É um processo semiautomático de enrolamento de fios contínuos de fibra de vidro sobre molde cilíndrico. Gera peças leves e resistentes, com ótimo controle estrutural e alta relação reforço/matriz

Fonte: O autor.

2.3 Materiais compósitos

Segundo Callister (2014), o compósito, constitui-se em um material multifásico confeccionado de forma sintética, em contra posição de um material que ocorre ou se forma naturalmente. Acrescenta-se que, as fases que compõem o material devem ser quimicamente distintas e devem ser segregadas por uma interface diferente. A grande maioria dos materiais compósitos são formados por apenas duas fases; a primeira que é denominada matriz, a qual é constante e abrange a outra fase, comumente chamada de fase dispersa. As características químicas dos compósitos são em consequência das propriedades das fases constituintes, de sua quantidade relativa e da geometria da fase dispersa.

2.3.1 Matrizes poliméricas

É definida como matrizes poliméricas os componentes orgânicos de elevados pesos moleculares, produto de reações de polimerização por adição ou condensação de diferentes componentes básicos (Callister, 2014).

2.3.2 Matrizes termorrígida

O material termorrígido é formado pela reação química entre a resina e o catalisador, o qual resulta em um material rígido de reação química irreversível. No processo de cura, é gerada ligações moleculares tridimensionais, nomeadas ligações cruzadas. Em razão a essas ligações cruzadas, as moléculas não podem ser derretidas e remoldadas. Quanto maior o número de ligações cruzadas, mais rígido e termicamente estável será o material (Mazumdar, 2002).

2.3.3 Plástico reforçados com fibras de vidro

Segundo Liao et al. (1998), os plásticos reforçados com fibra de vidro (PRFV), são compósitos à base de uma matriz polimérica reforçada com fibras de vidro, ressaltam-se como os compósitos mais utilizados. Sua excepcional relação desempenho/ peso lhes confere uma ampla utilização em diversas áreas como indústria marítima, aeronáutica, etc. Com grande ênfase na utilização dos compósitos na fabricação de tubulações e reservatórios de grande e médio porte.

2.3.4 Resistência à tração do material compósito de PRFV

De acordo com Broutman (1980), a carga máxima aplicada em compósitos reforçados com fibra de vidro irá depender de vários fatores. O PRFV é um material anisotrópico, o qual, sua principal resistência a propriedade física irá depender da direção em que for submetida ao esforço. Já o aço carbono é um material isotrópico, o qual a sua resistência a tração sempre será a mesma independente da direção. O costado de um reservatório em PRFV possui menor resistência a tração no sentido axial do que no sentido circunferencial, isso será gerado pelo fato das fibras contínuas serem enroladas de forma circunferencial ao costado do reservatório então convertendo essa orientação preferencial da fibra, a tensão circunferencial é submetida a carga hidrostática do fluido do equipamento, enquanto a carga axial irá sofrer a pressão do vento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O propósito deste estudo é apresentar o projeto e confecção de um reservatório para armazenamento de água potável em PRFV. O reservatório será fornecido à uma empresa do seguimento agro industrial, terá capacidade de 25m³, diâmetro interno de 2500mm e

comprimento cilíndrico de 5100mm. O formato de seu 27 casco será cilíndrico vertical, já o seu tampo inferior será do modelo plano e tampo superior será torisférico.

3.1 Desenho técnico

Segundo a norma ABNT/NBR 10647, referente à nomenclatura e detalhamento, o projeto possui uma folha em formato A1, na qual estão representados todas as dimensões e layout do reservatório. A partir deste desenho técnico, será elaborada a lista de materiais e reunidas todas as informações necessárias para a confecção do reservatório. É importante ressaltar que o projeto foi desenvolvido pela empresa contratada e posteriormente aprovado pela empresa contratante (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

3.2 Memorial de cálculo

O projeto e fabricação do reservatório seguem as seguintes normas técnicas e referências bibliográficas específicas: ASTM D3299; ASTM D4097; ABNT NBR 6123 e o livro Compósitos para uso industrial – Antônio Carvalho Filho.

Para a elaboração do memorial de cálculo é importante considerar, que o processo de fabricação utiliza distintos tipos de laminação, pode variar conforme o tipo de camada a ser fabricada e o formato da peça.

A fabricação das camadas mais internas do reservatório (*Liner* e Barreira Química), os tampos inferior e superior, as soldas, uniões e acoplamentos (bocais, sapatas e demais acessórios) serão confeccionadas pelo processo de laminação manual e *spray-up*. Já a camada estrutural do corpo cilíndrico (casco), será confeccionada pelo processo de *filament winding*.

3.2.1 Cálculo do tampo inferior

O tampo inferior plano será integralmente apoiado na base (radier), conseqüentemente, não será necessário calcular, pois a carga hidrostática será transferida diretamente à base. De acordo com a norma ASTM D4097-2018, é recomendado que reservatórios com diâmetros entre 1,8M e 3,7M possuam espessura mínima total de $T_f = 6,4\text{mm}$ (ASTM D4097,2018).

3.2.2 Cálculo do casco cilíndrico (costado)

Conforme a norma ASTM D3299, o casco cilíndrico (costado) apresenta espessura mínima de 4,77 mm correspondente a 3/16". A espessura mínima exigida para suportar a carga hidrostática do reservatório será de 4,94mm (ASTM D3299, 2018).

3.2.2.1 Pressão radial exercida pelo vento

Conforme Carvalho (2012), no cálculo da pressão radial do vento, considera-se uma carga uniformemente distribuída ao redor do cilindro. Essa distribuição pode causar uma instabilidade circunferencial, na face de incidência do vento. A situação torna-se mais crítica quando o reservatório está vazio, ou seja, sem fluido em seu interior. Nessa condição, a pressão exercida pelo vento deve ser comparada à pressão circunferencial crítica, a fim de verificar a estabilidade estrutural do costado. Conforme a ABNT/NBR 6123 a carga do vento no costado do reservatório de $963,22N/m^2$ (Antônio Carvalho Filho, 2012).

3.2.2.2 Tensão de compressão axial

Carvalho (2012) indica, que a instabilidade axial, ocorre no lado oposto a direção do vento. Nesta condição, a tensão de compressão axial é comparada à tensão axial crítica. As cargas de compressão atuam predominantemente no costado do reservatório. Conforme as condições de projeto, a tensão de compressão axial que o reservatório irá suportar é de $13kg/cm^2$. (Antônio Carvalho Filho, 2012).

3.2.3 Cálculo do tampo superior

Conforme a norma ASTM D4097, a espessura do tampo superior, possuirá espessura de 6.0mm. E a carga considerada será de $110kg/cm^2$, não apresentando a deformação do diâmetro do reservatório (ASTM D4097, 2018).

3.2.4 Espessura da emenda entre tampo e costado

Segundo a norma ASTM D4097, a espessura de emenda entre o tampo inferior e o corpo cilíndrico tem que possuir, no mínimo, a somatória das espessuras do fundo com o costado, resultando em uma espessura de 11,34mm (ASTM D4097, 2018).

3.2.5 Largura da emenda entre tampo e costado

Segundo a norma ASTM D4097, a espessura de emenda entre o tampo inferior e o corpo cilíndrico tem que cobrir uma distância mínima de 12pol (304MM), para reservatórios com diâmetro superior a 1220mm (ASTM D4097, 2018).

3.3 Fabricação do equipamento

Após a aprovação do projeto pela empresa contratante, a matéria-prima é adquirida para a confecção do equipamento. Para a fabricação do reservatório e seus acessórios, utiliza-se o compósito de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), cuja principal característica é a anisotropia, ou seja, a capacidade do material de reagir aos esforços de acordo com a direção.

3.4 Inspeção e teste

Segundo a ASTM D2584, é suma importância qualquer reservatório ser submetido a inspeções visuais e testes.

3.5 Inspeção visual

Para a ASTM D2562, a inspeção visual deverá abranger diversos critérios de aceitação para as peças a serem confeccionadas. A inspeção visual visa detectar possíveis não conformidades ou desvios no processo de produtivo das peças (ASTM D2562, 2018).

3.6 Teste de dureza Barcol

Conforme Kunrath (2013), para uma inspeção de qualidade, o índice de cura da resina poliéster deverá ser monitorado. Para este exame deverá ser utilizado um medidor durômetro Barcol, que faz sua medição através de uma agulha que contabiliza a resistência a penetração que irá variar de 0 a 100, as resinas normalmente tendem a ficar por volta de 40 Barcol, entretanto é obrigatório verificar o boletim técnico do fabricante para conferência da cura de 100% do polímero.

3.7 Teste de cinzas

Conforme a ASTM D2584, o teste de cinzas é um ensaio destrutivo que visa determinar a perda de ignição da resina reforçada e curada (ASTM D2584, 2018).

3.8 Teste de estanqueidade

De acordo com a ASME RTP-1, o teste de estanqueidade consiste em abastecer o reservatório com água limpa em um período mínimo de duas horas para a detecção de vazamentos. Se ocorrer algum tipo de escape de água o equipamento deverá ser reparado e teste deve ser repetido (ASME RTP-1, 2017).

3.9 Laudo de potabilidade

Conforme a NBR 16098, os equipamentos, cuja principal função seja melhorar a qualidade da água para consumo humano, deverá passar por testes específicos afim de autorizar a utilização da resina na fabricação do equipamento (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo teve como metodologia principal acompanhar o processo de fabricação de um reservatório de 25m³ em polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), desde o projeto até seu acabamento final. Após este monitoramento, o reservatório em PRFV possui a mesma segurança que os reservatórios em aço carbono. Por ser um material compósito, a estrutura possui baixa densidade em torno de 1600kg/m³ o que acarreta em um baixo peso, e apresenta resistência mecânica próxima ao aço, com durabilidade próxima.

Segundo o boletim técnico de resistência da resina, o tanque em PRFV atende temperatura de até 90°C, para temperaturas acima o reservatório deverá ser confeccionado com outro tipo de resina mais nobre. Em comparação aos reservatórios de aço carbono o reservatório possui resistência a oxidação, intempéries químicas agressivas (chuva ácida), a resina por ser epóxi não será necessário acabamento interno, devido ao formato do molde não possuirá pontos de incrustação que pode gerar contaminação.

O reservatório por ser confeccionado em polímero possui uma baixa condutividade elétrica, não sendo necessário a instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) dessa forma reduzindo seu custo.

Por meio do estudo, foi possível absorver conhecimento sobre o armazenamento de água, elaboração de desenho técnico e desenvolvimento de memorial de cálculo conforme as normas ASME RTP-1, ASTM D3299, ASTM D4097 e ABNT/NBR 6123.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a participação no projeto e na fabricação do equipamento, tive a oportunidade de trabalhar ao lado de profissionais experientes, cuja colaboração contribuiu de forma significativa para o meu aprimoramento técnico e para o desenvolvimento de um raciocínio mais lógico e aplicado à engenharia.

Este trabalho também representa uma oportunidade para que outros profissionais e estudantes compreendam um dos métodos de fabricação de equipamentos em PRFV, ainda pouco difundido no mercado nacional.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se a realização de uma análise comparativa entre reservatórios em PRFV e em aço carbono, abordando as propriedades químicas e mecânicas de ambos os materiais, bem como sua aplicação e desempenho em diferentes condições de operação.

ABSTRACT

The xcelent work xcelente the development of a vertical cylindrical tank with a capacity of 25 m³, manufactured from Fiberglass Reinforced Plastic (FRP), intended for the storage of potable water. The main objective of the xcelen was to design, manufacture, and test equipment that complies with the ASME RTP-1, ASTM D3299, ASTM D4097, and ABNT NBR 16098 standards, ensuring structural safety and compliance with potability requirements. To this end, manual lamination, spray-up, and xcelente winding processes were xcelen, in addition to performing quality tests such as Barcol hardness, ash xcelent, leak tightness, and acetone sensitivity tests. The design report considered hydrostatic and wind loads according to ABNT NBR 6123, ensuring the structural integrity of the shell and heads. The results demonstrated that FRP is a technically feasible alternative to the replacement of metallic materials, presenting high mechanical strength, low density, and xcelente corrosion resistance. The study provided technical and practical advancements, highlighting the potential application of composite materials in the manufacturing of tanks for industrial and sanitation use. Keywords: FRP. Tank. Composite materials. Tests. Potability.

Keywords: FRP. Tank. Composite materials. Tests. Potability.

Agradecimentos

Meus agradecimentos à empresa Fibrav, pela disponibilização da estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho e pelo suporte técnico oferecido pelos profissionais que, com paciência e dedicação, contribuíram significativamente para o meu aprendizado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. **Compósitos estruturais: tecnologia e prática**. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988** – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10647:2014** – Desenho técnico – Regras gerais de representação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16098:2012** – Aparelhos para melhoria da qualidade da água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025:2017** – Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AL-QURESHI, H. A. **Processing of polymer composites**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

ANTEQUERA, M. C.; OLIVEIRA, E. P.; CAMPOS, J. A. **Introdução aos Materiais Compósitos**. UFRGS, 1991.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

ASME. **RTP-1:2017** – Reinforced Thermoset Plastic Corrosion-Resistant Equipment. American Society of Mechanical Engineers, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2471-18** – Standard test method for gel time and peak exothermic temperature of reacting thermosetting resins. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2562-18** – Standard classification for defects in reinforced thermosetting resin equipment. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2583-18** – Standard test method for indentation hardness of rigid plastics by means of a Barcol impresser. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2584-18** – Standard test method for ignition loss of cured reinforced resins. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3299-18** – Standard specification for filament-wound glass-fiber-reinforced thermoset resin corrosion-resistant tanks. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D3878-18** – Standard terminology for composite materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D4097-18** – Standard specification for contact-molded glass-fiber-reinforced thermoset resin chemical-resistant tanks. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

BRUTMAN, L. J. **Modern composite materials**. New York: Addison-Wesley, 1980.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CAMPOS, A. M. **Vasos de pressão: projeto e fabricação**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

CARVALHO FILHO, A. **Compósitos para uso industrial**. São Paulo: Érica, 2012.

CAUHOIS, A. **Manual de processos de laminação em PRFV**. São Paulo: Alta Compósitos, 2012.

CHATTOPADHYAY, S. **Pressure vessels: design and practice**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

CHIAVERINI, V. **Materiais metálicos**. São Paulo: ABM, 1986.

DIAS, M. **Resinas éster-vinílicas e epóxi: características e aplicações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009.

GARAY, A. C. et al. **Estudo das características térmicas da resina éster-vinílica**. Porto Alegre: UFRGS; Rio Grande: FURG, [s.d.].

GERON, D. **FISPQ** – Resina poliéster isoftálica. Alta Compósitos, 2022.

HAGE, E. **Materiais compósitos estruturais**. São Carlos: UFSCar, 1989.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

JONES, R. M. **Mechanics of composite materials**. New York: McGraw-Hill, 1975.

KAR, K. K. **Composite materials: processing, applications, and properties**. Boca Raton: CRC Press, 2017.

KAW, A. K. **Mechanics of composite materials**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1997.

KUNRATH, F. **Análise da cura de resinas poliéster pelo ensaio Barcol**. Porto Alegre: UFRGS, 2013.

LEVY, N.; PARDINI, L. **Compósitos estruturais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

LIAO, K. et al. Fiber reinforced plastics: mechanical properties and applications. **Composite Structures**, v. 42, n. 4, p. 217–225, 1998.

MAZUMDAR, S. K. **Composites manufacturing**: materials, product, and process engineering. Boca Raton: CRC Press, 2002.

OLIVEIRA, A. J. **Laminação de materiais compósitos em moldes abertos e fechados**. São Paulo: IPT, 2017. 60

OSAMU HARA, K. **Epoxy resins**: chemistry and technology. Tokyo: Nikkan Kogyo, 1990.

PIERIN, I. **Processos de fabricação de compósitos estruturais**. São Paulo: IPT, 2005.

SHAHBAZ, A. **Epoxy resin technology and applications**. Berlin: Springer, 2016.

TELLES, P. C. S. **Vasos de pressão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

VASCONCELOS, E. **Materiais compósitos avançados**. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de engenharia**. São Paulo: Artliber, 2005.