

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

TUBOS EM COMPÓSITO DE EPÓXI REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO  
PRODUZIDOS PELO PROCESSO DE ENROLAMENTO FILAMENTAR PARA  
APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Elton Landgraf Guiguer

São Carlos-SP  
2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E**  
**ENGENHARIA DE MATERIAIS**

TUBOS EM COMPÓSITO DE EPÓXI REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO  
PRODUZIDOS PELO PROCESSO DE ENROLAMENTO FILAMENTAR PARA  
APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Elton Landgraf Guiguer

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e  
Engenharia de Materiais como requisito  
parcial à obtenção do título de MESTRE EM  
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

Orientador: Dr. Leonardo Bresciani Canto

Coorientador: Dr. José Alexandrino de Sousa

São Carlos-SP  
2021



## DEDICATÓRIA

À Deus, pela saúde e força que nos dá durante toda a caminhada.

Aos meus queridos pais, pela educação, formação e exemplo que sempre deram; por me verem como uma eterna criança que sempre pode aprender (uma verdade absoluta!).

À minha adorada esposa por entender minha ausência e toda dedicação que uma jornada destas exige; além, é claro, de sempre mostrar que a batalha verdadeira, suada e “rasgada” é a mais gratificante. Sua presença ao meu lado é fundamental para minha vida.

À minha amada filha por me ensinar, com seu exemplo, a equilibrar cada um dos pratos giratórios que a vida oferece.

Com todos Eles me sinto amparado e disposto para lutar e viver plenamente.

## VITAE

Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos  
(1992)





## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

---

### Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Elton Landgraf Guiguer, realizada em 25/11/2021.

#### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Leonardo Bresciani Canto (UFSCar)

Prof. Dr. Carlos Henrique Scuracchio (UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Afonso Angélico (USP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.



## AGRADECIMENTOS

Uma dissertação não é construída por uma única pessoa; ela é fruto do trabalho de uma rede de pessoas e de uma estrutura que também é construída por pessoas, de modo que é impossível listar tudo e todos que contribuíram para este trabalho.

Agradeço à estrutura da Owens Corning, em especial, ao Cláudio Stek pelo apoio incondicional acreditando em cada passo do projeto. Obrigado especial Ailton Ribeiro Gomes e Marcelo Ribeiro pelo suporte e ideias para conduzirmos os experimentos.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Leonardo Bresciani Canto e Prof. Dr. José Alexandrino de Sousa muito obrigado pela confiança, condução, questionamentos e liberdade na condução o projeto. A todos os professores do DEMa fica a gratidão por compartilharem com tanta vontade a sabedoria por eles acumulada.

À Profa. Elisabete Frollini do IQSC/USP pela realização das análises de DMA, doutorando Renato Belli Strozi pela realização das análises de MEV e ao Dr. Cesar Beatrice pela realização das análises de reometria.

Minha gratidão também a todos os parceiros de negócio que forneceram amostras, acompanharam testes, sugeriram, conversaram e, especialmente perguntaram, permitindo assim que eu raciocinasse e evoluísse.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!!!!



## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo preparar e avaliar o desempenho mecânico de compósitos de resinas epóxi de elevada temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) reforçadas com fibra de vidro na forma de placas e de tubos fabricados por enrolamento filamentar para aplicação na indústria petroquímica. Esta avaliação incluiu a verificação experimental da temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , das diferentes matrizes epóxi através de análise térmica dinâmico mecânica (DMA) bem como de três combinações de compósito através de calorimetria exploratória diferencial (DSC). Além disso, foi feita a comparação destas diferentes combinações fibra de vidro/matriz do ponto de vista de comportamento mecânico. Foram avaliadas as propriedades de resistência à tração, flexão, impacto e cisalhamento conforme normas vigentes; os valores obtidos foram comparados com aqueles teoricamente calculados através da regra de mistura das frações volumétricas dos componentes. Também foi dimensionado um tubo através da aplicação da teoria das lâminas para os compósitos e foram produzidas amostras que foram avaliadas posteriormente através de experimentos de ruptura abrupta por aumento de pressão conforme API 15HR. Utilizou-se também da técnica de microscopia eletrônica de varredura para a avaliação da interface fibra de vidro/resina a fim de identificar correlações entre a interação superficial e as propriedades mecânicas dos compósitos obtidos. Os resultados obtidos mostraram coerência entre os valores obtidos experimentalmente e os previstos para a  $T_g$  e testes mecânicos, no segundo caso considerando-se as limitações do processo produtivo dos corpos de prova. Desta forma, foi possível verificar que há um potencial para o uso dos tubos em epóxi reforçados com fibra de vidro (GRE) para a aplicação nas condições preconizadas, especificamente, de colunas de produção para extração de petróleo no pré-sal.

**Palavras-chave:** Petróleo; Coluna de produção; compósito; epóxi; fibra de vidro; tubo; enrolamento filamentar.



**ABSTRACT**

**FILAMENT WOUND EPOXY/GLASS-FIBER PIPES FOR  
APPLICATIONS IN THE OIL INDUSTRY**

This work is focused on the production and mechanical performance evaluation of filament-wound flat plates and pipes using different composite compositions of three distinct commercial high glass transition epoxy resins reinforced with glass fiber (GRE) in order to verify their potential usage in the petrochemical industry. The evaluation included measurements of the glass transition temperature,  $T_g$ , of the epoxy matrix resins through Dynamic Mechanical Analysis (DMA) and by Differential Scanning Calorimetry (DSC) for the produced GRE composites tubes. Also, the mechanical performance of these different GRE composites was analyzed through mechanical tensile, shear, flexural and impact strength properties using current materials testing standards. The mechanical properties results were compared with their theoretical values calculated using the simple rule of mixtures equations. Furthermore, a pipe was designed using the classical laminate theory analysis and samples were produced and tested according to the API 15 burst test standard. The evaluation of fiber/resin interfacial compatibility was investigated by scanning electronic microscopy analysis in order to correlate the interfacial adhesion with the obtained mechanical properties. The experimental results are close to the foresee values for  $T_g$  and mechanical results, in the second case considering the coupons production process limitations. This screening project showed potential usage glass fiber reinforced epoxy pipes for oil extraction production columns in the undersea pre-salt regions. Evidently, it is necessary to further investigate more deeply into the subject before an installation of such GRE tubes are reliable enough for use under the severe operation conditions in the short, medium and long term.

**Keywords:** Petroleum; oil production column; composite; epoxy; fiberglass; tubing; filament winding



## PUBLICAÇÕES

- GUIMARÃES, E.S.S.; GUIGUER, E.L.; BIANCHI, O.; CANTO; L.B. Non-isothermal cure kinetics of an anhydride-cured cycloaliphatic/aromatic epoxy system in the presence of a reactive diluente. In: THERMOCHIMICA ACTA. 717 (2022)



## ÍNDICE DE ASSUNTOS

	Pág.
FOLHA DE APROVAÇÃO.....	i
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
PUBLICAÇÕES.....	ix
SUMÁRIO.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xxi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Tubos de compósito de resina epóxi reforçada com fibra de vidro.....	5
2.2 Resina epóxi.....	9
2.3 Fibras de Vidro.....	17
2.4 Interface Fibra-Matriz.....	22
2.5 Avaliação do desempenho de compósitos.....	26
2.5.1 Modelagem da Lâmina.....	26
2.5.2 Modelagem do laminado.....	31
2.5.2.1 Relações tensão – deformação no laminado.....	31
2.5.2.2 Equações constitutivas do laminado.....	35
2.5.2.3 Critério de falha de Tsai-Wu.....	39
2.5.2.4 Cálculo das forças e momentos .....	41
2.5.3 Previsão de propriedades de laminados.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1 Materiais.....	45
3.1.1 Resinas Epóxi.....	45
3.1.2 Fibra de Vidro.....	47
3.2 Métodos.....	47
3.2.1 Avaliação dos sistemas de resina epóxi.....	47

3.2.2 Processamento e caracterização dos compósitos.....	49
3.2.2.1 Enrolamento em placa plana.....	49
3.2.2.2 Ensaio mecânicos dos corpos de prova dos compósitos na forma de placas planas.....	52
3.2.2.3 Microscopia eletrônica de varredura.....	54
3.2.2.4 Ensaio de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento de feixe curto) .....	54
3.2.3 Processamento e caracterização dos tubos.....	58
3.2.3.1 Enrolamento filamental .....	58
3.2.3.2 Análise térmica por DSC do processo de cura dos tubos.....	60
3.2.3.3 Ensaio mecânico dos tubos.....	61
3.2.4 Previsão de Propriedades.....	61
3.2.4.1 Previsão das propriedades dos compósitos (placas).....	61
3.2.4.2 Previsão da pressão máxima admissível nos tubos.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1 Avaliação dos sistemas de resina epóxi.....	65
4.1.1 Análise térmica dinâmico mecânica (DMA).....	65
4.1.2 Viscosidade das Resinas.....	66
4.2 Caracterização dos compósitos produzidos em placa plana.....	68
4.2.1 Teores de mássicos medidos de fibra de vidro.....	68
4.2.2 Previsão das propriedades dos laminados.....	69
4.2.3 Resistência à tração.....	70
4.2.4 Resistência à flexão.....	76
4.2.5 Resistência ao impacto.....	79
4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura.....	81
4.3 Resistência ao Cisalhamento dos compósitos (tensão de rompimento de feixe curto) .....	86
4.4 Caracterização dos tubos.....	88
4.4.1 Teores mássicos medidos de fibra de vidro.....	88
4.4.2 Temperatura de transição vítrea (DSC).....	88
4.4.3 Pressão máxima admissível nos tubos.....	90
4.4.4 Resistência à ruptura.....	91

5	CONCLUSÕES.....	95
6	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	97
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
	ANEXO A.....	105
	ANEXO B.....	117
	ANEXO C.....	167



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Condições de operação de poços de óleo/gás da camada pré-sal brasileira.....	2
Tabela 2.1: Composições de fibras de vidro conforme ASTM D578 [24].....	19
Tabela 2.2: Valores das tensões máximas do laminado epóxi / fibra de vidro (45% volume de FV).....	40
Tabela 3.1: Sistemas de resina epóxi empregadas (dados fabricantes).....	45
Tabela 3.2: Propriedades da Fibra SE2307 1100.....	47
Tabela 3.3: Condições de cura das resinas epóxi.....	48
Tabela 3.4: Dimensões das amostras para os ensaios de tração na direção da fibra.....	52
Tabela 3.5: Dimensões das amostras para os ensaios de tração na direção transversal à fibra.....	52
Tabela 3.6: Dimensões das amostras para os ensaios de flexão.....	53
Tabela 3.7: Dimensões das amostras para os ensaios de impacto.....	53
Tabela 3.8: Parâmetros utilizados para enrolamento filamental.....	58
Tabela 3.9: Dimensões dos tubos, conforme ASTM D-1599 [12].....	59
Tabela 4.1: Temperaturas de transição vítrea (T <sub>g</sub> ) medidas por DMA dos sistemas de resina epóxi curados segundo o protocolo da Tabela 3.3.....	66
Tabela 4.2: Teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nos compósitos em forma de placas planas.....	68
Tabela 4.3: Propriedades das Resinas.....	69
Tabela 4.4: Propriedades estimadas para os laminados dos compósitos de acordo com o equacionamento descrito no item 2.5.3.....	69
Tabela 4.5: Módulos teóricos e experimentais das placas planas dos compósitos na direção da fibra.....	72
Tabela 4.6: Módulos teóricos e experimentais dos compósitos na direção transversal à fibra.....	76
Tabela 4.7: Teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nas amostras para teste de resistência ao cisalhamento.....	86

Tabela 4.8: Teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nos tubos em compósitos produzidos com as diferentes resinas.....	88
Tabela 4.9: Temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) das matrizes epóxi dos tubos obtidas via DSC.....	89
Tabela 4.10: Propriedades utilizadas para o cálculo da pressão máxima interna dos tubos.....	90
Tabela 4.11: Pressão máxima esperada para os tubos compósitos.....	91
Tabela 4.12: Pressão máxima obtida para os tubos.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema simplificado de uma máquina de enrolamento filamental [10] .....	5
Figura 2.2: Detalhe da construção das lâminas de compósito durante o processo de enrolamento filamental [5] .....	7
Figura 2.3: Ilustração do grupo epóxi ou oxirano contido no pré-polímero da resina epóxi.....	10
Figura 2.4: Ilustração do grupo anidrido contido no agente de cura (endurecedor).....	10
Figura 2.5: Ilustração do grupo amina primária contido no agente de cura (endurecedor).....	10
Figura 2.6: Mecanismo de cura da resina epóxi com endurecedor contendo grupo anidrido catalisado por amina terciária [17] .....	11
Figura 2.7: Mecanismo de cura da resina epóxi com endurecedor contendo grupo amina [18] .....	12
Figura 2.8: Molécula do diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA).....	13
Figura 2.9: Molécula do 3,4 - epoxiciclohexilmetil 3,4 poxiciclohexanocarboxilato.....	13
Figura 2.10: Representação do processo de cura da resina epóxi. [15,18] .....	15
Figura 2.11: Diagrama simplificado TTT (tempo, temperatura, transição) [adaptada de 18] .....	16
Figura 2.12: Estrutura da fibra de vidro [adaptada de 23] .....	18
Figura 2.13: Estruturas químicas de organosilanos utilizados como agentes de acoplagem de fibras de vidro com matriz de resina epóxi.....	21
Figura 2.14: Exemplo de reações entre os organosilanos e o vidro [31].....	22
Figura 2.15: Representação esquemática da formação da rede de interpenetração com um aminosilano.....	24
Figura 2.16: Representação esquemática das ligações existentes na interface matriz-resina (rede de interpenetração) [32] .....	25

Figura 2.17: Representação de uma lâmina de reforço orientada unidirecionalmente [29] .....	27
Figura 2.18: Representação do estado de tensões de um elemento infinitesimal de um material anisotrópico [29] .....	28
Figura 2.19: Planos de simetria de uma lâmina ortotrópica orientada unidirecionalmente [29] .....	30
Figura 2.20: Deslocamento vertical de um laminado hipotético (adaptada de [29]).....	32
Figura 2.21: Deformação de um laminado por alongamento ( $\epsilon^0$ ) e flexão (k.z), conforme Teoria Clássica dos Laminados.....	33
Figura 2.22: Laminado e Lâminas que o constituem nas respectivas posições.....	34
Figura 2.23: Forças e Momentos nas lâminas (adaptada de Zurstrassen [41]).....	36
Figura 3.1: Número do CAS, estrutura química e propriedades dos componentes do matriz epóxi Litestone™ 2210E.....	46
Figura 3.2: Equipamento de Enrolamento Filamentar.....	49
Figura 3.3: Detalhe do enrolamento circunferencial de placa plana por fios contínuos de fibra de vidro.....	50
Figura 3.4: Fios contínuos de fibra de vidro enrolados em placa plana.....	50
Figura 3.5: Exemplos de cada uma das placas produzidas.....	51
Figura 3.6: Amostra para ensaio de impacto Izod com entalhe.....	54
Figura 3.7: Produção dos anéis compósitos .....	55
Figura 3.8: Geometria e dimensões das amostras para o ensaio de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento de feixe).....	56
Figura 3.9: Exemplo de execução do ensaio de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento de feixe curto) .....	57
Figura 3.10: Equipamento para processo de enrolamento filamentar.....	59
Figura 3.11: Detalhe de dois momentos distintos do processo de enrolamento filamentar helicoidal para a produção dos tubos compósitos.....	59
Figura 3.12: Estufa para cura dos tubos compósitos.....	60
Figura 3.13: Sequência de cálculo da pressão máxima dos tubos.....	62

Figura 4.1: Curvas de DMA de módulo de armazenamento ( $E'$ ) e $\tan \delta$ dos sistemas de resina epóxi curados segundo o protocolo da Tabela 3.3.....	66
Figura 4.2: Curvas de viscosidade em função da taxa de cisalhamento para as resinas estudadas.....	67
Figura 4.3: Curvas típicas de resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.....	70
Figura 4.4: Resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.....	71
Figura 4.5: Módulo em tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.....	72
Figura 4.6: Curvas típicas de resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.....	74
Figura 4.7: Resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.....	74
Figura 4.8: Módulo em tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da transversal à fibra.....	75
Figura 4.9: Curvas típicas de tensão de flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.....	77
Figura 4.10: Curvas típicas de tensão de flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.....	77
Figura 4.11: Módulo em flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.....	78
Figura 4.12: Módulo em flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.....	78

Figura 4.13: Resistência ao impacto Izod com entalhe das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.....	80
Figura 4.14: Resistência ao impacto Izod com entalhe das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.....	80
Figura 4.15: Micrografias de microscopia eletrônica de varredura de superfícies fraturadas (seção transversal) em ensaio de impacto de compósitos epóxi/fibra de vidro contendo aprox. 60% de FV unidirecionais: em escala de 50 µm para cada um dos compósitos estudados (Litestone™ 2210E (A), Araldite LY1564 (B) e Epikote™ 826(C)).....	82
Figura 4.16: Micrografias de microscopia eletrônica de varredura de superfícies fraturadas (seção transversal) em ensaio de impacto de compósitos epóxi/fibra de vidro contendo aprox. 60% de FV unidirecionais: em escala de 30 µm para cada um dos compósitos estudados (Litestone™ 2210E (A), Araldite LY1564 (B) e Epikote™ 826(C)).....	83
Figura 4.17: Micrografias de microscopia eletrônica de varredura de superfícies fraturadas (seção transversal) em ensaio de impacto de compósitos epóxi/fibra de vidro contendo aprox. 60% de FV unidirecionais: em escala de 10 µm para cada um dos compósitos estudados (Litestone™ 2210E (A), Araldite LY1564 (B) e Epikote™ 826(C)).....	84
Figura 4.18: Curvas típicas de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento de feixe curto) dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826.....	86
Figura 4.19: Resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento de feixe curto) dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826.....	87
Figura 4.20: Curva típica obtida na análise DSC.....	89
Figura 4.21: Tubos preparados para teste de resistência à ruptura.....	91
Figura 4.22: Vazamento típico durante o teste de ruptura.....	92

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

<b>[A]</b>	Matriz do laminado – equação constitutiva para primeiro grau
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo
<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>ASTM</b>	American Standard for Testing of Materials
<b>[B]</b>	Matriz do laminado – equação constitutiva para segundo grau
<b>c</b>	Deslocamento do laminado
<b>CAS</b>	Chemical Abstracts Service
<b><math>C_{ijkl}</math></b>	Elementos da matriz de rigidez
<b><math>d</math></b>	Densidade da fibra de vidro
<b>[D]</b>	Matriz do laminado – equação constitutiva para terceiro Grau
<b>DGEBA</b>	Diglicidil Éter de Bisfenol A
<b>DSC</b>	Calorimetria exploratória diferencial
<b><math>E</math></b>	Módulo de armazenagem
<b><math>E'</math></b>	Módulo de perda
<b><math>E_i</math></b>	Módulos nas direções normais
<b><math>E_f</math></b>	Módulo da fibra de vidro
<b><math>f_1</math></b>	Coeficiente da ação isolada da tração na direção 1 da lâmina (Tsai-Wu)
<b><math>f_{11}</math></b>	Coeficiente da ação de tração e compressão na direção 1 da lâmina (Tsai-Wu)
<b><math>f_{12}</math></b>	Coeficiente da interação entre as ações de tração nas direções 1 e 2 da lâmina (Tsai-Wu)
<b><math>F_{1c}</math></b>	Tensão máxima de compressão na direção da fibra
<b><math>F_{1t}</math></b>	Tensão máxima de tração na direção da fibra
<b><math>f_2</math></b>	Coeficiente da ação isolada da tração na direção 2 da lâmina (Tsai-Wu)
<b><math>f_{22}</math></b>	Coeficiente da ação da tração e compressão na direção 2 da lâmina (Tsai-Wu)

<b>F<sub>2c</sub></b>	Tensão máxima de compressão na direção transversal à fibra
<b>F<sub>2t</sub></b>	Tensão máxima de tração na direção transversal à fibra
<b>F<sub>6</sub></b>	Tensão máxima de cisalhamento
<b>f<sub>66</sub></b>	Coefficiente da tensão de cisalhamento (Tsai-Wu)
<b>G<sub>ij</sub></b>	Módulo de cisalhamento
<b>GRE</b>	<i>Glass Reinforced Epoxy</i>
<b>h</b>	Espessura da lâmina
<b>h<sub>j-1</sub></b>	Distância da face da lâmina inferior até o ponto médio na coordenada z
<b>h<sub>j</sub></b>	Distância da face da lâmina superior até o ponto médio na coordenada z
<b>K</b>	Vetor de deslocamento em flexão do laminado
<b>K<sub>x</sub></b>	Coefficiente de curvatura na linha média do laminado na direção x
<b>K<sub>xy</sub></b>	Coefficiente de curvatura cisalhante na linha média do laminado
<b>K<sub>y</sub></b>	Coefficiente de curvatura na linha média do laminado na direção Y
<b>M</b>	Função ativa do silano
<b>{M}</b>	Vetor de momentos
<b>MSDS</b>	Material Safety Data Sheet (Folha de dados de segurança)
<b>M<sub>x</sub></b>	Momento na direção x
<b>M<sub>xy</sub></b>	Momento em xy
<b>M<sub>y</sub></b>	Momento na direção y
<b>{N}</b>	Vetor de forças
<b>N<sub>x</sub></b>	Força submetida ao laminado na direção x
<b>N<sub>xy</sub></b>	Força cisalhante submetida ao laminado na direção x
<b>N<sub>y</sub></b>	Força submetida ao laminado na direção y
<b>P</b>	Pressão interna do tubo
<b>p</b>	número de lâminas em um laminado
<b>PPESK</b>	Ftalazinona Éter Sulfona Cetona
<b>[Q]<sub>j</sub><sup>j</sup><sub>xy</sub></b>	Matriz de rigidez para a lâmina j nas coordenadas x e y do laminado
<b>r</b>	Raio do tubo

<b>R</b>	Radical da matriz polimérica
<b>S<sub>f</sub></b>	Fator de segurança de Tsai-Wu
<b>S<sub>fc</sub></b>	Fator de segurança de Tsai-Wu calculado
<b>S<sub>ij</sub></b>	Elementos da Matriz de Flexibilidade
<b>t</b>	tempo de cura
<b>T<sub>c</sub></b>	Temperatura de cura
<b>T<sub>g</sub></b>	Temperatura de Transição Vítreá
<b>T<sub>gel</sub></b>	Temperatura de gelificação.
<b>T<sub>g máx</sub></b>	Limite da temperatura de transição vítreá quando a concentração de epóxi tende a 0
<b>T<sub>go</sub></b>	Temperatura de transição vítreá da mistura reacional (epóxi + endurecedor)
<b>TRL</b>	“Technology Readiness Level” – nível da tecnologia necessário para a respectiva aplicação (varia entre 0 e 9)
<b>TTT</b>	Tempo, Temperatura, Transição
<b>V<sub>f</sub></b>	Fração volumétrica da fibra no compósito
<b>V<sub>m</sub></b>	Fração volumétrica da matriz no compósito
<b>W<sub>f</sub></b>	Fração mássica da fibra no compósito
<b>W<sub>m</sub></b>	Fração mássica da matriz no compósito
<b>z</b>	Distância vertical do plano médio ao plano do ponto
<b>ε<sub>x</sub></b>	Deformação do laminado na direção x
<b>ε<sub>kl</sub></b>	Deformações nas respectivas direções
<b>ε<sup>o</sup>x</b>	Deformação do plano médio do laminado na direção x
<b>ε<sub>y</sub></b>	Deformação do laminado na direção y.
<b>ε<sup>o</sup>y</b>	Deformação do plano médio do laminado na direção y
<b>ν<sub>f</sub></b>	Coeficiente de Poisson da fibra de vidro
<b>ν<sub>ij</sub></b>	Coeficientes de Poisson
<b>ρ<sub>c</sub></b>	Densidade do compósito
<b>ρ<sub>f</sub></b>	Densidade da fibra
<b>ρ<sub>m</sub></b>	Densidade da matriz
<b>σ<sub>1</sub></b>	Tensão de tração (Tsai-Wu)
<b>σ<sub>2</sub></b>	Tensão de compressão (Tsai-Wu)

$\sigma_{ij}$	Tensões normais
$\sigma_x$	Tensão normal na direção x
$\sigma_y$	Tensão normal na direção y
$\tau_{12}$	Tensão de cisalhamento (Tsai-Wu)
$\tau_{ij}$	Tensões de Cisalhamento
$\tau_{xy}$	Tensão de cisalhamento em xy
$\gamma_{xy}$	Deformação cisalhante do laminado na direção xy
$\gamma_{ij}$	Deformações cisalhantes
$\gamma^0_{xy}$	Deformação cisalhante no plano médio do laminado na direção xy

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo é de fundamental importância na economia mundial e dela depende toda a cadeia produtiva ligada ao carbono. Desta forma, o petróleo é importantíssima fonte primária de carbono para a produção de energia e também para as indústrias de tintas, adesivos, farmacêutica, plásticos, etc.

A exploração comercial do petróleo traz consigo desafios tecnológicos do ponto de vista dos materiais devido às condições nas quais a mesma acontece: ambientes salinos, profundidade dos poços, assim como distâncias a serem percorridas para o transporte do mesmo.

As tubulações são a maneira mais segura e confiável para o transporte do petróleo bem como de outros fluidos nas indústrias químicas e petroquímicas. Em 2006, conforme Varnosfaderni [1], já existiam mais de 3,5 milhões de quilômetros de tubulações em operação dos quais 19% eram dedicadas ao transporte de petróleo.

Esta operação de transporte do petróleo deve seguir os preceitos citados por Saevareid [2]: segurança, eficiência e custo. Desta forma, os materiais para estas tubulações devem ser produzidos com alto padrão de qualidade, além de obedecerem fielmente aos requisitos de resistência à temperatura, pressão e química específicos para cada condição, uma vez que uma falha nos mesmos pode levar a catástrofes com perdas significantes de vidas e ambientais, além das econômicas.

Especificamente no Brasil, conforme a Agência Nacional do Petróleo (ANP) [3], a produção de petróleo em 2018 foi da ordem de 2,7 milhões de barris por dia, equivalente à 0,4 milhões de metros cúbicos de produção diária, dos quais aproximadamente 96% são oriundos de campos marítimos e, destes, 50% são da chamada camada pré-sal. Os poços do pré-sal apresentam reservatórios de óleo/gás situados a aproximadamente 300 km da costa, com lâmina d'água de até 3000 metros, camada pós-sal próxima a 1000 metros e camada pré-sal de 3000 a 4000 metros, podendo totalizar até 8000 metros abaixo da superfície d'água.

Atualmente, para o escoamento da mistura óleo/gás do poço do pré-sal até o leito marinho, perfazendo um comprimento de 4000 a 5000 metros (camada pós e pré-sal), utiliza-se de uma tubulação chamada de coluna de produção, fabricada em aço inoxidável super-duplex, constituída de tubos roscados com 12 metros de comprimento cada e com diâmetro interno de 5 polegadas. A coluna de produção é encamisada por outra em aço instalada durante a perfuração do poço. As condições de operação sob as quais a coluna de produção é submetida são mostradas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Condições de operação de poços de óleo/gás da camada pré-sal brasileira

<b>Condição</b>	<b>Operação</b>
Temperatura do poço	60 a 150 °C
Temperatura do leito marinho	4 °C
Pressão máxima (coluna d'água)	70 a 80 MPa
Agravantes	Gases corrosivos (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> na condição supercrítica) e incrustação da coluna por parafinas.

A coluna de produção atual em aço inoxidável super-duplex apresenta uma série de inconvenientes, tais como montagem e reparo laboriosos, susceptibilidade à incrustação e, principalmente, custo elevadíssimo. Uma alternativa ao aço inoxidável super-duplex para a coluna de produção de poços de óleo/gás do pré-sal seria um tubo de aço carbono de custo altamente vantajoso revestido por um *liner* interno em compósito polimérico de alto desempenho, que possa resistir às condições de operação mostradas na Tabela 1.1.

Ao longo dos anos verificou-se um rápido crescimento da demanda e desenvolvimento de materiais compósitos poliméricos para aplicações de alto desempenho [4]. Conforme Rousseau [5], especificamente os materiais compósitos produzidos em resina epóxi e fibra de vidro (*glass reinforced epoxy* - GRE) tem substituído o aço inox em muitas aplicações devido à alta resistência

química e longo tempo de vida dos primeiros. Os tubos em compósito, GRE, são mais leves e resistentes quimicamente que os tubos em aço carbono e aço inoxidável, além de apresentarem baixo risco de ruptura quando submetidos à altas pressões internas, o que os tornou importantes e preferidos para aplicações em aviação, infraestrutura e notadamente na exploração de óleo e gás [6]. Atualmente, comercializam-se tubos para processos de extração de petróleo de alta pressão, conforme API 15HR [7], com pressão de serviço até 34,5 MPa. Além disso, as temperaturas de operação encontradas chegam a, no máximo, 93°C [8], condições mais brandas que as exigidas na operação de poços de óleo/gás da camada pré-sal brasileira, descritas na Tabela 1.1.

Assim, o objetivo geral do presente trabalho é explorar as possibilidades em compósitos de resina epóxi e fibra de vidro (GRE) produzidos por enrolamento filamentar (*filament winding*) que atendam à produção de tubos para aplicação como revestimento interno de coluna de produção de petróleo em aço carbono nas condições adversas de operação do pré-sal identificadas na Tabela 1.1. Estes tubos compósitos, se aplicados na extração de óleo e gás na camada pré-sal brasileira, poderão representar uma tecnologia pioneira e de baixo custo para substituir a atual coluna de produção em aço inoxidável superduplex. Além disso, a solução encontrada deverá ser potencialmente viável técnica e economicamente. Desta forma, os sistemas de resina epóxi para estas tubulações GRE foram selecionados a partir de matérias-primas comercialmente existentes para que fossem satisfeitas as necessidades de uma matriz epóxi com elevada temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), propriedades mecânicas e químicas superiores, além de boa molhabilidade e adesão às fibras de vidro, para garantir maior desempenho e durabilidade termomecânica dos tubos revestidos. Este estudo compreendeu as etapas de processamento (enrolamento filamentar) e de caracterização mecânica (tração, flexão e impacto), termo-mecânica (DMA) e microestrutural (MEV) dos compósitos obtidos. Os resultados obtidos com as diferentes configurações foram analisados para identificar os compósitos com melhor potencial para produção de tubos de GRE.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Tubos de compósito de resina epóxi reforçada com fibra de vidro

O consumo de tubos fabricados em compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro tem crescido notadamente nas aplicações das indústrias químicas e petroquímicas, incluindo dutos *onshore* e *offshore*, nas quais os tubos fabricados em resina epóxi reforçada com fibra de vidro se mostram vantajosos do ponto de vista da redução de processos corrosivos em relação aos materiais metálicos [8, 9]. Para produzir estes tubos reforçados o processo utilizado é o enrolamento filamental (*filament winding*).

O grande crescimento da aplicação comercial do processo de enrolamento filamental teve início na década de 60, quando as aplicações migraram da área aeroespacial para a área de saneamento e transporte de fluidos industriais com destaque para a produção de tubos de matrizes poliméricas termofixas reforçadas com fibra de vidro [10].

De forma geral, o processo de enrolamento filamental para a produção dos tubos com aplicação de resina em linha consiste no enrolamento de fibras contínuas, previamente embebidas pela resina desejada, ao redor de um eixo com dimensões pré-definidas conforme o projeto do produto final. A Figura 2.1 ilustra simplificada o processo.

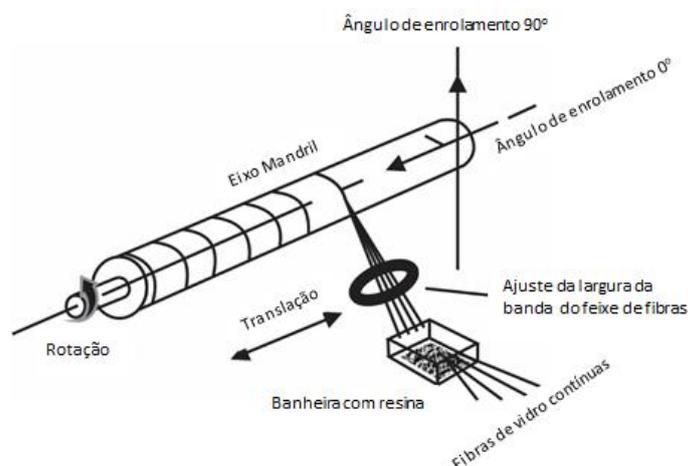


Figura 2.1: Esquema simplificado de uma máquina de enrolamento filamental [10]

Durante o processamento, um conjunto de bobinas de fibra de vidro, ou qualquer outro material constituído por filamentos contínuos, é continuamente desenrolado de forma a passar por uma banheira para aplicação de resina pré-catalisada na fase líquida e, em seguida, ser enrolado ao longo de um eixo denominado mandril. Para a produção de tubos reforçados o diâmetro interno é definido pelo diâmetro do mandril enquanto a espessura do tubo é definida pelo número de camadas do feixe de fibras impregnadas com resina que são depositadas sobre o mandril. A proporção fibra/resina é controlada através do uso de cilindros aplicadores de resina na banheira com resina, utilização de raspadores de resina e da própria tensão de enrolamento do fio sobre o mandril; estas técnicas podem variar em função da estratégia do fabricante da máquina e do próprio produtor do tubo em compósito. As propriedades mecânicas finais do tubo reforçado dependerão do tipo de reforço e resina utilizados, da proporção e grau de interação da resina com a fibra de vidro além do ângulo de enrolamento dos fios de vidro sob o eixo do mandril. No caso do ângulo de enrolamento, deve-se observar que cada camada depositada corresponde à uma lâmina ortotrópica de compósito de fio contínuo (conforme Figura 2.2) cujas resistências à tração e compressão terão importante papel nas propriedades finais do tubo. O ângulo de enrolamento pode variar de projeto para projeto, no entanto, o ângulo industrialmente mais utilizado, conforme Rousseau [5] é o de  $55^\circ$  por apresentar a melhor relação entre a resistência à pressão interna e a resistência axial no tubo necessárias para o transporte de fluidos. Durante o processo de construção das lâminas o controle do ângulo de enrolamento e da largura do feixe de fibras é bastante importante para que as mesmas sejam construídas uniformemente e não ocorram falhas / interstícios que gerem descontinuidade no compósito. A Figura 2.2 também ilustra a construção das lâminas de compósito durante o processo de enrolamento filamental. Conforme ilustrado na Figura 2.2 haverá a construção de dois planos de lâminas na direção do enrolamento da fibra defasados em função do sentido do enrolamento, porém, com ângulo de mesmo valor em relação à direção axial do tubo. Desta forma, o conhecimento das

propriedades das lâminas é de fundamental importância para a compreensão das propriedades finais dos tubos.

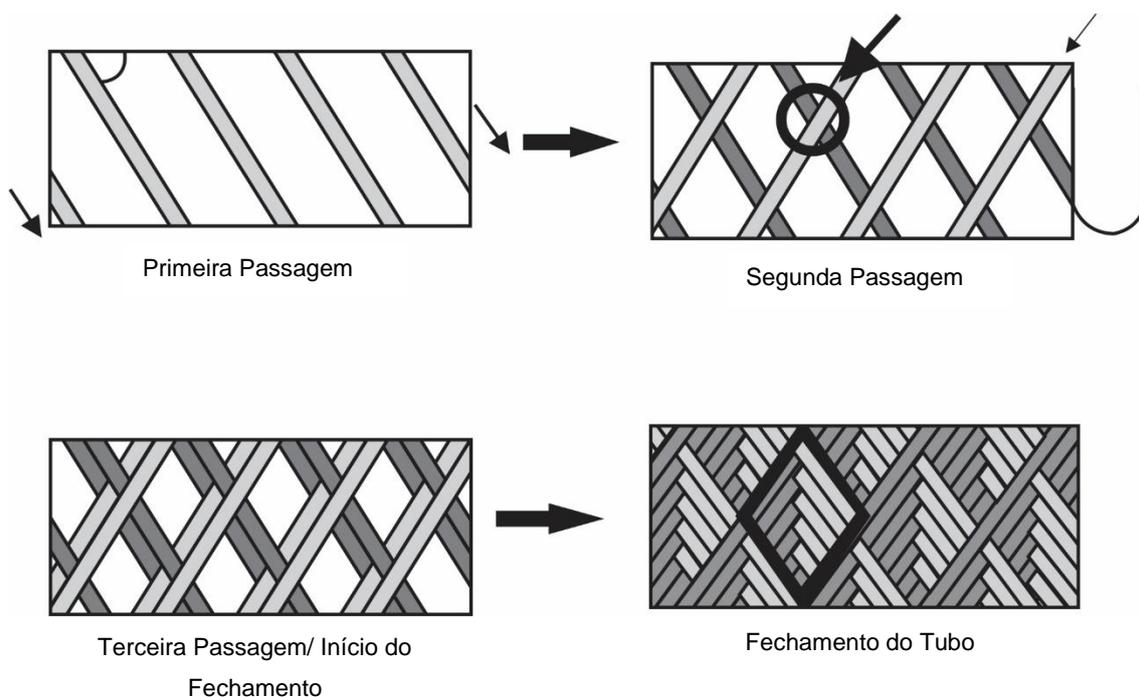


Figura 2.2: Detalhe da construção das lâminas de compósito durante o processo de enrolamento filamentar [5]

A resina utilizada, por sua vez, contribuirá para a resistência química, propriedades térmicas e elétricas além da durabilidade mecânica do compósito final. Assim, para as condições identificadas na Tabela 1.1, a resina epóxi é a mais indicada para a produção de tubos em epóxi reforçados com fibra de vidro para aplicação na indústria petroquímica. Além disso, conforme Rodríguez [8], a temperatura de transição vítrea da matriz deve ser entre 40 e 50°C superior à temperatura de serviço do compósito. Além disso, para que o processamento seja possível através de enrolamento filamentar, o sistema epóxi (resina mais endurecedor) deve ter uma viscosidade que permita a molhagem da resina através dos filamentos de vidro e posterior processo de dissolução dos formadores de filme e lubrificantes contidos nos filamentos de vidro, além de

reações químicas com as funções epóxi existentes nos agentes de ligação, organosilanos, contidos na superfície das fibras de vidro.

A resina deverá ser curada após o processo de enrolamento. As condições de cura dependem, basicamente, dos polímeros envolvidos e poderá ser em condições ambientes ou por aquecimento artificial que é o caso da resina epóxi.

Após a etapa de cura da resina no compósito, o produto final deve ser retirado do eixo (mandril) para que um novo processo se inicie

Para tubos em compósito produzido por enrolamento filamental, em função da geometria de empacotamento das fibras, a fração volumétrica máxima de fibra de vidro pode atingir até 90,7% para estruturas compactas hexagonais e 78,5% para estruturas cúbicas; porém em função das limitações do processo na construção de estruturas perfeitamente organizadas, comercialmente são utilizadas frações mássicas de fibra de vidro em torno de 70% (correspondentes a aproximadamente 50% de fração volumétrica) [11], trazendo contribuição das fibras para as propriedades mecânicas do compósito, garantindo bom recobrimento e proteção das mesmas e também otimizando o custo do produto final.

Assim, para que os tubos sejam produzidos conforme as especificações de dimensão, fração de vidro e ângulo de enrolamento, os principais parâmetros do processo de enrolamento filamental a serem verificados são:

- Velocidade de enrolamento: para garantir o tempo de residência da fibra de vidro na banheira de resina próximo à 0,5 s [10] e com isso a umectação da fibra.

- Posição do raspador após a banheira de resina garantindo a concentração de vidro desejada no compósito;

- Número de bobinas de fibra de vidro e respectiva densidade linear para a construção do feixe de fibras de vidro que será depositado sobre o mandril para a construção do laminado final.

- Tensão de enrolamento do feixe de fibra de vidro garantindo a concentração de fibra de vidro no compósito (quanto maior a tensão, maior a concentração de fibra de vidro) e também a continuidade do processo uma vez

que altas tensões tem a tendência a gerar excesso de quebra de filamentos e consequentes paradas de processo.

Os padrões de qualidade de tubulações comerciais produzidas em compósito são avaliados segundo as normas: ASTM D1599 (*Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings*) [12], que verifica a pressão interna máxima que o compósito resiste em um caso de aumento abrupto da mesma, ASTM D2992 (*Standard Practice for Obtaining Hydrostatic or Pressure Design Basis for "Fiberglass" (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings*) [13] / API15HR (*High-pressure Fiberglass Line Pipe*) [7] para verificação do comportamento em longo prazo (10.000 horas) quando sob pressão. Assim, em função dos custos e tempos envolvidos para que o processo e o produto sejam aprovados, é importante que o correto dimensionamento mecânico seja feito, evitando-se retrabalho. Este dimensionamento é feito utilizando-se os dados de módulo e deformação do compósito nas diferentes direções, conforme descrito no item 2.5.

## 2.2 Resina epóxi

O número de aplicações para a resina epóxi é muito grande. Isto se deve, principalmente, aos seguintes principais atributos [14]:

- a) Excelente resistência química;
- b) Ótima adesão a uma grande variedade de substratos;
- c) Baixo encolhimento durante a cura;
- d) Excelente isolamento elétrico mesmo após envelhecimento em ambientes agressivos;
- e) Ótima resistência à fadiga.

Estes atributos podem ser obtidos, pois o grupo epóxi ou oxirano (Figura 2.3) contido no pré-polímero reage com um agente de cura, chamado também de endurecedor, formando uma rede tridimensional reticulada, de natureza termofixa, ou seja, infusível e insolúvel.

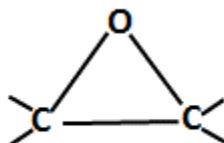


Figura 2.3: Ilustração do grupo epóxi ou oxirano contido no pré-polímero da resina epóxi

Uma grande variedade de agentes de cura (endurecedores) é utilizada [15], sendo que para a produção de tubos em compósitos de matriz epóxi os mais utilizados são os anidridos e as aminas primárias, ilustradas nas Figuras 2.4 e 2.5, respectivamente.

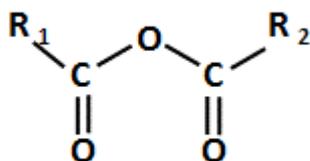


Figura 2.4: Ilustração do grupo anidrido contido no agente de cura

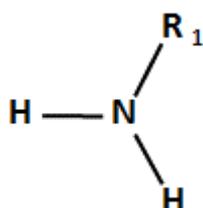


Figura 2.5: Ilustração do grupo amina primária contido no agente de cura

Para a compreensão da formação da rede tridimensional reticulada durante o processo de cura faz-se necessário entender tanto a resina epóxi quanto o endurecedor do ponto de vista das reações químicas envolvidas e respectivas cinéticas de reação, o que será descrito a seguir.

A cura de resinas epóxi com endurecedor contendo o grupo anidrido é geralmente catalisada, uma vez que sistemas de cura contendo anidrido têm velocidades de reação bastante baixas do ponto de vista industrial. Desta forma, usualmente utiliza-se de aceleradores, como aminas terciárias, cujo papel é fazer o ataque ao grupo anidrido formando um ânion carboxílico que reagirá com o anel epóxi dando início à reação de poliadição, conforme ilustrado na Figura 2.6. Na etapa posterior de reação do radical epóxi com o grupo anidrido, conforme Kólar & Svítílova [16], o grupo anidrido se abre através da reação com grupos hidroxila presentes na resina epóxi formando um monoéster e um grupo ácido carboxílico. Então, o grupo ácido carboxílico formado reage com o grupo epóxi dando origem, assim, a um diéster e um novo ânion carboxílico que poderá reagir novamente com o grupo anidrido de outra molécula presente na mistura reacional. A sequência destas reações dará origem à rede tridimensional reticulada [17].

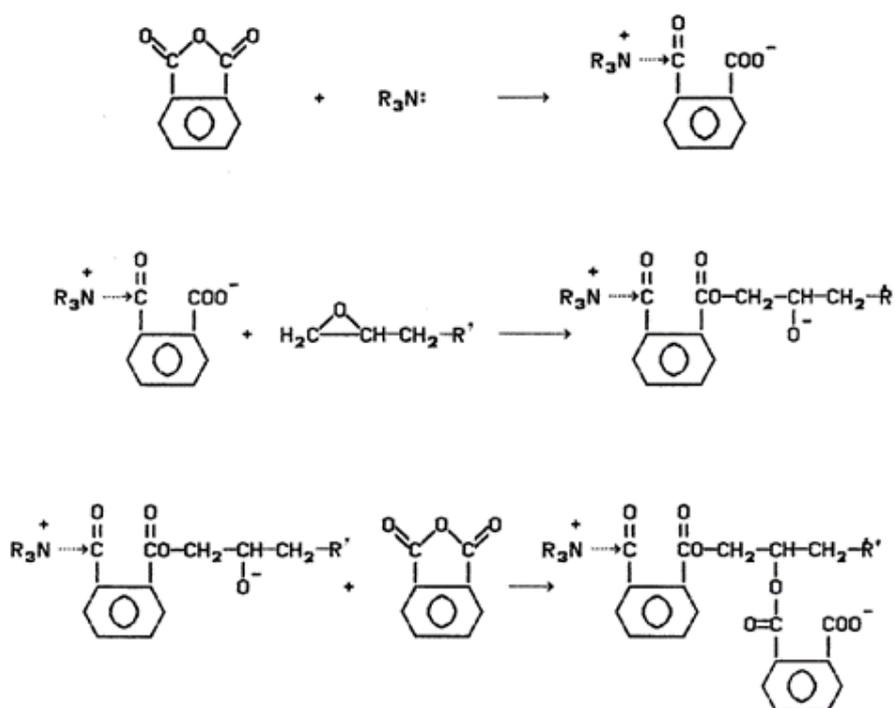


Figura 2.6: Mecanismo de cura da resina epóxi com endurecedor contendo grupo anidrido catalisado por amina terciária [17].

A cura de resinas epóxi com endurecedor contendo o grupo amina inicia-se através da abertura do anel epóxi pela amina com a formação de um aduto que continuará reagindo (amina presente e hidroxila) com os demais grupos epóxi presentes no meio reacional, como mostrado na Figura 2.7.

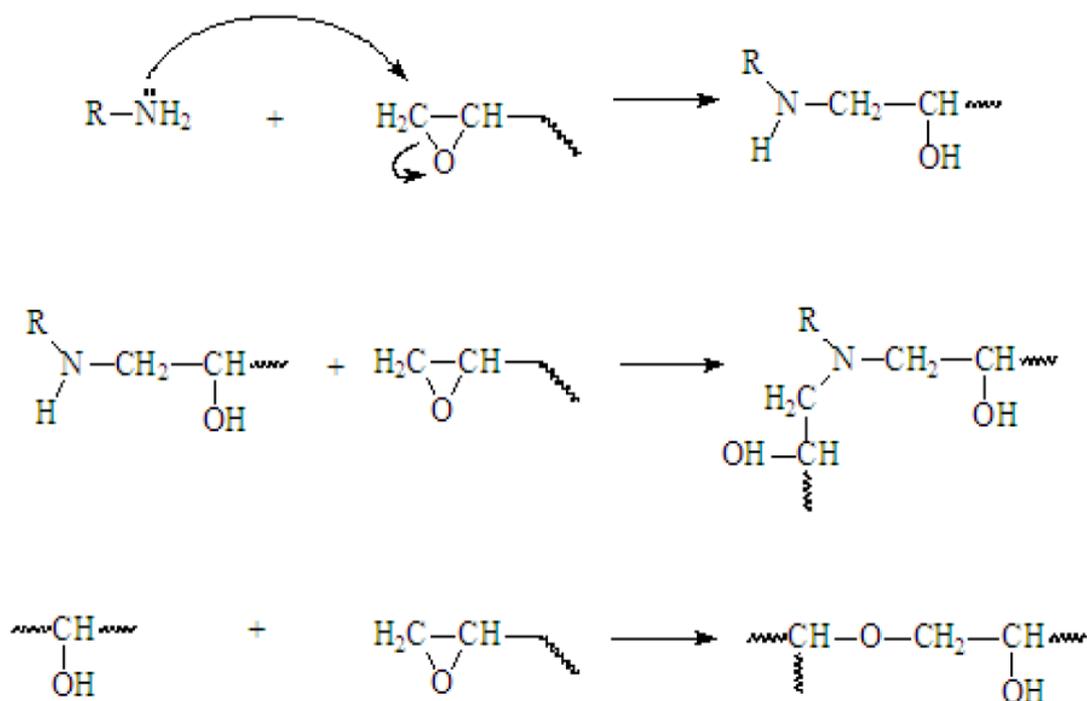


Figura 2.7: Mecanismo de cura da resina epóxi com endurecedor contendo grupo amina [18].

Comercialmente, há uma grande variedade de precursores que contém o anel epóxi e também de agentes de cura cuja composição apresenta as funções anidrido ou amina de maneira que, além das funcionalidades reativas disponíveis em cada uma das moléculas, há muitas possibilidades de formação do reticulado tridimensional.

A resina epóxi mais comumente utilizada comercialmente em compósitos é a diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA), cuja estrutura química é mostrada na Figura 2.8. O DGEBA é produzido a partir da reação entre o bisfenol A e a epícloridrina; o tamanho da cadeia do oligômero, nos casos comerciais, fica próximo de  $n = 14$  e é controlado pela relação epícloridrina/bisfenol na reação.

O bisfenol, por sua vez, é produzido a partir da reação entre a acetona e o fenol; nesta reação ocorrerão isômeros de bisfenol nas posições orto e para e, conforme Ellis [15], o bisfenol utilizado na produção de DGEBA deverá ser proveniente do isômero cujas hidroxilas encontram-se nas posições orto com concentração superior à 98%. A concentração dos isômeros do bisfenol terá influência no comportamento dos oligômeros de DGEBA: a maior concentração de isômeros das posições orto implica em oligômeros de DGEBA com maior mobilidade (por serem mais lineares) o que permite maior coeficiente de difusão e por consequência maior velocidade de reação entre o DGEBA e o respectivo agente de cura para a produção da resina epóxi ao longo de todas as etapas de reação.

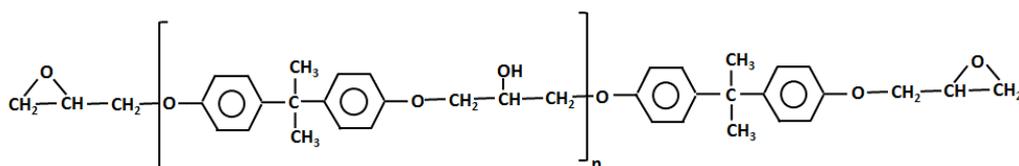


Figura 2.8: Molécula do diglicidil éter do bisfenol A (DGEBA)

A questão da mobilidade relacionada com velocidade de reação também pode ser encontrada com outros precursores derivados do fenol em reação com Epicloridrina. Um exemplo deles é o 3,4 - epoxiciclohexilmetil 3,4 epoxiciclohexanocarboxilato, Figura 2.9. A existência de diferentes grupos funcionais pode levar à oligômeros e polímeros de baixa mobilidade e alto emaranhamento dificultando a formação do reticulado epóxi final também por impedimento estérico.

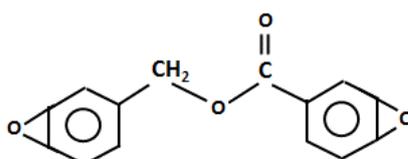
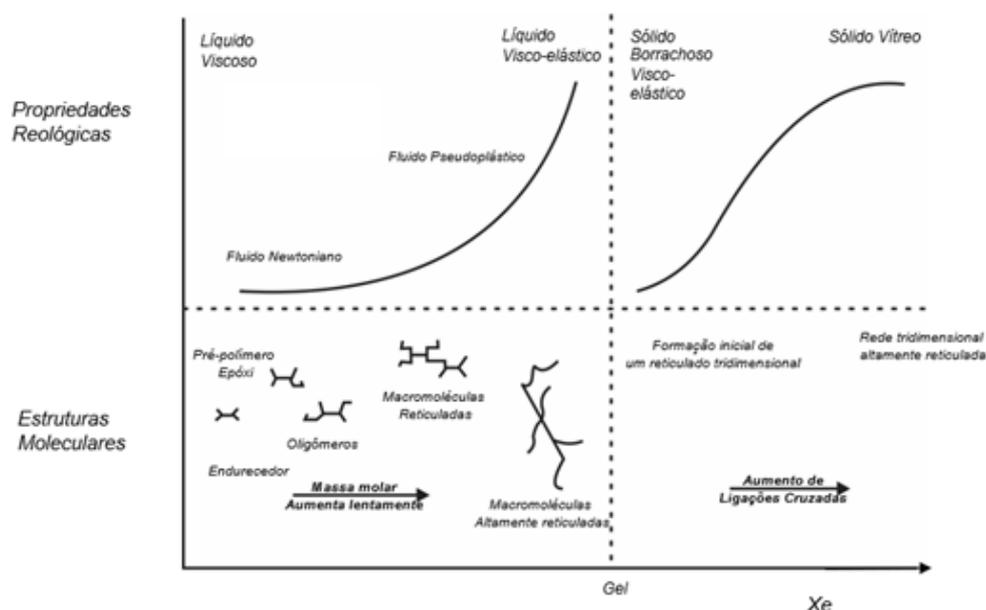


Figura 2.9: Molécula do 3,4- epoxiciclohexilmetil 3,4 poxiciclohexanocarboxilato

Além disso, comercialmente, os precursores epóxi podem ser misturas homogêneas de diferentes moléculas, como por exemplo Bisfenol-F, poliglicóis, moléculas com funções epóxi mono hidrolisadas para terminação de cadeia, etc. Também podem ser usados precursores produzidos por outras vias, como os precursores bromados, que podem conferir à macromolécula reticulada final propriedades retardantes à chama e até mesmo a auto-extinção de chamas [15].

Outro ponto a destacar é que qualquer precursor da resina epóxi contém impurezas que terão influência no comportamento final do polímero curado, em função de reações secundárias que ocorrerão durante o processo de cura. Deste modo, o mecanismo de cura descrito anteriormente se torna mais complexo pois moléculas bi, tri e tetrafuncionais irão reagir entre si, formando uma rede de ligações cruzadas que terá impacto direto nas propriedades termomecânicas do produto final.

Independentemente do sistema de cura ou precursores no início da reação a velocidade da polimerização é limitada por dois mecanismos distintos: a difusão e a reatividade dos reagentes no meio reacional. No início do processo a reação é limitada pela reatividade; à medida que o grau de conversão aumenta, a viscosidade do meio também aumenta, em função do aumento da massa molar média das macromoléculas, e o controle da reação passa a ser dado pelo processo de difusão dos reagentes no meio reacional, conforme ilustrado na Figura 2.10.



$X_e$  = Grau de conversão das funções epóxi (reagente).

Figura 2.10: Representação do processo de cura da resina epóxi. [adaptada de 18]

Conforme Dias [18], pode-se observar, pela Figura 2.10, que o processo de cura da resina epóxi apresenta uma descontinuidade chamada de ponto de gelificação. A reação entre o grupo epóxi da resina e o grupo funcional do endurecedor produz oligômeros que formarão macromoléculas com grau de reticulação que aumentará na medida que a reação avança. Este processo ocorrerá até o ponto de gelificação, onde as ligações cruzadas se estendem ao longo de todo o meio reacional. No ponto de gelificação, ainda existem pequenas moléculas com ligações cruzadas que não estão inseridas na rede tridimensional de forma que a reação continua e ao final do processo, com alto grau de conversão obtido, forma-se um polímero vitrificado de características termorrígidas. Assim, à medida que o processo de cura prossegue a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) se altera. Inicialmente, a mistura reacional é fluida e ao final um sólido é produzido, ou seja, a  $T_g$  aumenta ao longo do processo. O diagrama TTT (tempo, temperatura, transição) da Figura 2.11 representa a evolução da  $T_g$  de uma resina epóxi ao longo do processo de cura; nele também pode ser verificado que há uma temperatura a partir da qual haverá a degradação do polímero.

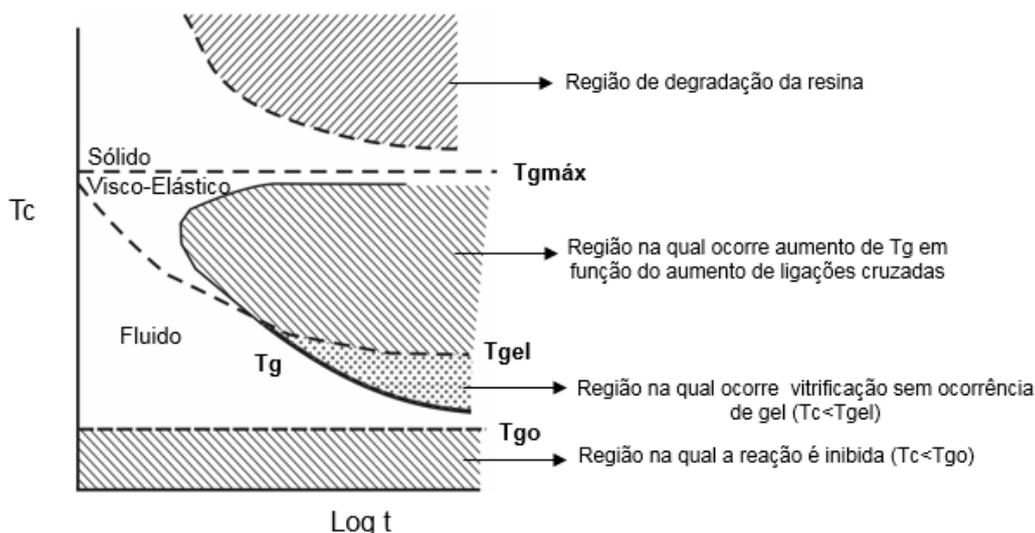


Figura 2.11: Diagrama simplificado TTT (tempo, temperatura, transição) [15,18]

$T_c$  = temperatura de cura;  $t$  = tempo de cura,  $T_{go}$  = temperatura de transição vítrea da mistura reacional (epóxi + endurecedor),  $T_g$  = temperatura de transição vítrea,  $T_{g\text{máx}}$  = limite da temperatura de transição vítrea quando a concentração de epóxi tende a 0,  $T_{gel}$  = temperatura de gelificação.

Para temperaturas de cura,  $T_c$ , maiores que a  $T_g$  o processo reacional é controlado pela reatividade epóxi/agente de cura. À medida que a massa molar e o número de ligações cruzadas aumentam, a  $T_g$  também aumenta como resultado da restrição da mobilidade das moléculas, assim, a cinética de cura passa a ser controlada pela difusão dos reagentes no meio reacional e não mais pela reatividade entre os grupos funcionais, o que o tornará mais lento. Desta forma, para a continuidade da reação até altos graus de conversão e a garantia da formação da rede tridimensional é prática comum a cura em duas ou mais etapas de forma que na medida que o avanço da reação acontece faz-se necessário o aumento da temperatura do meio reacional para aumento da difusão intermolecular ente os reagentes e, com isso, aumento da velocidade da reação. Este processo de aumento de temperatura de cura é conhecido como pós-cura.

De fato, conforme Dusek [19], pelo exposto, as resinas epóxi curadas não apresentam total homogeneidade em ligações cruzadas e o controle da reação química é de fundamental importância para a construção destas ligações e, conseqüentemente, da macromolécula rígida. Também, como nos processos

comerciais a purificação de cada componente precursor da resina não é perfeita, as impurezas presentes tanto no precursor epóxi quanto no agente de cura irão contribuir para a não homogeneidade total da macromolécula. Por isso, é importante que as condições de reação e cura indicadas pelos fabricantes de resina sejam fielmente seguidas para a obtenção das propriedades finais desejadas.

Torna-se, então, evidente que tanto a qualidade dos precursores quanto o processo de cura terão influência nas propriedades finais, as quais estão ligadas diretamente com a densidade de ligações intermoleculares. Uma das maneiras de se verificar indiretamente a estrutura do material epóxi é através da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). Pode-se encontrar na literatura recente a busca da melhoria das propriedades termomecânicas através do aumento da  $T_g$  de resinas epóxi nas quais os fabricantes de resina e pesquisadores modificam a funcionalidade e as respectivas moléculas disponíveis, além de utilizar blendas poliméricas. Wang et al. [20] produziram uma blenda de resina epóxi com ftalazinona éter sulfona cetona (PPESK) e obtiveram  $T_g$  de até 235°C. Também, pela abertura do anel epóxi de monômeros ciclo-alifáticos utilizando-se como iniciador um sal de amônio aromático e trietanolamina, Isarn, Gamardella & Massagués [21] obtiveram resinas epóxi com temperaturas de transição vítrea de até 250°C. Compósitos epóxi contendo diglicidil éter de bifenol A (DGEBA), dialil bisfenol A, alquil fenil éter, trimetoxisilano, trietóxisilano, fenol, óxido de platina, carbonato de potássio, glicidil fenil éter e  $\text{SiO}_2$ , foram preparados por Chun, Kim, Tak, Park S.Y., Park S.J & Oh [22] e foram obtidas temperaturas de transição vítrea de até 200°C. Desta forma, pode-se verificar a possibilidade do uso de resinas epóxi para a fabricação de tubos para aplicação em colunas de produção de poços da camada pré-sal nas condições identificadas na Tabela 1.1.

### **2.3 Fibras de Vidro**

O conhecimento do vidro vem de alguns milhares de anos, no entanto, somente em 1938 foi possível a produção de fios contínuos de vidro quando foi

criada a empresa Owens Corning a partir da fusão entre as empresas Owens Illinois e Corning Glass que pesquisavam a produção de fibra de vidro concomitantemente.

Os vidros produzidos para a fibra de vidro são estruturas amorfas derivadas da sílica fundida com inserção de cátions na estrutura de forma que a composição resultante levará às propriedades físico-químicas desejadas do vidro. De forma genérica, a Figura 2.12 mostra a estrutura da fibra de vidro, que é bastante semelhante à estrutura da sílica fundida.

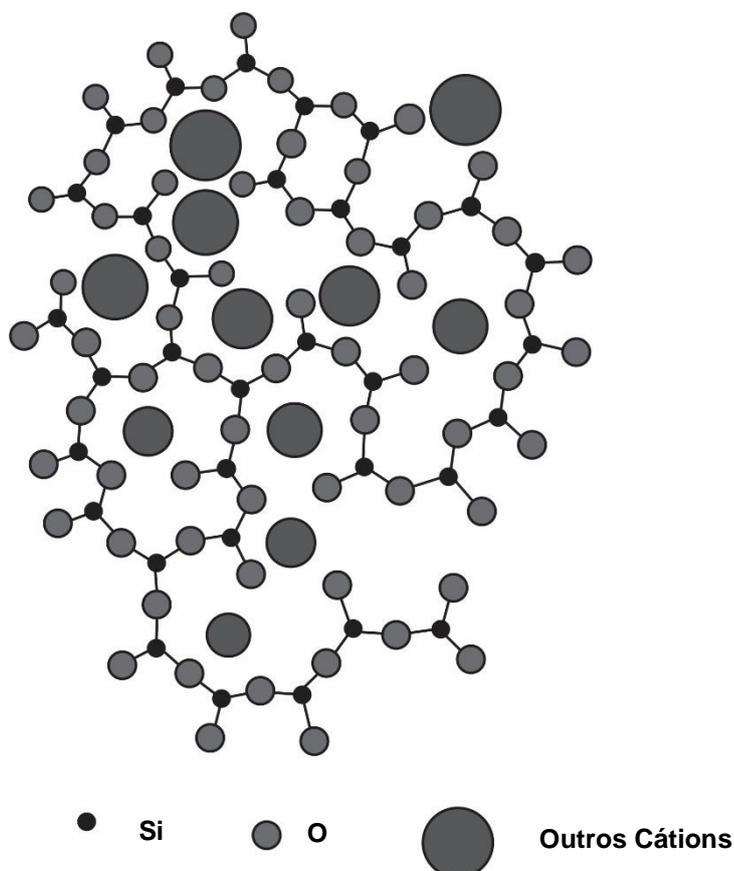


Figura 2.12: Estrutura da fibra de vidro [adaptada de 23]

Na estrutura da fibra de vidro, a molécula de  $\text{SiO}_2$  tem configuração tetraédrica com 1 átomo Si em um vértice e 3 átomos de oxigênio em cada um dos vértices inferiores, formando uma estrutura  $\text{Si}_n\text{O}_{2n+1}$ . Esta rede tridimensional tetraédrica é a base da estrutura da fibra de vidro e a adição de óxidos metálicos modificará as propriedades da fibra de vidro tanto do ponto de vista de aplicação final quanto do ponto de vista de processabilidade. Na Tabela 2.1 são

apresentados os principais tipos de fibra de vidro existentes assim como suas respectivas aplicações, sendo que existem normas internacionais para a classificação dos vidros como a ASTM D578 [24].

Tabela 2.1: Composições de fibras de vidro conforme ASTM D578 [24]

Óxidos	Vidro C	Vidro AR	Vidro E	Vidro Advantex®	Vidro S	Vidro H
SiO <sub>2</sub> (Silica)	64 - 68	55 - 75	52 - 56	59 - 62	67 - 71	55 - 65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumina)	3-5	0 - 5	12-16	12 - 15	19 - 21	15 - 30
MgO (Magnésio)	2-4		0-5	1 - 4	9 - 11	3-8
CaO (Cálcio)	11-15	1-10	16-25	20 - 24	< 0.3	9-25
Li <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O (+ K <sub>2</sub> O)	7-10	11-21	0 - 2	0 - 4	0.25 - 3.0	0-1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Boro)	4-6	0-8	0-10			
TiO <sub>2</sub> (Titânio)		0-12	0-1.5	0 - 0.9		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ferro)	0-0.8	0-5	0.05-0.8	0 - 0.5		
F <sub>2</sub> (Flúor)		0-5	0-1	1 - 0.5		0-0.3
ZrO <sub>2</sub> (Zircônio)		1-18				
	Borosilicato de Cálcio	Silicato de Zircônio	Borosilicato de alumínio e cálcio	Silicato de alumínio e cálcio	Alumino silicato de magnésio	Alumino Silicato de Cálcio
	Non Woven (Véus)	Construção Civil	Ind Elétrica, Auto, Infra	Ind elétrica, Auto, Infraestrutura, Construção Civil	Aerospacial, Militar	Militar, Energia Eólica

Na Tabela 2.1 destaca-se a fibra de vidro Advantex® [25], marca registrada da Owens Corning, que será utilizada no presente trabalho. Conforme Wallenberger, Watson & Hong [26] a fibra de vidro livre de Boro (Advantex®) apresenta módulo de Young de 81 GPa adequado à aplicação estudada neste trabalho, 5% maior do que o módulo de Young do vidro E tradicional, além de resistência à corrosão superior, evitando falhas prematuras dos compósitos [27]. Adicionalmente, de acordo com Feith [28], em temperaturas até 200°C o vidro Advantex® não apresenta perda de propriedades.

Além da composição do vidro, o recobrimento superficial da fibra é de fundamental importância, pois ele contribui para a proteção da fibra, processamento da mesma e finalmente é o agente de ligação entre a matriz polimérica e a fibra. De acordo com Marinucci [29], o recobrimento químico chamado de “sizing” ou “binder” consiste basicamente de uma emulsão aquosa contendo lubrificantes, formadores de filme, um ou mais agentes de ligação / acoplagem, além de outros aditivos como agentes anti-espumantes e agentes anti-estáticos.

Durante o processamento da fibra de vidro, o formador de filme, além dos lubrificantes e agentes anti-estáticos, tem papel importantíssimo para que a fibra se mantenha íntegra. Já na produção do compósito, o contato entre a fibra e a matriz polimérica deverá fazer com que os lubrificantes e agentes anti-estáticos se solubilizem na matriz e o agente de ligação, normalmente um organosilano, deverá se manter ligado quimicamente à fibra de vidro e terá o papel de realizar ligações primárias e/ou secundárias com a matriz polimérica, promovendo adesão e permitindo a transferência de esforços entre a matriz e as fibras de vidro durante o carregamento mecânico do compósito.

Assim, para que haja compatibilidade entre a matriz polimérica e a fibra de vidro tanto o agente de ligação quanto o formador de filme devem ter funções compatíveis com a fibra e a matriz polimérica. Tipicamente, os formadores de filme são emulsões de poliéster, poliuretanas, epóxi, etc. Já os organosilanos têm funções químicas distintas: um grupo organofuncional (Y) e outro grupo inorganofuncional - alquoxi hidrolisável (X) de forma que a fórmula geral pode ser descrita por  $X_3SiRY$ . O grupo alquoxi (X hidrolisada) reagirá especificamente com a estrutura do vidro, enquanto que a estrutura Y terá interação com a matriz polimérica. Esta interação pode ser uma reação química com formação de ligações primárias e / ou ligações secundárias, tal como comentado anteriormente. A Figura 2.13 mostra duas moléculas típicas de organosilanos para aplicações com resina epóxi.

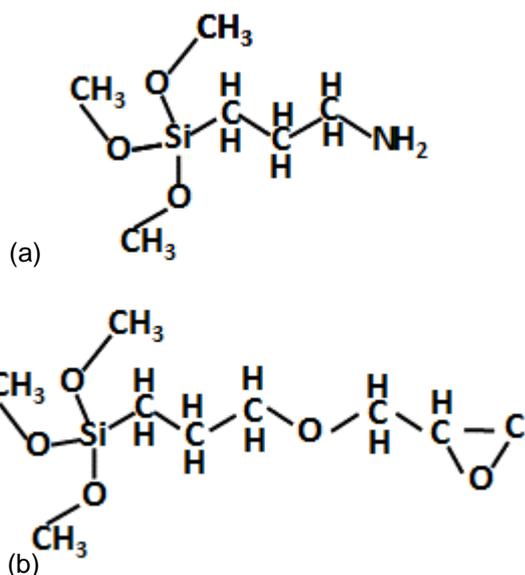


Figura 2.13: Estruturas químicas de organosilanos utilizados como agentes de acoplamento de fibras de vidro com matriz de resina epóxi: a) aminopropiltrimetoxissilano; b) glicidoxipropiltrimetoxissilano [30].

Tanto para o aminopropiltrimetoxissilano (Figura 2.13-a) quanto para o glicidoxipropiltrimetoxissilano (Figura 2.13-b), os grupos trimetoxissilano são responsáveis pela ligação química primária com o vidro. Esta ligação ocorre durante o processo de fabricação, logo após a etapa de fiação da fibra de vidro. Conforme mostrado por Jones [31] e ilustrado na Figura 2.14, durante a etapa de produção do recobrimento químico, os grupos funcionais trimetoxissilano irão se hidrolisar e formar grupos silanóis, os quais, por sua vez, se ligarão com os grupos silanóis presentes na superfície da fibra de vidro.

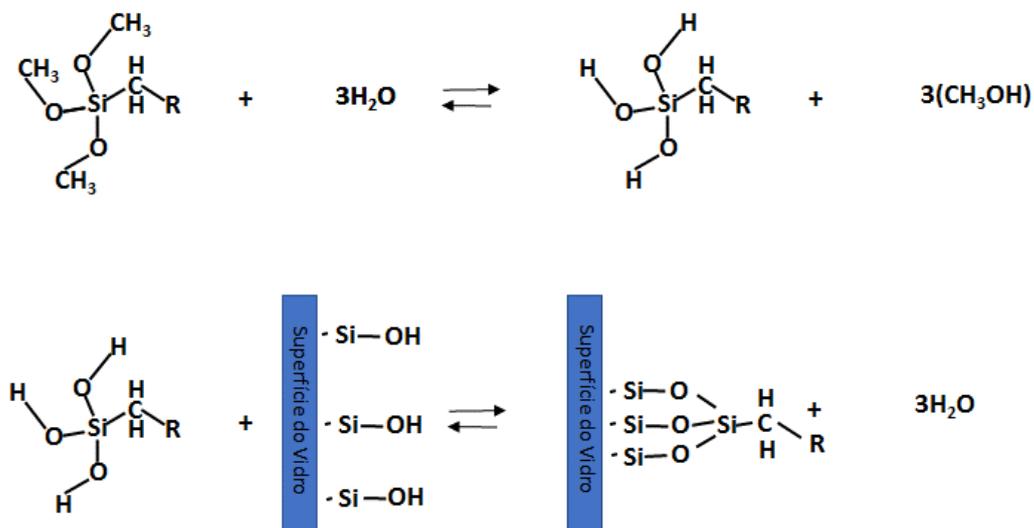


Figura 2.14: Exemplo de reações entre os organosilanos e o vidro [31]

Uma vez que a reação química de condensação descrita na Figura 2.14 é reversível, é importante que a água seja retirada do meio reacional garantindo a ligação química entre o agente de acoplamento e a superfície do vidro, de forma que esta ligação e a ligação do radical R com a matriz polimérica na etapa de cura do epoxi (primária ou secundária) serão de fundamental importância para a transferência de esforços aos quais o compósito será submetido, conforme será descrito na seção 2.4.

## 2.4 Interface Fibra-Matriz

Do ponto de vista microscópico o compósito apresenta uma interface bem definida que separa os elementos constituintes.

Conforme Araújo [32], a adesão interfacial entre a fibra, a matriz e o recobrimento químico apresenta papel crucial no desempenho final do compósito. Esta zona de transição entre o vidro e a matriz deverá ser capaz de transferir energia da matriz polimérica para a fibra de vidro [33] quando o compósito for solicitado mecanicamente.

A interface do compósito é a região na qual ocorre uma interpenetração da matriz no recobrimento químico, e vice-versa. Especificamente para compósitos de resina epóxi e fibra de vidro, haverá a reação entre o organosilano ligado quimicamente à fibra de vidro: o radical R (Figura 2.14) deverá reagir com os grupos funcionais da matriz de forma a fazer parte da macromolécula reticulada; nos casos onde tem-se um aminosilano (Figura 2.13-a), por exemplo, a amina localizada na extremidade da molécula do organosilano deverá reagir com a função epóxi conforme o mecanismo descrito na Figura 2.7. Para a reação do radical R acontecer, é necessária a garantia de que a fibra de vidro esteja totalmente embebida (“molhada”) pela resina epóxi.

No processo de molhagem a resina, ainda na fase líquida, deverá se espalhar sobre toda a superfície da fibra de vidro e para que o contato efetivo entre as superfícies ocorra, a energia livre total do sistema deve ser diminuída, portanto, a “molhabilidade” depende das tensões superficiais de cada um dos componentes envolvidos. Além disso, a viscosidade da resina (evidentemente dependente da temperatura) tem papel importante na medida que a fluidez da resina através dos filamentos irá contribuir para a distribuição da mesma ao longo de todo o reforço garantindo a maximização da área da interface [34].

Assim, a reação química será controlada, neste momento, apenas pela reatividade e não pelo processo de difusão dos reagentes, ou seja, esta reação deve ocorrer antes do chamado ponto de gel da resina epóxi. O mesmo deverá ocorrer caso o organosilano utilizado contenha o grupo epóxi (Figura 2.13-b) com mecanismo de reação já descrito nas Figuras 2.6 ou 2.7, dependendo do sistema de cura utilizado. Assim, terá início uma rede de interpenetração conforme a ilustrada na Figura 2.15.

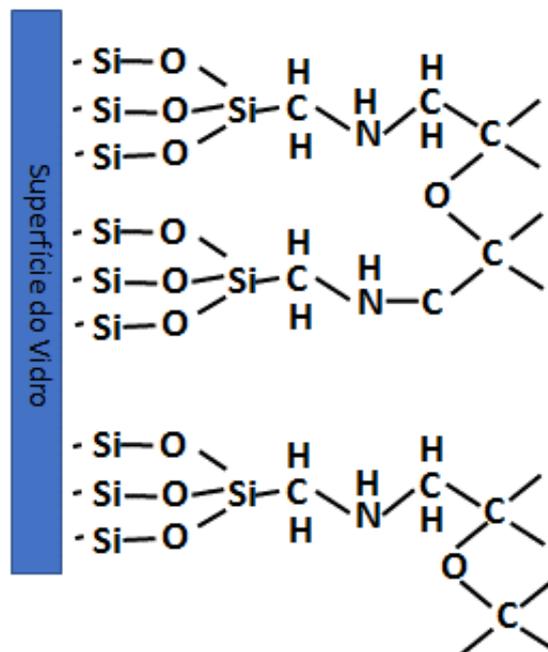


Figura 2.15: Representação esquemática da formação da rede de interpenetração com um aminosilano.

É importante ressaltar que, conforme Moutushi [33], também existe a formação de um oligômero nas monocamadas da interface durante o processo produtivo da fibra de vidro ou mesmo durante a formação do compósito (reação de formação da resina epóxi). No primeiro caso, este oligômero é basicamente formado pela reação entre os organosilanos, sendo que o seu tamanho e forma contribuirão para o desempenho mecânico do compósito. Além disso, também foi demonstrado [33] que o formador de filme tem influência nas propriedades mecânicas do compósito de resina epóxi e fibra de vidro de forma que o processo de solubilização do formador de filme não é completo e parte dele continua adsorvido na fibra de vidro podendo ligar-se quimicamente com a matriz. Assim, a rede de interpenetração será similar à mostrada esquematicamente na Figura 2.16.

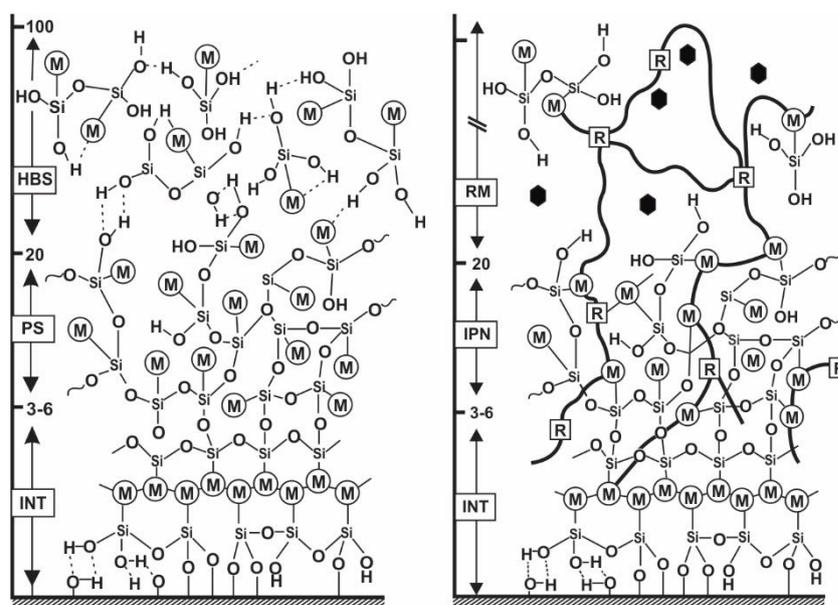


Figura 2.16: Representação esquemática das ligações existentes na interface matriz-resina (rede de interpenetração) [35]

M = Função ativa do silano, R = radical da matriz polimérica

Desta forma, durante o processo de produção do compósito (fibra de vidro/epóxi) haverá um processo de difusão dos reagentes epóxi (resina e endurecedor) na região da superfície da fibra de vidro onde basicamente estarão os componentes do recobrimento químico da fibra, assim como o processo inverso (difusão dos componentes do recobrimento químico no meio resina epóxi/endurecedor). Este processo deve ocorrer majoritariamente durante a fase inicial da reação epóxi/endurecedor na qual a viscosidade do meio reacional é a mais baixa. Deve-se atentar primeiramente para a área superficial da fibra que deve ser umectada: a mecha de fibra de vidro contínua é composta por alguns milhares de filamentos que deverão ser totalmente umectados para que se garanta a formação da rede de interpenetração/interface. Vale lembrar que a área superficial da mecha de fibra de vidro pode atingir valores de 300 ou mais  $m^2$  por km de mecha de fibra de vidro.

Além disso, como no caso das resinas epóxi trata-se de um sistema multicomponente, o coeficiente de difusividade e a própria adsorção dos componentes na superfície da fibra diferem-se. Com isso, há potencial separação dos componentes da resina epóxi e não uniformidade da superfície

da interface resina-vidro o que leva a diferenças de propriedades termomecânicas locais que potencialmente serão pontos de descontinuidade do compósito final contribuindo para seu desempenho inferior.

Desta forma, o conhecimento profundo da estrutura epóxi formada na matriz do compósito e em sua interface é bastante difícil e oneroso.

Por isso, para a aplicação do compósito estudada é importante a verificação experimental de suas propriedades termomecânicas de forma a elucidar os respectivos valores de temperatura de transição vítrea e resistências mecânicas explorando também a microestrutura do compósito, correlacionando-a com os respectivos resultados mecânicos. Então, para a esta avaliação são utilizados métodos como os que serão descritos a seguir.

## **2.5 Avaliação do desempenho de compósitos**

### ***2.5.1 Modelagem da lâmina***

Conforme já exposto, as propriedades mecânicas de um compósito dependem fortemente das propriedades de cada um de seus constituintes bem como da interface entre a fibra e a resina. Do ponto de vista de contribuição, a fibra de vidro é o componente que aumentará a resistência mecânica do compósito em função de sua estrutura mais rígida e resistente que a matriz polimérica.

Para a modelagem mecânica de materiais anisotrópicos, como o caso de compósitos de resina epóxi e fibra de vidro produzidos por enrolamento filamentar, pode-se assumir inicialmente o modelo ideal das lâminas conforme ilustrado na Figura 2.17.

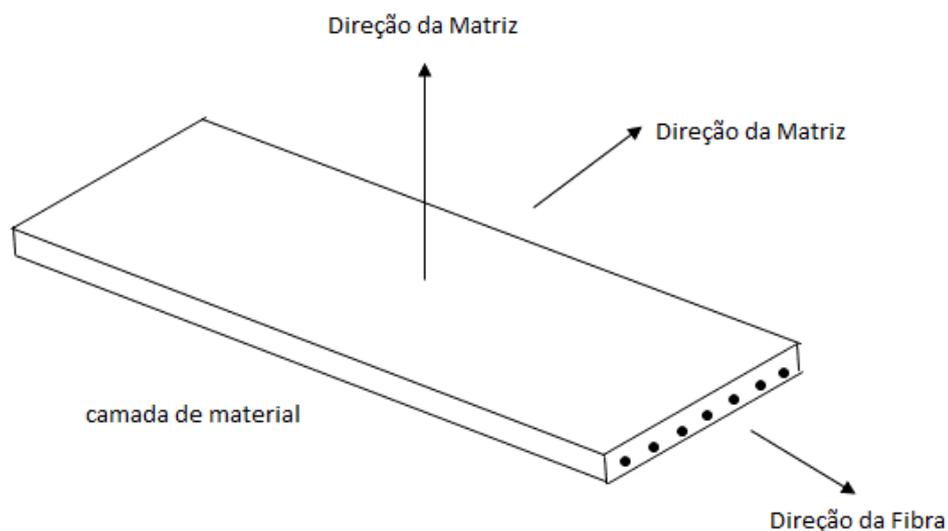


Figura 2.17: Representação de uma lâmina de reforço orientada unidirecionalmente [29]

De uma maneira bastante simplificada, para a previsão das propriedades mecânicas de um compósito pode-se utilizar a regra de mistura, conforme demonstrado por Marinucci [29], sendo que para tanto são assumidas as seguintes condições:

- A lâmina de compósito possui comportamento elástico e está livre de tensões internas e externas;
- As fibras são uniformes nas propriedades e diâmetro, contínuas, paralelas e regularmente espaçadas no compósito;
- A matriz é considerada isotrópica e homogênea apresentando comportamento linear elástico;
- A ligação fibra-matriz é perfeita e não há vazios na interface.

Na prática, a garantia de todas estas premissas para a abordagem do projeto é bastante dificultada; não é possível garantir a ausência de tensões bem como a isotropia da matriz e a ligação perfeita fibra-matriz. Assim, a abordagem mais utilizada é a análise da lâmina ortotrópica considerando-a homogênea e de comportamento elástico, como será descrito a seguir.

Inicialmente, deve-se considerar um elemento de material anisotrópico submetido a tensões normais e de cisalhamento, conforme ilustrado na Figura 2.18 [29].

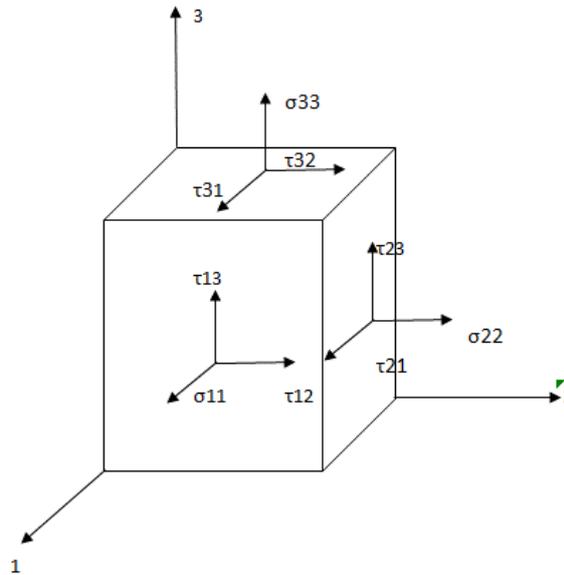


Figura 2.18: Representação do estado de tensões de um elemento infinitesimal de um material anisotrópico [29]

Assumindo-se o elemento elástico, a lei de Hooke é obedecida em todas as direções. Desta forma, pode-se escrever:

$$\{\sigma_{ij}\} = [C_{ijkl}] \{\epsilon_{kl}\} \quad (2.1)$$

Assim, desenvolvendo-se a equação 2.1 obtém-se a chamada matriz de rigidez do compósito, onde  $C_{ijkl}$  são relativos aos módulos de rigidez em cada uma das direções indicadas,  $\sigma_{ij}$  são as tensões nas respectivas direções e, analogamente,  $\epsilon_{kl}$  são as deformações.

Em termos de engenharia e conforme a Figura 2.18, a equação 2.1 pode ser reescrita da seguinte na forma da equação 2.2.

$$\begin{array}{c|c|cccccccc|c|}
 \sigma_1 & & C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} & C_{17} & C_{18} & C_{19} & \epsilon_1 \\
 \sigma_2 & & C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} & C_{27} & C_{28} & C_{29} & \epsilon_2 \\
 \sigma_3 & & C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} & C_{37} & C_{38} & C_{39} & \epsilon_3 \\
 \tau_{23} & & C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} & C_{47} & C_{48} & C_{49} & \gamma_{23} \\
 \tau_{31} & = & C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} & C_{57} & C_{58} & C_{59} & \gamma_{31} \\
 \tau_{12} & & C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} & C_{67} & C_{68} & C_{69} & \gamma_{12} \\
 \tau_{32} & & C_{71} & C_{72} & C_{73} & C_{74} & C_{75} & C_{76} & C_{77} & C_{78} & C_{79} & \gamma_{32} \\
 \tau_{13} & & C_{81} & C_{82} & C_{83} & C_{84} & C_{85} & C_{86} & C_{87} & C_{88} & C_{89} & \gamma_{13} \\
 \tau_{21} & & C_{91} & C_{92} & C_{93} & C_{94} & C_{95} & C_{96} & C_{97} & C_{98} & C_{99} & \gamma_{21}
 \end{array} \quad (2.2)$$

Na equação 2.2,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$  são, respectivamente, as tensões normais nas direções 1, 2 e 3 representadas na Figura 2.18,  $\tau_{ij}$  são as tensões de cisalhamento nas direções paralelas aos planos  $i$  (1, 2 e 3) e ortogonais às tensões normais (1, 2 e 3);  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  e  $\epsilon_3$  são as deformações nas direções ortogonais 1, 2 e 3, respectivamente;  $\gamma_{ij}$  são as deformações cisalhantes nas direções paralelas ao plano  $i$  (1, 2 e 3) e ortogonais às tensões normais 1, 2 e 3.

A equação 2.2 pode ainda ser simplificada considerando-se a simetria existente no que diz respeito às tensões de cisalhamento e respectivas deformações, ou seja,  $\tau_{ij} = \tau_{ji}$  e  $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$ , além de  $C_{ij} = C_{ji}$  na matriz de rigidez. Desta forma, pode ser escrita a equação 2.3.

$$\begin{array}{c|c|cccccc|c|}
 \sigma_1 & & C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} & \epsilon_1 \\
 \sigma_2 & & C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} & \epsilon_2 \\
 \sigma_3 & & C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} & \epsilon_3 \\
 \tau_{23} & & C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} & \gamma_{23} \\
 \tau_{31} & = & C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} & \gamma_{31} \\
 \tau_{12} & & C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} & \gamma_{12}
 \end{array} \quad (2.3)$$

Além disso, a partir das considerações de simetria mostradas na Figura 2.19 e também do próprio equacionamento obtido a partir da lei de Hooke tem-se a equação 2.4.

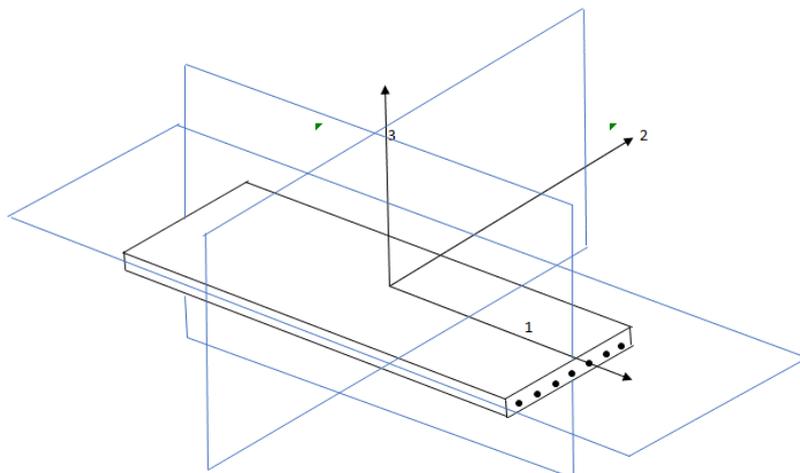


Figura 2.19: Planos de simetria de uma lâmina ortotrópica orientada unidirecionalmente [29].

$$\begin{vmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{vmatrix} \quad (2.4)$$

Para a chamada matriz de rigidez tem-se os elementos  $C_{ij}$  a serem determinados e, para fins de facilidade de cálculo, assim como direcionamento de medições, pode-se utilizar a matriz de flexibilidade (*compliance*) que é a matriz inversa da matriz de rigidez, ou seja  $[S_{ij}] = [C_{ij}]^{-1}$ , assim tem-se a matriz representada na equação 2.5.

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{vmatrix} \quad (2.5)$$

Assim, considerando-se a Lei de Hooke aplicada em cada uma das tensões normais e de cisalhamento, além dos coeficientes de Poisson em cada um dos planos tem-se a equação 2.6 que representa a matriz de flexibilidade em termos de engenharia de uma lâmina de compósito orientada unidirecionalmente.

$$\begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/E_1 & -v_{21}/E_2 & -v_{31}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -v_{12}/E_1 & 1/E_2 & -v_{32}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -v_{13}/E_1 & -v_{23}/E_2 & 1/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{31} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Então, pela matriz (equação 2.6) verifica-se a necessidade de obtenção das propriedades dos módulos de Young nas direções normais ( $E_i$ ) e de cisalhamento ( $G_{ij}$ ), além das respectivas deformações ( $\epsilon_i$ ) e coeficientes de Poisson ( $v_{ij} = -\epsilon_j/\epsilon_i$ ) para a lâmina de compósito a fim de que seja feito o correto dimensionamento mecânico do compósito laminado composto por um conjunto de lâminas sobrepostas.

## 2.5.2 Modelagem do laminado

### 2.5.2.1 Relações tensão – deformação no laminado

De modo geral, os laminados em compósito podem ser considerados como feitos por uma camada/lâmina ortotrópica ou isotrópica no plano do laminado ou uma sequência de camadas de lâminas sobrepostas formando uma pilha ou sanduiche. Estas camadas podem ser organizadas de forma a gerarem as propriedades de engenharia do material necessárias para a respectiva aplicação.

Especificamente para as tubulações fabricadas pelo processo de enrolamento filantar, considera-se o empilhamento de camadas anisotrópicas e, neste caso, a teoria clássica dos laminados pode ser considerada.

Desta forma, o compósito laminado é considerado como um conjunto de lâminas sobrepostas, cada uma com sua característica e anisotropia no plano do laminado cujas propriedades são obtidas através da integração das propriedades de cada uma das lâminas ao longo de sua espessura.

Para a integração e obtenção das propriedades do laminado, a teoria clássica dos laminados estabelece as propriedades elásticas de cada uma das lâminas que o constituem, sendo que as propriedades das lâminas são obtidas pelas relações tensão-deformação descritas no capítulo 2.5.1 e pela equação 2.6.

Conforme Marinucci [29], para que a teoria clássica dos laminados seja desenvolvida, as seguintes hipóteses devem ser admitidas:

- Há uma perfeita ligação entre as lâminas que constituem o laminado.
- Não há escorregamento entre cada uma das lâminas.
- A matriz que permanece entre as lâminas é fina e não deformável por cisalhamento.
- A hipótese de Kirchhoff, que estabelece que uma linha reta normal à superfície média de um elemento sem deformação permanece na condição de superfície média após sofrer a deformação do elemento (Figura 2.26), é obedecida.
- Na deformação, o deslocamento na direção perpendicular ao laminado em qualquer ponto é o mesmo deslocamento de um ponto na superfície média presente nesta mesma reta (Figura 2.20). Com isso, as deformações no laminado são reduzidas para  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  e  $\gamma_{xy}$ .

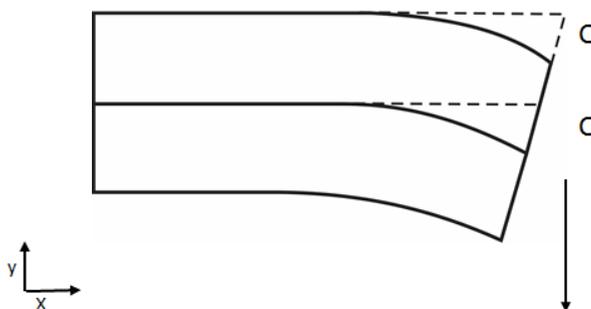


Figura 2.20: Deslocamento vertical de um laminado hipotético (adaptada de [29])

Para a integração da rigidez das lâminas e a obtenção da rigidez dos laminados a teoria clássica dos laminados considera o comportamento dos laminados que, quando submetidos a cargas externas combinadas de forças de tração e momentos fletores são estendidos e flexionados, conforme demonstrado na Figura 2.21.

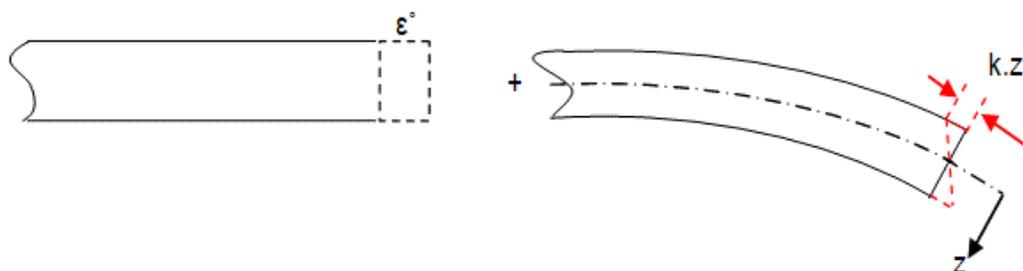


Figura 2.21: Deformação de um laminado por alongamento ( $\epsilon^0$ ) e flexão ( $k.z$ ), conforme Teoria Clássica dos Laminados

Pela Figura 2.21, verifica-se que as deformações resultantes em qualquer ponto do laminado são compostas por:

- Uma deformação de alongamento do laminado no plano do laminado,  $\epsilon^0$ , constante ao longo da espessura do laminado.

- Uma deformação devido à flexão,  $K.z$ , onde  $z$  é a distância vertical do plano médio ao plano ao ponto considerado e  $K$  é um vetor que descreve o quão severo o laminado é flexionado no ponto. As deformações no plano, portanto, para qualquer camada do laminado podem ser descritas pela equação 2.7, na qual  $\epsilon^0_x$ ,  $\epsilon^0_y$ ,  $\gamma^0_{xy}$  e  $K_x$ ,  $K_y$  e  $K_{xy}$  são, respectivamente, as deformações e curvaturas na linha média do laminado.

$$\begin{vmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \epsilon^0_x \\ \epsilon^0_y \\ \gamma^0_{xy} \end{vmatrix} + z \cdot \begin{vmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{vmatrix} \quad (2.7)$$

Considerando que todas as lâminas formam o conjunto do laminado sólido, todos alongamentos e curvaturas são os mesmos para cada uma das lâminas de forma que a equação 2.7, nas direções  $x$  e  $y$  consideradas na teoria

clássica das lâminas, pode ser reescrita na forma da equação 2.8, na qual  $[Q]_{xj}^j$  é a matriz de rigidez (equação 2.5) para a lâmina  $j$  nas coordenadas  $x$  e  $y$  do laminado,  $\epsilon^0$  é o vetor de deformações (equação 2.7),  $z$  é a distância vertical entre a lâmina  $j$  e o plano médio do laminado e  $K$  é o vetor com a curvatura em relação à linha média do laminado.

$$\sigma_{xy} = [Q]_{xj}^j \cdot \epsilon_{xy} = [Q]_{xy}^j \cdot \epsilon^0 + z \cdot [Q]_{xy}^j \cdot K \quad (2.8)$$

As várias lâminas que compõem o laminado são referenciadas de acordo com a sua posição física no laminado, conforme a Figura 2.22, na qual  $h_{j-1}$  é a distância da face da lâmina inferior até o ponto médio na coordenada  $z$  e  $h_j$  é a distância da face da lâmina superior até o ponto médio na coordenada  $z$ .

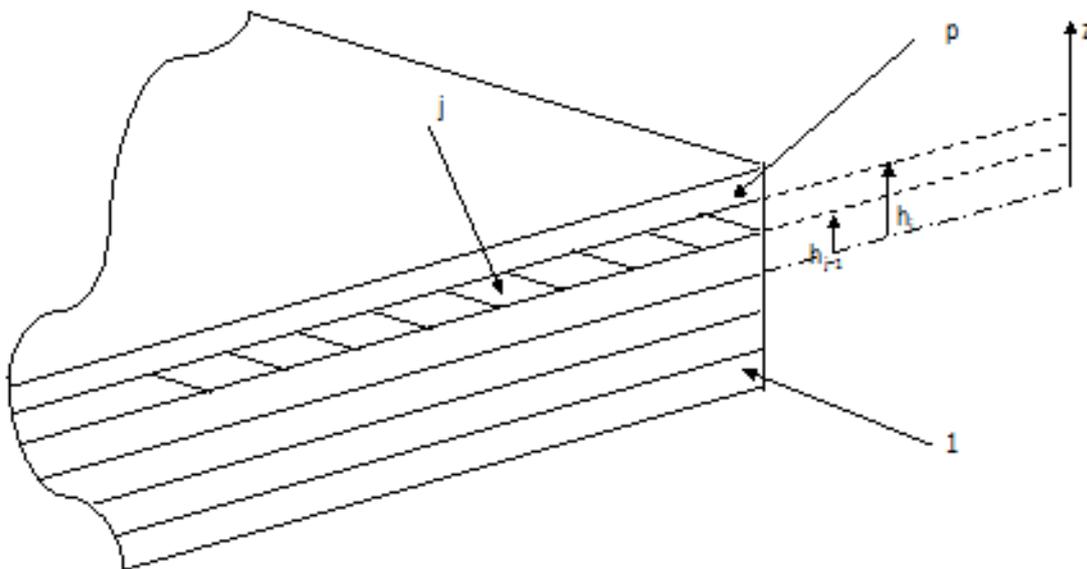


Figura 2.22: Laminado e Lâminas que o constituem nas respectivas posições

A coordenada  $z$  é normal ao plano médio do laminado e as distâncias  $h_j$  são consideradas negativas quando abaixo do plano neutro do laminado e positivas quando acima do plano neutro do laminado.

### 2.5.2.2 Equações constitutivas do laminado

Conforme Marinucci [29], na teoria clássica das lâminas, as equações constitutivas de um laminado são obtidas relacionando as forças e momentos resultantes por unidade de comprimento com as deformações da linha média do laminado. A integração das tensões em relação à espessura do laminado determina estas forças e momentos. É importante salientar que as tensões variam de camada a camada (lâmina a lâmina) em função de sua orientação e propriedades. Assim, as forças e momentos são calculados conforme as equações 2.9 e 2.10, nas quais  $N_x$ ,  $N_y$  e  $N_{xy}$  são as forças por unidade de comprimento nas respectivas direções; conforme Figura (2.29),  $h$  é a espessura da lâmina,  $\sigma_x, \sigma_y$  são as tensões normais nas respectivas direções e  $\tau_{xy}$  é a tensão de cisalhamento e  $M_x$ ,  $M_y$  e  $M_{xy}$  são os momentos nas respectivas direções, conforme Figura (2.23).

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz \quad (2.9 \text{ a})$$

$$N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y dz \quad (2.9 \text{ b})$$

$$N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} dz \quad (2.9 \text{ c})$$

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz \quad (2.10 \text{ a})$$

$$M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz \quad (2.10 \text{ b})$$

$$M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz \quad (2.10 \text{ c})$$

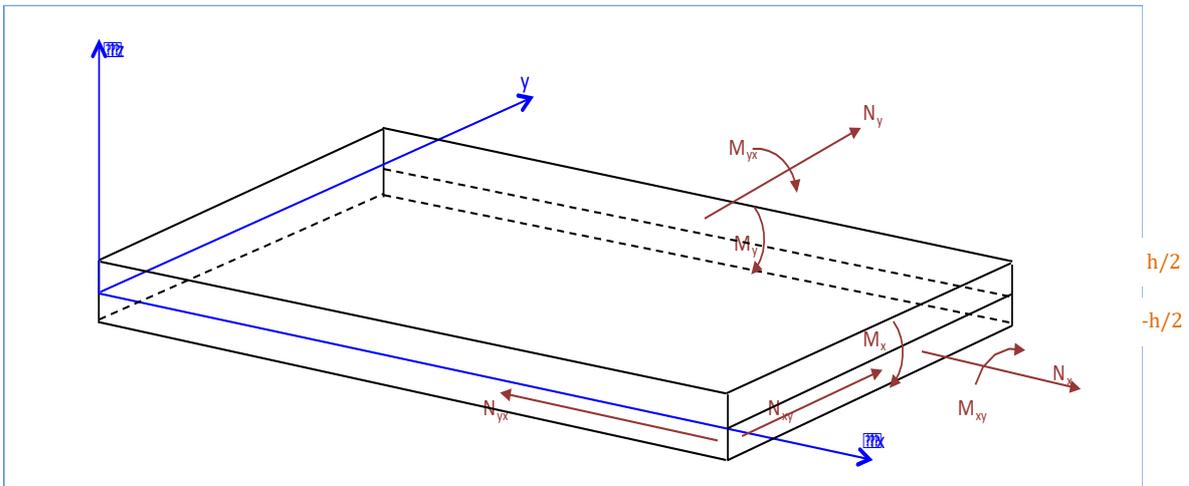


Figura 2.22: Forças e Momentos nas lâminas (adaptada de Zurstrassen [41])

Como o laminado é constituído por “p” lâminas ortotrópicas, o resultado de todas as forças e momentos atuantes está relacionado com a somatória da contribuição de cada camada, de forma que podem ser descritas pelas equações 2.11 e 2.12.

$$\{N\} = \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^p \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} dz \quad (2.11)$$

$$\{M\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^p \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} z(j) dz \quad (2.12)$$

Inserindo-se nas equações 2.11 e 2.12 a equação 2.2 que trata da relação tensão-deformação no laminado obtém-se as equações 2.13 e 2.14.

$$\{N\} = \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^p \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} [Q]_{j_{xy}} \cdot \{ \varepsilon^0 \} dz \right] + \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} [Q]_{j_{xy}} \{K\} z_k dz \right] \quad (2.13)$$

$$\{M\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^p \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} [Q]_{j_{xy}} \cdot \{ \varepsilon^0 \} z_k dz \right] + \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} [Q]_{j_{xy}} \{K\} z_k^2 dz \right] \quad (2.14)$$

Na análise das equações 2.13 e 2.14 pode-se observar que  $[Q]_{j_{xy}}$  é constante para a lâmina pois depende apenas do ângulo formado entre as direções globais da matriz (x-y) e a direção da lâmina (1-2) além das propriedades intrínsecas de cada lâmina. Da mesma forma, as deformações,  $\varepsilon^0$ , e curvaturas, K, permanecem as mesmas para cada lâmina em relação à linha média do laminado. Assim as equações 2.13 e 2.14 podem ser reescritas conforme as equações 2.15 e 2.16.

$$\{N\} = \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^p \left[ [Q]_{j_{xy}} \cdot \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} dz \right] \{ \varepsilon^0 \} + [Q]_{j_{xy}} \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} z_k dz \right] \{K\} \right] \quad (2.15)$$

$$\{M\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{j=1}^p \left[ [Q]_{j_{xy}} \cdot \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} z_k dz \right] \{ \varepsilon^0 \} + [Q]_{j_{xy}} \left[ \int_{h^{(j-1)}}^{h^j} z_k^2 dz \right] \{K\} \right] \quad (2.16)$$

Desta forma as equações integrais a serem resolvidas tornam-se triviais e sua resolução permite a criação do conceito das matrizes ABD do laminado conforme as equações 2.17 até 2.21.

$$\{N\} = [A] \cdot \{\varepsilon^0\} + [B] \cdot \{K\} \quad (2.17)$$

$$\{M\} = [B] \cdot \{\varepsilon^0\} + [D] \cdot \{K\} \quad (2.18)$$

Nas equações 2.17 e 2.18 os termos [A], [B] e [C] referem-se:

$$[A] = \sum_{j=1}^p [Q]_{xy}^j \cdot (h_j - h_{j-1}) \quad (2.19)$$

$$[B] = (1/2) \cdot \sum_{j=1}^p [Q]_{xy}^j \cdot (h_j^2 - h_{j-1}^2) \quad (2.20)$$

$$[D] = (1/3) \cdot \sum_{j=1}^p [Q]_{xy}^j \cdot (h_j^3 - h_{j-1}^3) \quad (2.21)$$

Assim, na análise do comportamento do laminado são conhecidos os vetores N e M (solicitações do laminado), as matrizes  $[Q]_{xy}^j$ , e são arbitradas as espessuras das lâminas h. Então, a partir das equações 2.17 a 2.21 são calculados os vetores  $\varepsilon^0$  e K. A seguir, utiliza-se a equação 2.2 e são obtidas as tensões e deformações em cada uma das lâminas, considerando-se, também, as coordenadas da lâmina em relação ao laminado.

Conhecendo-se as tensões máximas ou alongamentos admissíveis do material nos planos da lâmina pode(m) ser identificada a(s) lâmina(s) que falhará(ão). Neste sentido vários critérios de falha podem ser utilizados para o cálculo. Neste estudo, em específico, utilizou-se o critério de Tsai-Wu [36].

### 2.5.2.3 Critério de falha de Tsai-Wu

Quando se trata de materiais anisotrópicos, para o critério de falha devem ser consideradas tanto as tensões normais quanto as cisalhantes geradas pelos esforços sob os quais as peças estão submetidas. De fato, a falha pode ser descrita e compreendida em um espaço tridimensional no qual o corpo é submetido à esforços de tração, compressão e cisalhamento. Desta forma, Steve Tsai e Edu Wu [36] desenvolveram uma simplificação da teoria geral das falhas de materiais anisotrópicos (de Gol'denblat and Kopnov's) na qual a condição geral de ruptura pode ser descrita pela equação 2.16.

$$(f_1\sigma_1 + f_2\sigma_2) + (f_{11}\sigma_1^2 + f_{22}\sigma_2^2 + f_{66}\tau_{12}^2) + 2 f_{12}\sigma_1\sigma_2 \leq 1 \quad (2.16)$$

Na qual:

$f_1$  – coeficiente da ação isolada da tração na direção 1 da lâmina

$f_2$  – coeficiente da ação isolada da tração direção 2 da lâmina

$f_{11}$  – coeficiente da ação de tração e compressão na direção 1 da lâmina

$f_{22}$  – coeficiente da ação da tração e compressão na direção 2 da lâmina

$f_{12}$  – coeficiente da interação entre as ações de tração nas direções 1 e 2

da lâmina

$f_{66}$  – coeficiente da tensão de cisalhamento

$\sigma_1$  -Tensão em tração

$\sigma_2$  – Tensão de compressão

$\tau_{12}$  -Tensão de cisalhamento

Para a obtenção de cada um dos coeficientes, deve ser considerada a atuação isolada de cada uma das tensões de maneira que os demais termos da equação 2.16 se anularão. Desta forma, os coeficientes da Equação 2.16 são dados pelas equações:

$$f_1 = 1/F_{1t} - 1/F_{1c} \quad (2.17)$$

$$f_2 = 1/F_{2t} - 1/F_{2c} \quad (2.18)$$

$$f_{11} = 1/(F_{1t} F_{1c}) \quad (2.19)$$

$$f_{22} = 1/(F_{2t} F_{2c}) \quad (2.20)$$

$$f_{12} = 0,5 (f_{11} f_{22})^{1/2} \quad (2.21)$$

$$f_{66} = 1/(F_6)^2 \quad (2.22)$$

Na qual:

$F_{1t}$  – tensão máxima de tração na direção da fibra

$F_{1c}$  – tensão máxima de compressão na direção da fibra

$F_{2t}$  – tensão máxima de tração na direção transversal à fibra

$F_{2c}$  – tensão máxima de compressão na direção transversal à fibra

$F_6$  – tensão máxima de cisalhamento

Os valores recomendados por Marinucci [29] para as tensões máximas do laminado epóxi / fibra de vidro para cálculo das propriedades dos laminados são encontrados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Valores das tensões máximas do laminado epóxi / fibra de vidro (45% volume de FV)

Propriedade	Valor (MPa)
$F_{1t}$	1062
$F_{1c}$	958
$F_{2t}$	31
$F_{2c}$	118
$F_6$	78

A introdução do conceito do fator de segurança,  $S_f$ , ocorre por intuição: para um estado de tensões  $\{\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}\}$ , adicionando-se o fator de segurança para cada uma das tensões, tem-se  $\{S_f\sigma_1, S_f\sigma_2, S_f\tau_{12}\}$ , de forma que a equação 2.16 passa a ser escrita como a

$$S_f (f_1\sigma_1 + f_2\sigma_2) + S_f^2 ((f_{11}\sigma_1^2 + f_{22}\sigma_2^2 + f_{66}\tau_{12}^2) + 2 f_{12}\sigma_1\sigma_2) - 1 = 0 \quad (2.23)$$

Desta forma, a partir dos resultados das tensões em cada uma das lâminas e das tensões máximas em cada material pode-se determinar o fator de

segurança a ser utilizado que garanta o funcionamento dos laminados conforme o critério do projetista.

É importante salientar que neste caso não estão considerados os efeitos de deformações e tensões devido a expansões térmicas ou higroscópicas, os chamados efeitos higrotérmicos, que os laminados podem sofrer.

#### **2.5.2.4 Cálculo das forças e momentos**

No presente trabalho foi considerada a avaliação da pressão de serviço máxima sob o qual os tubos produzidos pelo processo de enrolamento filamentar foram submetidos. Desta maneira, não foram considerados esforços diferentes da pressão de serviço.

Neste caso simplificado, conforme Timoshenko & Woinowsky-Krieger [37] a teoria das membranas de cascos de espessura fina é suficientemente acurada e fornece as equações 2.24 (forças axiais) e 2.25 (forças radiais) para caracterização das forças sob as quais a parede do tubo é submetida. É importante salientar que, em função das simplificações admitidas, não foram considerados momentos associados às forças aplicadas ao tubo.

$$N_x = p \cdot r / 2 \quad (2.24)$$

$$N_y = p \cdot r \quad (2.25)$$

Na qual:

$p$  – pressão interna do tubo

$r$  – raio do tubo

#### **2.5.3 Previsão de propriedades de laminados**

A necessidade de se prever as propriedades dos compósitos veio do fato de que, na maioria dos casos, os custos e tempo para a obtenção das mesmas podem tornar impeditivos o desenvolvimento dos projetos. Assim, alguns métodos de cálculo foram desenvolvidos; neste caso será descrito o método mais simples e básico, a regra de misturas. Neste método assume-se que a

lâmina tem propriedades diferentes nas respectivas direções, no entanto, suas propriedades são as mesmas de um ponto para outro na mesma direção. Conforme Kaw [38], as propriedades do compósito são calculadas a partir das frações volumétricas de cada um dos componentes que podem ser relacionadas com as frações mássicas, normalmente medidas ou usadas na prática, pelas equações 2.26, 2.27 e 2.28.

$$Wf = \frac{\rho f}{\rho c} \cdot Vf \quad (2.26)$$

$$Wm = \frac{\rho m}{\rho c} \cdot Vm \quad (2.27)$$

$$\frac{1}{\rho c} = \frac{Wf}{\rho f} + \frac{Wm}{\rho m} \quad (2.28)$$

Na qual:

$Wf$  – fração mássica da fibra no compósito

$Wm$  – fração mássica da matriz no compósito

$\rho f$  – densidade da fibra

$\rho m$  – densidade da matriz

$\rho c$  – densidade do compósito

$Vf$  - fração volumétrica da fibra no compósito

$Vm$  - fração volumétrica da matriz no compósito

Admitindo-se que a ligação fibra-matriz é perfeita; os módulos, diâmetros e espaços entre fibras são uniformes; as fibras são contínuas e paralelas; as fibras e matriz seguem a lei de Hooke e o compósito não possui vazios, pode-se determinar as propriedades de módulo na direção da fibra ( $E_1$ ) e na direção transversal à fibra ( $E_2$ ), o coeficiente de Poisson ( $\nu_{12}$ ) e o módulo de cisalhamento  $G_{12}$  pelas equações 2.29 a 2.32.

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (2.29)$$

$$\frac{1}{E_2} = \frac{\nu_f}{E_f} + \frac{\nu_m}{E_m} \quad (2.30)$$

$$\nu_{12} = \nu_f \nu_f + \nu_m \nu_m \quad (2.31)$$

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{\nu_f}{G_f} + \frac{\nu_m}{G_m} \quad (2.32)$$

Na qual:

$$G_f = \frac{E_f}{2(1+\nu_f)} \quad (2.32 \text{ b})$$

$$G_m = \frac{E_m}{2(1+\nu_m)} \quad (2.32 \text{ c})$$

As equações demonstradas neste capítulo foram utilizadas para o cálculo das propriedades das lâminas; para comparar com os valores reais obtidos e para simulação das propriedades do tubo através da teoria das lâminas já descrita no presente capítulo.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Resinas Epóxi

Para a definição das resinas epóxi do presente trabalho buscou-se aqueles produtos disponíveis no mercado que pudessem atender aos requisitos da aplicação a que se destinam conforme salientado no item 2.1.

Desta forma, a Tabela 3.1 mostra os sistemas de resinas que foram definidos para o trabalho experimental. As respectivas folhas de dados encontram-se no anexo A.

Tabela 3.1: Sistemas de resinas epóxi empregadas (dados de fabricantes)

Fabricante	Tg (°C)	Nome comercial	Viscosidade a 25°C (Pa . s)*	Sistema de Cura
Hexion Química do Brasil	180	Epikote™ 826	6,5-9,5 **	Anidrido
Olin (Blue Cube Brasil Produtos Químicos)	210	Litestone™ 2210E	0,9-1,1	Anidrido
Huntsman Química Brasil	170	Araldite LY 1564	1,0-1,2	Amina

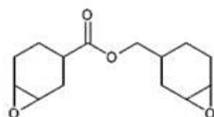
\* Viscosidade da mistura resina e agente de cura.

\*\* Viscosidade apenas da resina (viscosidade do agente de cura = 100 – 300 cP a 25°C).

As resinas Epikote™ 826 e Araldite LY 1564 têm como principal componente o diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA), Figura 2.8, conforme MSDS (Material Safety Data Sheet – ficha de informação de segurança par produtos químicos) presente no anexo B. Ambas resinas são indicadas para uso em materiais compósitos; o catálogo da resina Epikote™ 826 (Anexo A) destaca o seu uso para reforços em tubos compósitos (GRE), além de utilização em moldes adesivos para a construção civil e indústria aeroespacial, enquanto que o catálogo da resina Araldite LY 1564 destaca seu uso para em compósitos industriais e estruturais.

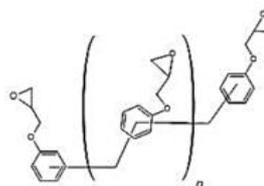
Já na composição da resina Litestone™ 2210E o principal componente (50-75% em massa) é o 3,4 epóxiciclohexilmetil, 3,4 epoxiciclohexano carboxilato, identificado na Figura 3.1; também estão identificados na Figura 3.1 os componentes majoritários nela presentes bem como o agente de cura conforme Anexo B. O catálogo da resina Litestone™ 2210E destaca sua aplicação para a construção de vasos de pressão, tubos e tanques em compósitos aplicados na indústria de óleo e gás e química.

#### 1. Precursores monoméricos da resina epóxi Litestone 2210E



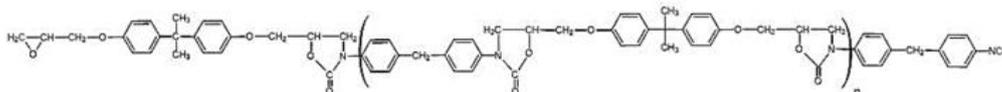
3,4-epóxi ciclohexil metil 3,4-epóxi ciclohexano carboxilato

Número CAS: 2386-87-0  
Concentração: >50,0 - <75,0%  
Massa molar: 252,31 g/mol  
Densidade: 1,17 g/cm<sup>3</sup> a 25°C



{{(poli [(fenil glicidil éter) -co-formaldeído]): produto de reação entre fenol-formaldeído Novolac e epícloridrina

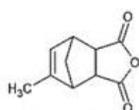
Número CAS: 28064-14-4  
Concentração: >5,0 - <15,0%  
Massa molar: 570 g/mol  
Densidade: 1,23 g/cm<sup>3</sup> a 25°C



(isocianato benzeno) oxirano, 2,2 - ((1-metiletilideno) bis (4,1-fenileno oximetileno)) bis-, polímero com 1,1-metilenobis: produto de reação entre Bisfenol A, epícloridrina e metileno difenil diisocianato (DGEBA-MDI)

Concentração: >5,0 - <15,0%  
Número CAS: 60684-77-7

#### 2. Agente de cura



Anidrido metil nadic (NMA)  
Número CAS: 25134-21-8

Figura 3.1: Número do CAS, estrutura química e propriedades dos componentes da matriz epóxi Litestone™ 2210E

### 3.1.2 Fibra de Vidro

A fibra de vidro utilizada no presente trabalho foi a SE2307 1100 fabricada pela empresa Owens Corning, cujas propriedades encontram-se na Tabela 3.2 e a folha de dados no Anexo C.

Tabela 3.2: Propriedades da Fibra SE2307 1100 [27]

Fibra	Tex (g/km)	Perda ao fogo (% m/m)	Umidade (% m/m)	Módulo do vidro Advantex® (GPa)	Densidade do vidro Advantex® (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente de Poisson [39] Riaño
SE2307 1100	1100	0,6	0,1	81	2,62	0,25

## 3.2 Métodos

A abordagem experimental consistiu de três etapas consecutivas, a saber: i) avaliação termo-mecânica (DMA) e da viscosidade dos sistemas de resina epóxi empregados; ii) processamento e caracterização mecânica, térmica e microestrutural de compósitos epóxi/fibra de vidro na forma de placas planas e de discos produzidos por enrolamento filamentar e; iii) processamento, caracterização mecânica, térmica e simulação computacional da resistência mecânica de tubos em compósito epóxi/fibra de vidro produzidos por enrolamento filamentar. O detalhamento de cada uma das etapas do trabalho é realizado a seguir.

### 3.2.1 Avaliação dos sistemas de resina epóxi

A avaliação inicial do sistema de resinas epóxi foi realizada através de análise térmica dinâmico mecânica (DMA) conforme normas ASTM D4065-12 e D7028-07. Para tanto, foram produzidas amostras dos sistemas epóxi em forma de placas retangulares moldadas nas seguintes dimensões:  $70,0 \pm 4,0 \times 10,0 \pm 1,0 \times 3,0 \pm 0,5$  mm (comprimento x largura x espessura); e curadas nas condições padrão, indicadas pelos fabricantes, conforme mostrado na Tabela

3.3. As amostras foram pesadas e acondicionadas em dessecador por, no mínimo 24 horas, conforme ASTM D5229/D5229M-14 – Procedimento D, e pesadas novamente para verificar a absorção de umidade. Após isso, foram acondicionadas em sacos plásticos fechados. Em seguida, foram ensaiadas no equipamento DMA Q800, TA Instruments, no modo flexão de barra duplamente engastada (*dual cantilever*), com amplitude de deformação de 0,1%, utilizando-se frequência de 1 Hz e taxa de aquecimento de 3°C/min, em intervalos de temperaturas adequados para a determinação da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) de cada uma das amostras.

Tabela 3.3: Condições de cura das resinas epóxi

Fabricante	Sistema de Resina	Condições de Cura (tempo (h) / Temperatura (°C))
Hexion Química do Brasil	Epikote™ 826	5/90 + 1/120 + 2/180
Olin (Blue Cube Brasil Produtos Químicos)	Litestone™ 2210E	2/90 + 2/150 + 2/210
Huntsman Química Brasil	Araldite LY 1564	0,5/130 + 12/160

A avaliação da viscosidade de cada uma das resinas foi realizada através de um reômetro TA Instruments, modelo AR-G2, com geometria de placas paralelas, operado em regime permanente. Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente sob atmosfera de nitrogênio gasoso seco alimentado continuamente a um fluxo de 10 mL/min, na faixa de taxas de cisalhamento de 1 a 100 s<sup>-1</sup>.

### 3.2.2 Processamento e caracterização dos compósitos

#### 3.2.2.1 Enrolamento em placa plana

Nesta etapa os compósitos epóxi/fibra de vidro foram produzidos por enrolamento filamental circunferencial na forma de placas planas com feixes de fibras embebidos em cada uma das resinas epóxi (Tabela 3.1) e orientados unidirecionalmente, com variação de ângulo de enrolamento menor que  $0,5^\circ$ , conforme mostrado nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4. O controle da fração mássica de vidro, buscando valores próximos à 70% em massa, foi realizado através do raspador/guia-fio. Foram utilizadas 4 camadas de fibra de vidro tex 1100 g/km para uma espessura de laminado de aproximadamente 3 mm.

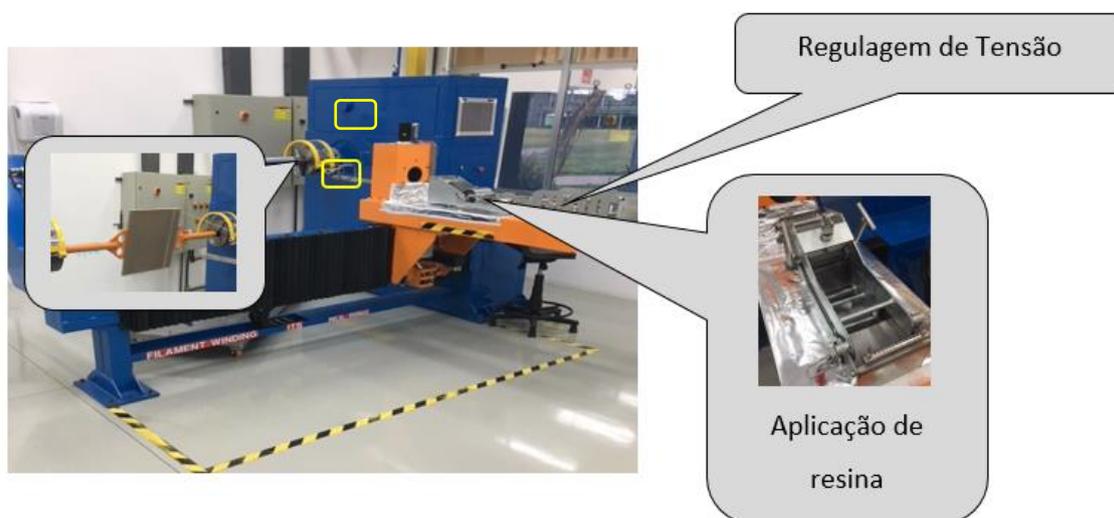


Figura 3.2: Equipamento de Enrolamento Filamental

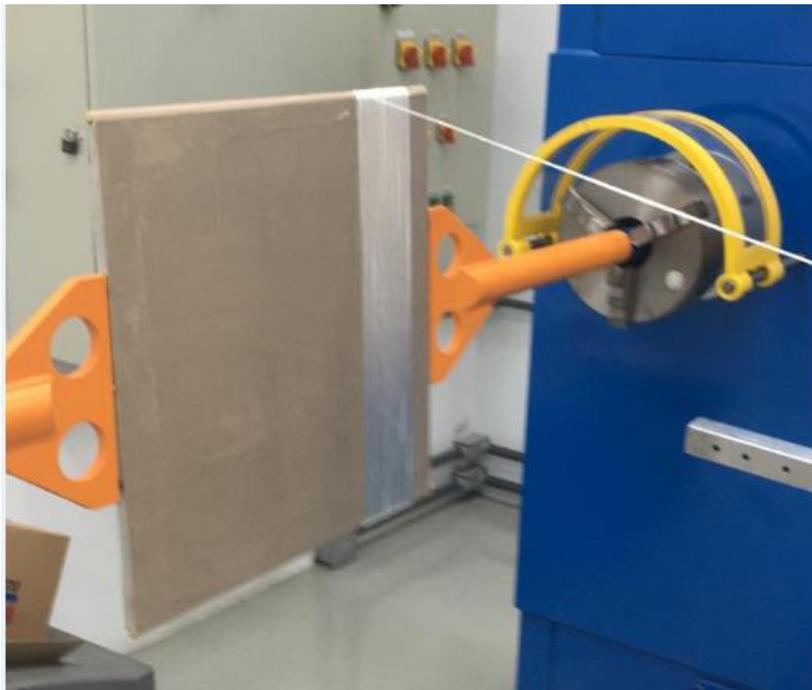


Figura 3.3: Detalhe do enrolamento circunferencial de placa plana por fios contínuos de fibra de vidro.

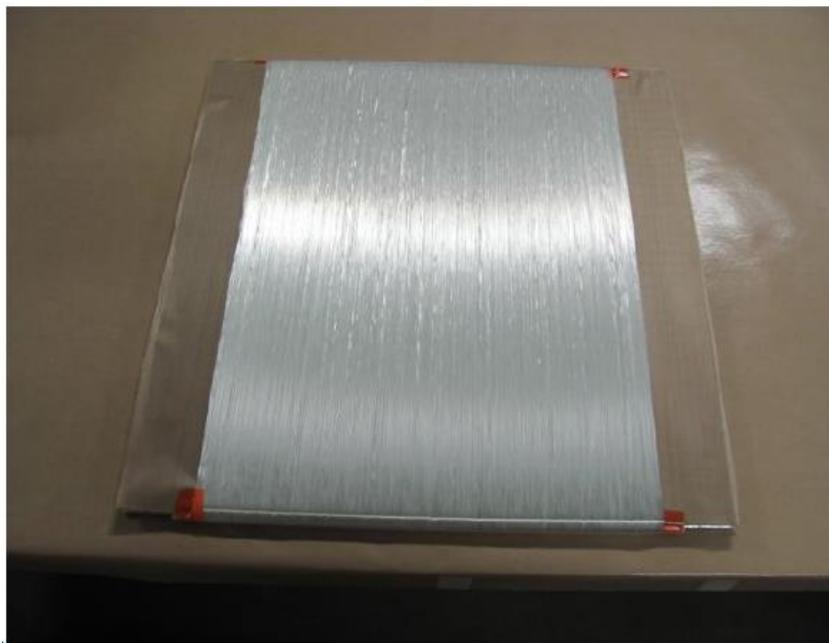


Figura 3.4: Fios contínuos de fibra de vidro enrolados em placa plana

Após a etapa de enrolamento filamentar circunferencial dos compósitos, cada uma das placas foi curada em estufa com perfil de temperatura indicado

por cada um dos fabricantes das resinas (Tabela 3.3). A Figura 3.5 mostra cada uma das placas desmoldadas dos compósitos após a etapa de cura.

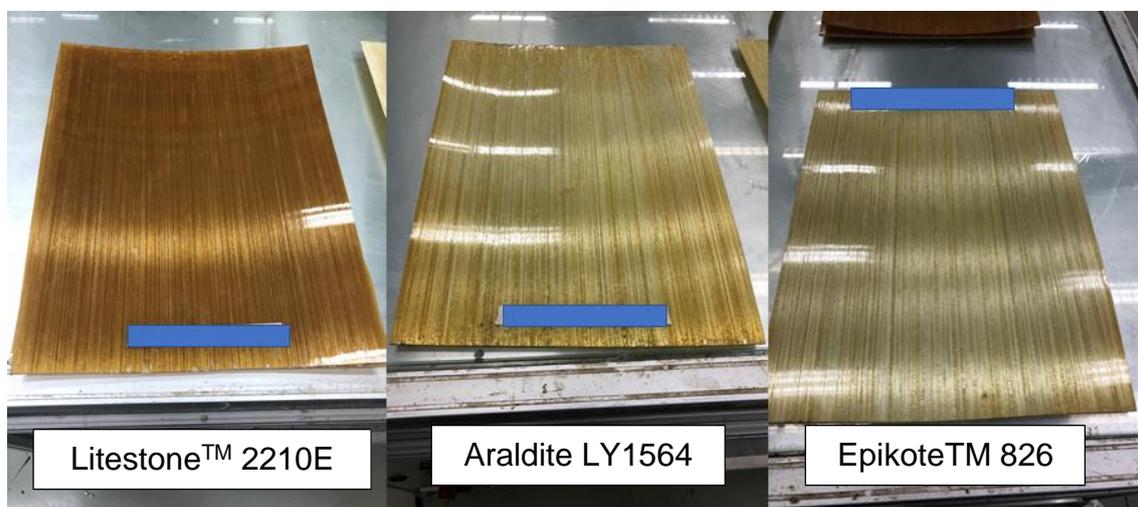


Figura 3.5: Exemplo de cada uma das placas produzidas

Cada uma das placas produzidas foi analisada com o auxílio de um microscópio óptico marca Nikon, modelo SMZ 745, com ampliação de 50 x, a fim de se identificar presença de bolhas, vazios e falhas do processo de enrolamento que pudessem comprometer o desempenho de cada um dos compósitos.

Além disso, em todas as amostras destes compósitos de GRE foi determinada a fração mássica de fibra de vidro e, conseqüentemente, de resina, utilizando-se a metodologia descrita na ISO 1172 – 1996. Nesta análise duas amostras de cada um dos corpos de prova foram retiradas, submetidas à temperatura a um processo de calcinação em mufla a 600°C. Em cada uma das etapas foram medidas as massas resultantes para o cálculo da fração mássica de fibra de vidro e resina dos compósitos.

### 3.2.2.2 Ensaio mecânico dos corpos de prova dos compósitos na forma de placas planas

Foram confeccionados corpos de prova para ensaios mecânicos na direção de orientação da fibra (0°) e na direção transversal à fibra (90°), a partir das placas obtidas conforme descrição do item 3.2.2.1.

Os ensaios de resistência à tração foram realizados com procedimento baseado na norma ISO 527-5-2009, utilizando-se uma máquina universal de ensaios marca Instron, modelo 5563, equipada com célula de carga de 30 kN e operada a velocidade de deslocamento da travessa de 2 mm/min e 1 mm/min para os ensaios na direção da fibra e transversal à fibra, respectivamente, em sala climatizada com temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . Para cada uma das direções (0° e 90°) foram utilizados 5 corpos de prova, conforme previsto pela norma ISO 527-5-2009. As amostras de formato retangular foram preparadas com as dimensões dadas pelas Tabelas 3.4 e 3.5. Assim, foi determinada a curva tensão-deformação para cada uma das amostras e os valores de módulo de Young em tração foram calculados.

Tabela 3.4: Dimensões das amostras para os ensaios de tração na direção da fibra.

Dimensões	(mm)
Espessura	3
Largura	15
Comprimento	250

\* Espessura diferente da recomendada pela ISO 527-2009 para adequar a ordem de grandeza dos resultados.

Tabela 3.5: Dimensões das amostras para os ensaios de tração na direção transversal à fibra.

Dimensões	(mm)
Espessura	3
Largura	25
Comprimento	250

\* Espessura diferente da recomendada pela ISO 527-2009 para adequar a ordem de grandeza dos resultados.

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados com base na norma ASTM D790-17, utilizando-se uma máquina universal de ensaios marca Instron, modelo 5563, equipada com célula de carga de 30 kN e operada a velocidade de deslocamento de 1,3 mm/min (calculada conforme a referida norma), em sala climatizada com temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . Foram produzidos corpos de prova a partir da placa plana conforme o procedimento descrito no item 3.2.2.1. Para cada uma das direções da fibra no laminado ( $0^\circ$  e  $90^\circ$ ) foram usados 5 corpos de prova cujas dimensões encontram-se na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Dimensões das amostras para os ensaios de flexão

Dimensões	(mm)
Espessura	3
Largura	25
Comprimento	80
Distância entre apoios	50

Os ensaios de resistência ao impacto Izod foram realizados com base na norma ASTM D256-10, utilizando-se pêndulo Instron CEAST 9050, com energia de 22 J em sala climatizada com temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . Foram utilizados 10 corpos de prova para cada uma das direções: longitudinal e transversal. As amostras, de formato retangular, com entalhe, foram preparadas com as dimensões mostradas na Tabela 3.7, conforme Figura 3.6.

Tabela 3.7: Dimensões das amostras para os ensaios de impacto

Dimensões	(mm)
A1- Distância entalhe lado menor	10
B1 - Distância entalhe lado maior	32
C1 - Comprimento total	63
D1- Raio de curvatura do entalhe	0,25
ES1 - Largura da amostra	12,7
FES - Espessura da amostra	3

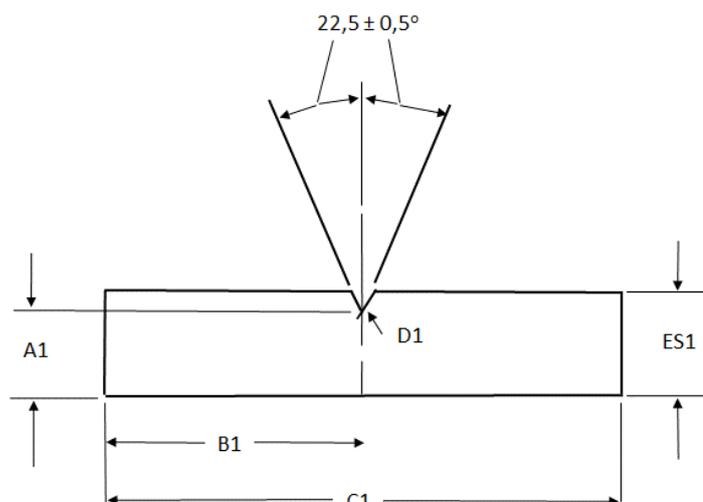


Figura 3.6: Amostra para ensaio de impacto Izod com entalhe

### 3.2.2.3 Microscopia eletrônica de varredura

A avaliação microestrutural dos compósitos produzidos em placas planas foi realizada em microscópio FEI Inspect operado a 25 kV equipado com detector de elétrons secundários (SE). Os corpos de prova dos compósitos com orientação da fibra ( $0^\circ$ ) foram submetidos à carregamento de tração até 70% do valor médio de resistência obtido na respectiva análise. Em seguida, os corpos de prova foram fraturados com auxílio de um pêndulo de impacto na direção da transversal à fibra. As amostras foram coladas em suporte de alumínio, recobertas com fina camada de ouro e aterradas com suspensão coloidal de prata.

### 3.2.2.4 Ensaio de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento do feixe curto)

Os ensaios de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento de feixe curto) foram realizados com base na norma ASTM D2344, utilizando-se uma máquina universal de ensaios marca Instron, modelo 5563, equipada com célula de carga de 30 kN e operada a velocidade de deslocamento da travessa

de 1 mm/min, em sala climatizada com temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . Foram utilizados 5 corpos de prova para cada formulação. O objetivo deste ensaio foi avaliar a interação entre a fibra de vidro e matriz de resina epóxi comparando-se os diferentes compósitos no que diz respeito à interação interlaminar.

A produção dos corpos de prova para a determinação da tensão de rompimento do feixe curto foi realizada com auxílio da máquina de enrolamento filamentar AUMEK OWC. Foram produzidos inicialmente anéis utilizando-se uma mecha de fibra de vidro SE2307 1100 tex buscando porcentagem mássica de fibra próxima a 70%; a Figura 3.7 mostra o sistema de aplicação de resina e enrolamento da fibra umectada com a resina e o molde utilizado. Os corpos de prova foram cortados nas dimensões mostradas na Figura 3.8. Na Figura 3.9 é ilustrado um exemplo do ensaio em execução.

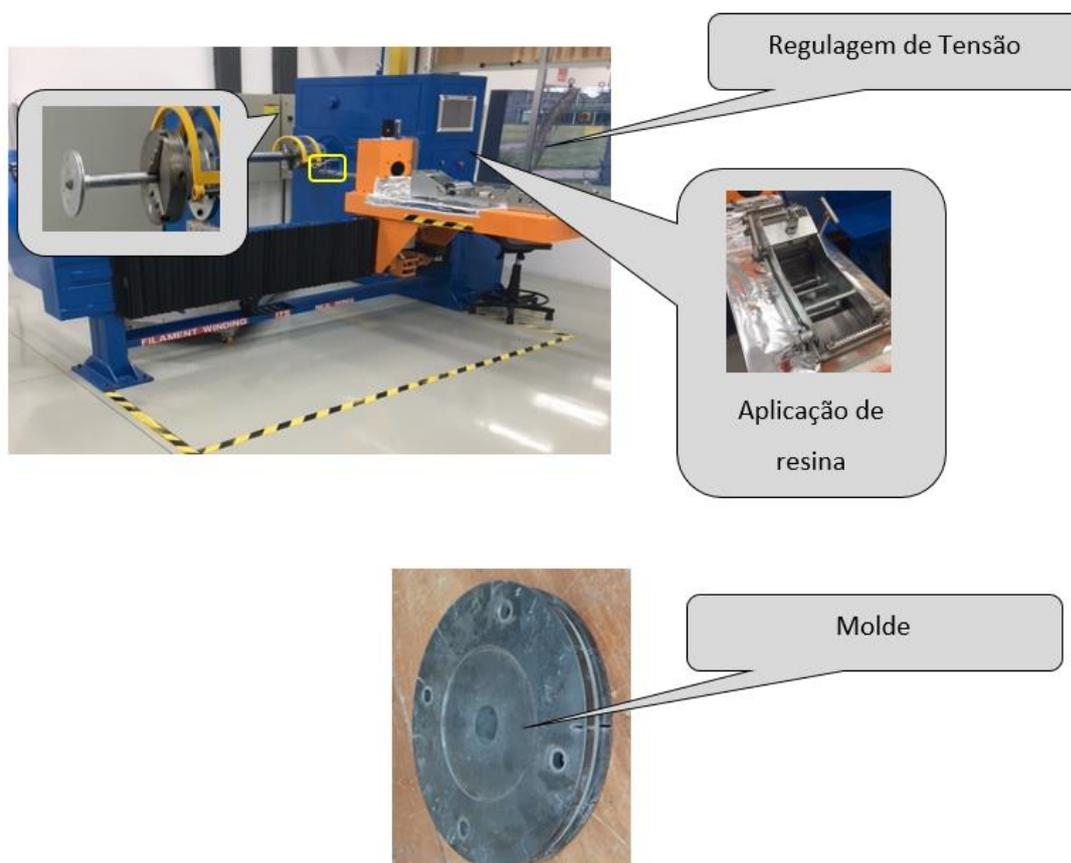


Figura 3.7: Produção dos anéis compósitos

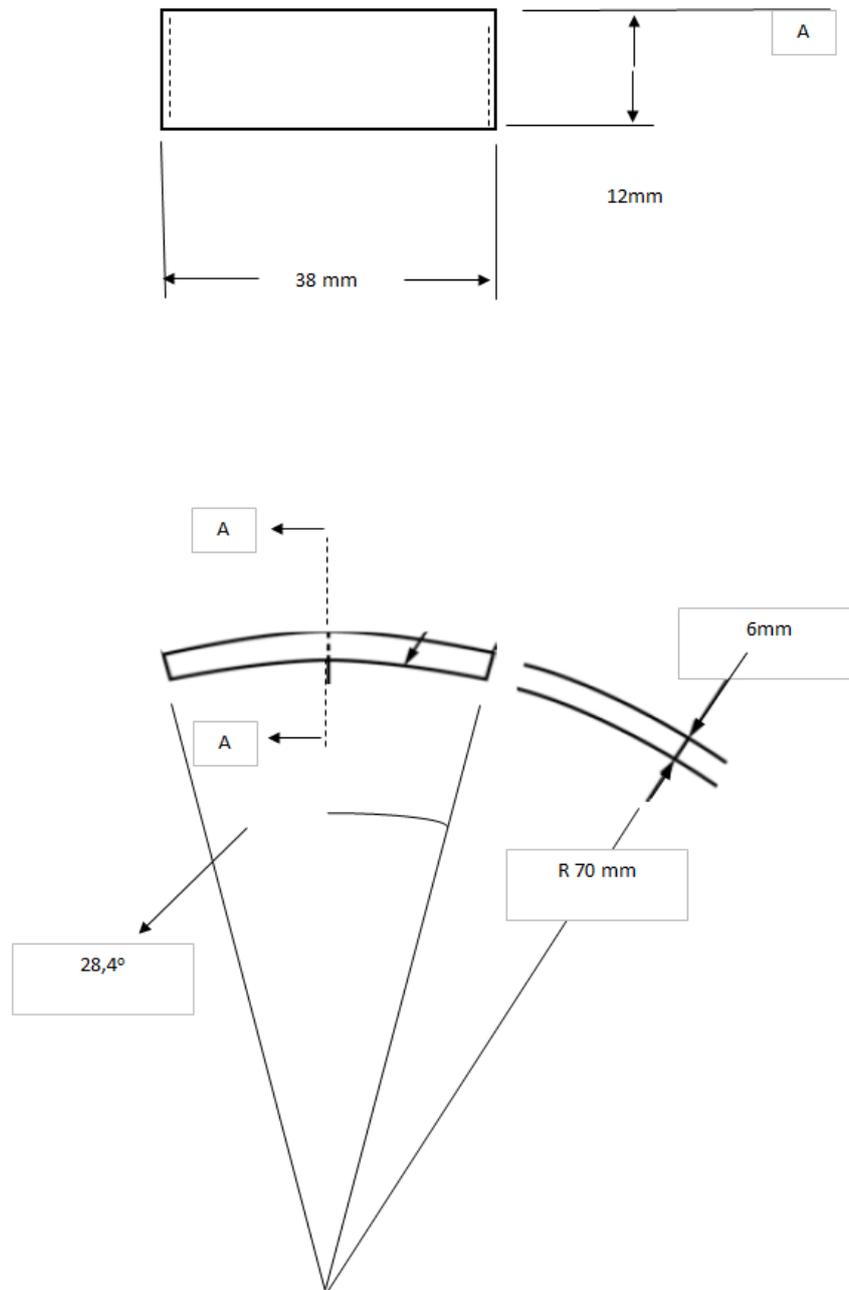


Figura 3.8: Geometria e dimensões das amostras para o ensaio de resistência ao cisalhamento



Figura 3.9: Exemplo de execução de ensaio de resistência ao cisalhamento

A fração mássica de fibra de vidro também foi medida conforme metodologia descrita no item 3.2.2.1 (ISO 1172 – 1996).

### 3.2.3 Processamento e caracterização dos tubos

#### 3.2.3.1 Enrolamento filamentar

Foram produzidas cinco amostras de cada configuração selecionada (resina / fibra de vidro) na máquina AUMEK OWC utilizando-se os parâmetros mostrados na Tabela 3.8.. As Figuras 3.10 e 3.11 mostram o equipamento e o processo de enrolamento filamentar helicoidal de uma das amostras em curso.

Tabela 3.8: Parâmetros utilizados para enrolamento filamentar

Parâmetro de Processo	Valor
Velocidade (rpm)	30
Número de bobinas (un.)	12
Ângulo barra tensão 1 – prateleira (°)	45
Posição barra tensão banheira 1 (mm)	55
Posição barra tensão banheira 2 (mm)	45
Posição barra tensão banheira 3 (mm)	55
Posição barra tensão banheira 4 (mm)	45
Posição barra tensão banheira 5 (mm)	55
Posição barra tensão banheira 6 (mm)	65

As dimensões dos corpos de prova dos tubos produzidos são apresentadas na Tabela 3.9; para a respectiva confecção, os tubos foram cortados, retirando-se cada uma das extremidades (destacadas na Figura 3.10) uma vez que a construção das mesmas difere do corpo do tubo por limitação do equipamento de enrolamento filamentar utilizado. O processo de cura dos tubos foi conduzido em estufa com aquecimento externo (Figura 3.12) nas condições de tempo e temperatura indicadas na Tabela 3.3, fornecidas pelos respectivos fabricantes e também utilizadas na confecção das placas planas para avaliação dos sistemas de resina epóxi (item 3.2.1).

Tabela 3.9: Dimensões dos tubos, conforme ASTM D-1599 [12]

Dimensões	Valor (mm)
Diâmetro externo	110,0
Diâmetro interno	101,6
Espessura	4,2
Comprimento	550,0



Figura 3.10: Equipamento para processo de enrolamento filamental



Figura 3.11: Detalhe de dois momentos distintos do processo de enrolamento filamental helicoidal para a produção dos tubos compósitos



Figura 3.12: Estufa para cura dos tubos compósitos

Amostras anelares de cada um dos tubos confeccionados foram retiradas para verificação de eventuais falhas no processo de enrolamento filamentar. Estas amostras foram analisadas com o auxílio de um microscópio óptico marca Nikon, modelo SMZ 745, ampliação de 50 x. Além disso obteve-se as frações mássicas de fibra de vidro e resina conforme norma (ISO 1172 – 1996) descrita no item 3.2.2.1.

### 3.2.3.2 Análise térmica por DSC do processo de cura dos tubos

As temperaturas de transição vítrea das matrizes de resina epóxi dos compósitos na forma de tubos tanto na região da parede externa quanto na interna foram determinadas por DSC, conforme Anexo F da norma API 15HR [7], com o objetivo de avaliar o processo de cura. Utilizou-se um equipamento Netzsch, DSC 214, na faixa de temperatura entre 25°C e 250°C, taxa de aquecimento de 40°C/min, sob atmosfera de nitrogênio (vazão de 40 a 60 mL/min), com massa de amostra de aproximadamente 14 mg e cadinho do tipo Concavus Pan Al.

### **3.2.3.3 Ensaio mecânico dos tubos**

A resistência mecânica dos tubos compósitos foi avaliada conforme a norma ASTM D-1599 [12]. Cada amostra foi submetida à um aumento de pressão próximo à 0,35 MPa/s para que a ruptura do tubo ocorresse entre 60 e 70 s [12]. Foram medidas a pressão de ruptura e o respectivo tempo.

### **3.2.4 Previsão de propriedades**

#### **3.2.4.1 Previsão das propriedades dos compósitos (placas)**

As propriedades dos compósitos foram estimadas utilizando-se o equacionamento descrito no item 2.5.3. Os cálculos foram realizados tanto para as placas planas produzidas quanto para os tubos.

#### **3.2.4.2 Previsão da pressão máxima admissível nos tubos**

Para a estimativa da pressão máxima admissível nos tubos foi utilizada a teoria das lâminas, descrita no item 2.5.2 e confeccionada uma planilha de cálculo no software Excel com a sequência lógica demonstrada na Figura 3.13. Para o cálculo foi necessária a utilização das constantes elásticas do material cujo detalhamento dos dados encontra-se no item 4.4.3.

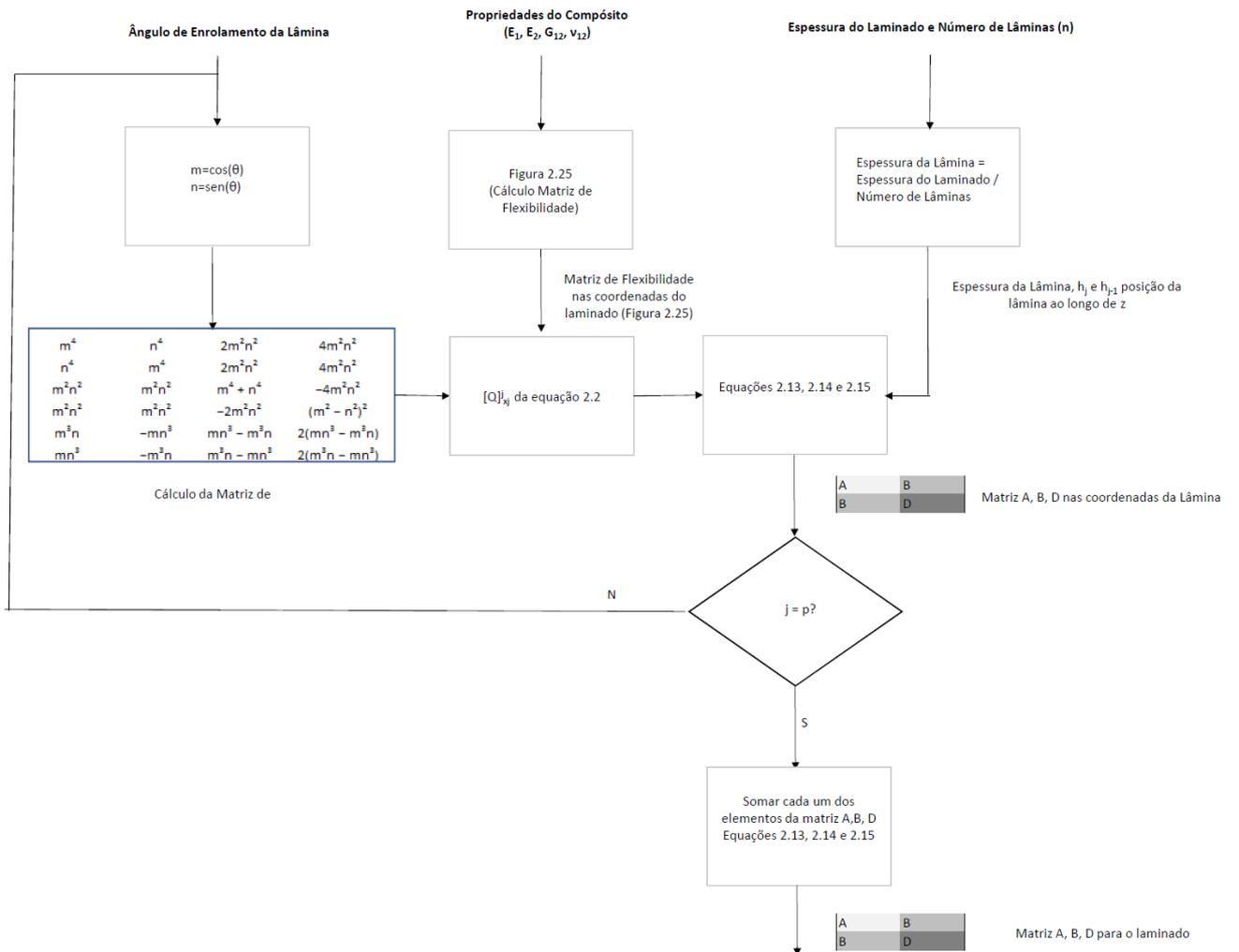


Figura 3.13: Sequência de cálculo da pressão máxima dos tubos

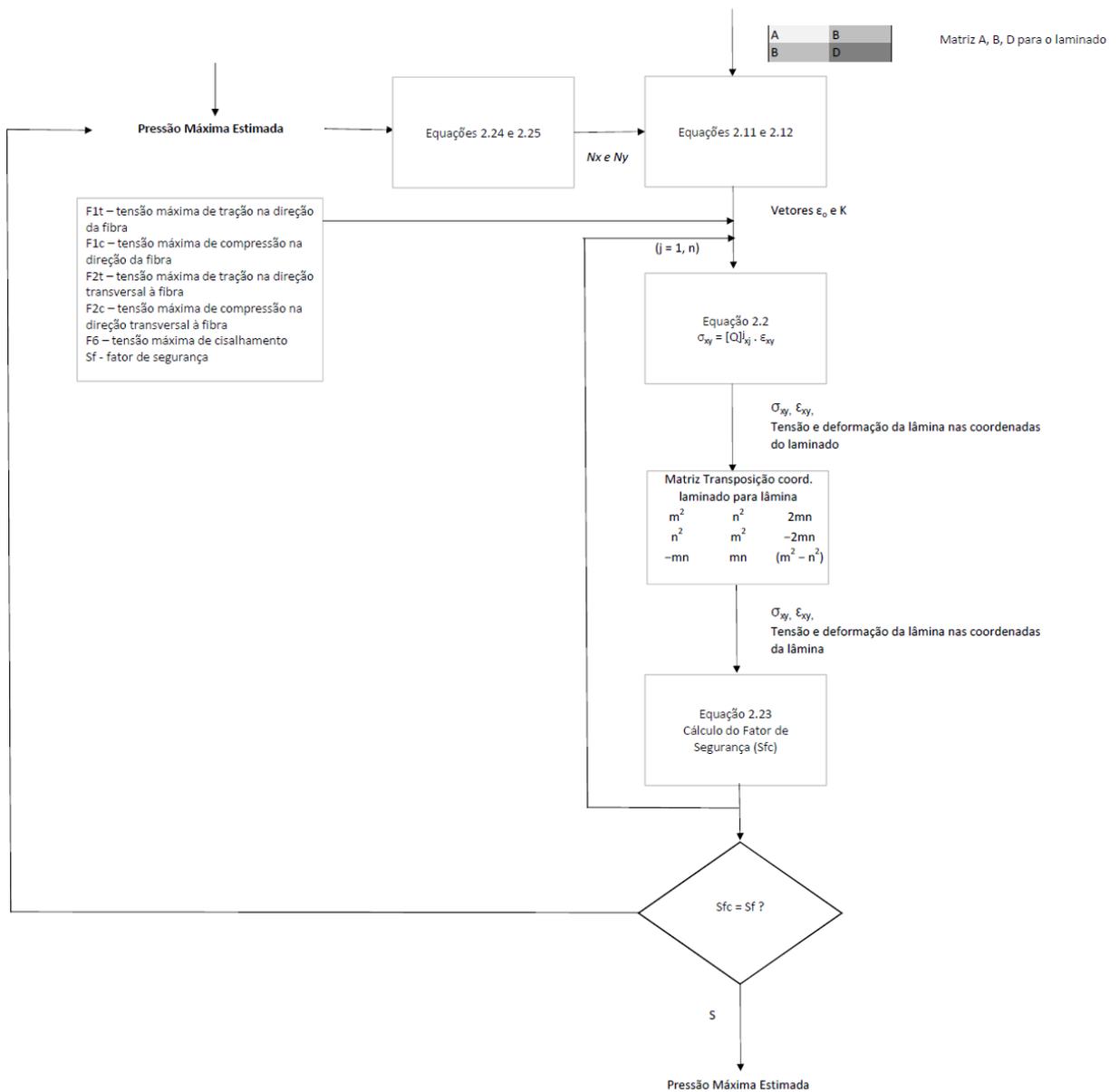


Figura 3.13 (continuação): Sequência de cálculo da pressão máxima dos tubos



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação dos sistemas de resina epóxi

#### 4.1.1 *Análise térmica dinâmico mecânica (DMA)*

A avaliação inicial dos sistemas de resina epóxi foi realizada através de análise térmica dinâmico mecânica (DMA) conforme normas ASTM D4065-12 e D7028-07.

A Figura 4.1 apresenta curvas do módulo de armazenamento ( $E'$ ) e da tangente de perda ( $\tan \delta = E'' / E'$ ) de amostras curadas segundo o protocolo descrito na Tabela 3.3. A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) foi calculada a partir do valor máximo de  $\tan \delta$  (Tabela 4.1). Os resultados mostraram coerência entre os valores obtidos experimentalmente e os esperados de acordo com os fabricantes das resinas. Foram confirmados os valores de temperatura de transição vítrea mais baixos das resinas Epikote™ 826 e Araldite LY 1564 cujo precursor, DGEBA, tem em sua estrutura moléculas aromáticas (anéis benzênicos). Já a resina Litestone™ 2210E apresenta como precursores (Figura 3.1) moléculas com maior concentração de estruturas cíclicas, o que confere maior rigidez à macromolécula reticulada final, resultando em maior valor de  $T_g$ . Em função disso, observa-se também, pelas curvas do módulo de armazenamento (Figura 4.1), maior rigidez da resina Litestone™ em condições de temperatura maiores (por exemplo, próximas a 200°C). Nos três casos a temperatura de transição vítrea obtida permite a aplicação das resinas nas condições preconizadas na Tabela 1.1 que, conforme Rodriguez [8], deve ser entre 40 °C e 50 °C superior à temperatura de serviço.

Tabela 4.1: Temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) medidas por DMA dos sistemas de resina epóxi curados segundo o protocolo da Tabela 3.3.

Resina	$T_g$ (°C) medida no pico de $\tan \delta$
Epikote™ 826	188
Litestone™ 2210E	234
Araldite LY 1564	170

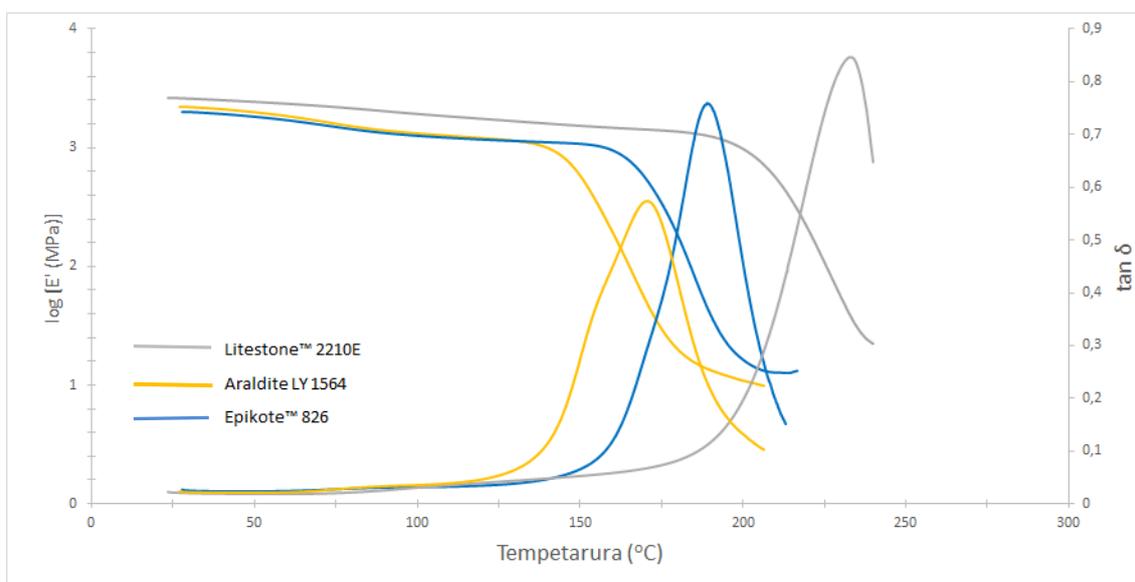


Figura 4.1: Curvas de DMA de módulo de armazenamento ( $E'$ ) e  $\tan \delta$  dos sistemas de resina epóxi curados segundo o protocolo da Tabela 3.3.

#### 4.1.2 Viscosidade das Resinas

As curvas de viscosidade em função da taxa de cisalhamento a temperatura ambiente de cada uma das misturas resina/endurecedor não curadas são mostradas na Figura 4.2.

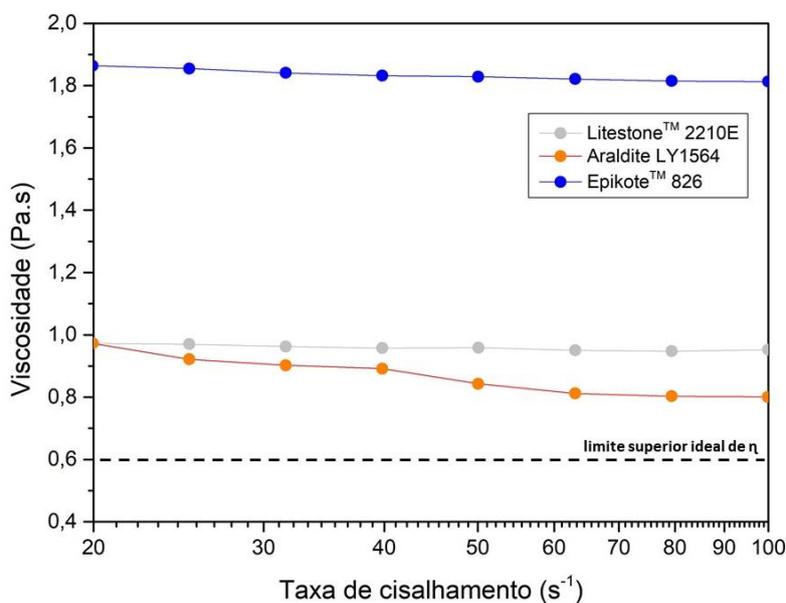


Figura 4.2: Curvas de viscosidade em função da taxa de cisalhamento para as resinas estudadas. A linha tracejada em 0,6 Pa.s refere-se ao limite superior de viscosidade do resinas epóxis para processo de enrolamento filamentar de compósitos com fibras de vidro [40].

Os resultados encontrados mostraram-se abaixo daqueles previstos pela Tabela 3.1 para a resina Araldite LY 1564, porém sem prejuízo identificado no processamento dos compósitos do presente trabalho. A resina Litestone™ 2210E teve os resultados obtidos na mesma faixa de viscosidade prevista em catálogo (Tabela 3.1) e seu processamento durante os experimentos não apresentou dificuldades. A resina Epikote™ 826 apresentou viscosidade inferior àquela prevista pela regra de mistura simples utilizando-se os valores da viscosidade da resina e endurecedor destacados na Tabela 3.1, porém foi a resina que apresentou o maior valor de viscosidade, entre as resinas estudadas, o que pode explicar a necessidade de ajustes de tensionamento das fibras durante o processamento/produção dos respectivos corpos de prova, evitando que as mesmas se rompessem. É importante salientar que a viscosidade da resina epóxi tem um papel importante tanto no processamento quanto na molhabilidade das fibras que pode ser ajustada por aquecimento da banheira do equipamento de enrolamento filamentar para otimização das propriedades

mecânicas do compósito. Em cada um dos casos as viscosidades são superiores ao valor máximo indicado por Flores, Ayaude, Riccardi e Fasce [40] de 600 cP para garantir processabilidade e molhabilidade dos filamentos de fibra de vidro, com isso há um potencial de melhoria possível para o processamento das resinas o que poderá levar a incremento nos resultados de propriedades mecânicas dos compósitos em função da melhoria do processamento e molhabilidade.

## 4.2 Caracterização dos compósitos produzidos em placa plana

### 4.2.1 Teores de mássicos medidos de fibra de vidro

Os teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro obtidos nos compósitos em forma de placas planas são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nos compósitos em forma de placas planas

	Litestone™ 2210E	Araldite LY1564	Epikote™ 826
Teor mássico de fibra de vidro (%)	55 ± 2	62 ± 1	62 ± 2
Teor volumétrico de fibra de vidro (%)	36 ± 1	42 ± 0,5	42 ± 1

Os valores encontrados são inferiores àqueles encontrados em literatura para maximização das propriedades mecânicas de tubos produzidos por enrolamento filamental [11] e daqueles objetivados nos experimentos que pode ser explicado pela geometria do molde de enrolamento; o molde em forma de placa quadrada não permite o empacotamento das mechas de fibra de vidro tão bom quanto o empacotamento em molde cilíndrico.

As diferenças encontradas entre os compósitos com diferentes resinas utilizadas podem ser explicadas pela necessidade de ajustes de processo e experimentos para que sejam atingidos valores mais próximos, o que não foi objeto do presente trabalho.

#### 4.2.2 Propriedades estimadas dos laminados

As propriedades mecânicas dos laminados dos compósitos (Tabela 4.4) foram estimadas a partir do equacionamento descrito no item 2.5.3, empregando-se as proporções vidro/resina medidas em cada uma das placas planas (Tabela 4.2), as propriedades das resinas (Tabela 4.3) e da fibra de vidro Owens Corning SE2307 (Tabela 3.2)..

Tabela 4.3: Propriedades das resinas

Resina	Propriedade	Valor	Referência
Limestone™ 2210E	Densidade	1,20 g/cm <sup>3</sup>	Anexo A (catálogo)
	Módulo a 25°C ( <i>E<sub>m</sub></i> )	2,5 GPa	Figura 4.1 (medido)
	Coefficiente de Poisson ( <i>v<sub>m</sub></i> )	0,4	Riaño [39]
Epikote™ 826	Densidade	1,16 g/cm <sup>3</sup>	Anexo A (catálogo)
	Módulo a 25°C ( <i>E<sub>m</sub></i> )	2,0 GPa	Figura 4.1 (medido)
	Coefficiente de Poisson ( <i>v<sub>m</sub></i> )	0,4	Riaño [39]
Araldite LY 1564	Densidade	1,15 g/cm <sup>3</sup>	Anexo A (catálogo)
	Módulo a 25°C ( <i>E<sub>m</sub></i> )	2,2 GPa	Figura 4.1 (medido)
	Coefficiente de Poisson ( <i>v<sub>m</sub></i> )	0,4	Riaño [39]

Tabela 4.4: Propriedades estimadas para os laminados dos compósitos de acordo com o equacionamento descrito no item 2.5.3

Propriedade	Limestone™ 2210E / SE2307	Araldite LY1564 / SE2307	/ Epikote™ 826 / SE2307
<i>E<sub>1</sub></i> (GPa)	30,7	35,0	35,0
<i>E<sub>2</sub></i> (GPa)	4,0	3,5	3,4
<i>G<sub>12</sub></i> (GPa)	1,5	1,4	1,3
<i>v<sub>12</sub></i>	0,3	0,3	0,3

### 4.2.3 Resistência à tração

O ensaio de resistência à tração das placas planas dos compósitos foi realizado conforme norma ISO 527-5-2009 [43]. A Figura 4.3 apresenta as curvas tensão-deformação típicas dos compósitos na direção da fibra. Os resultados de resistência à tração na ruptura e módulo (calculado com o uso de extensômetro até 1% de deformação) na direção da fibra são mostrados nas Figuras 4.4 e 4.5, respectivamente.

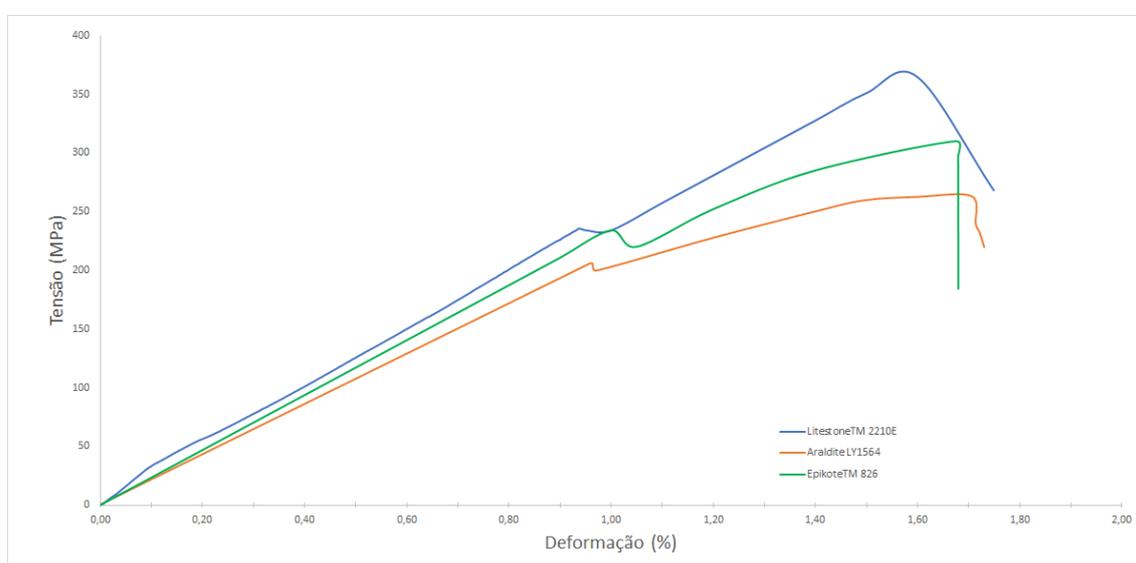


Figura 4.3: Curvas típicas de resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra

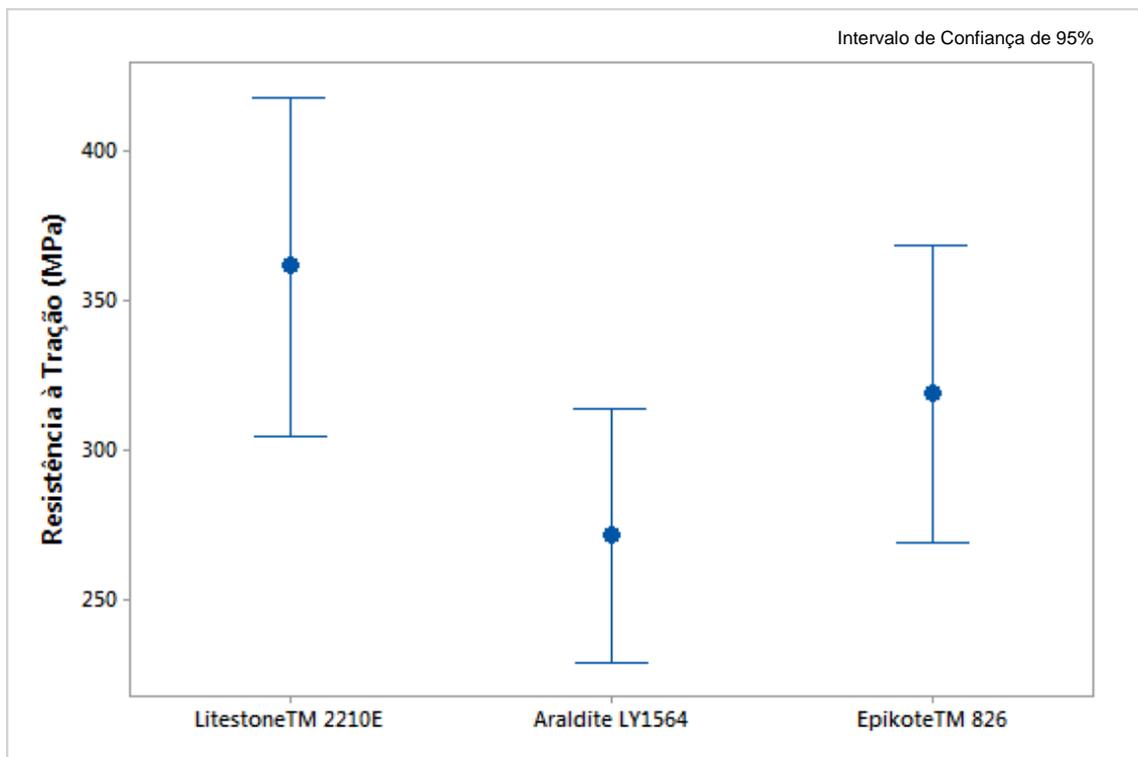


Figura 4.4: Resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra

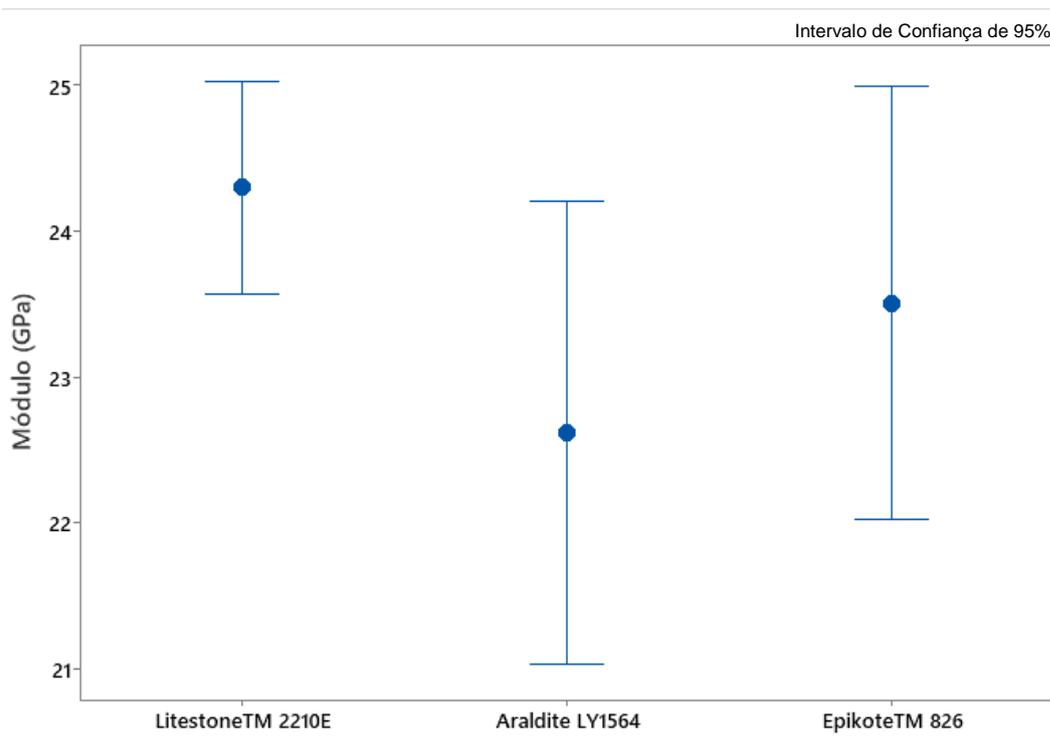


Figura 4.5: Módulo elástico em tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra

A Tabela 4.5 traz uma comparação entre os valores de módulo elástico dos compósitos na direção da fibra obtidos experimentalmente (Figura 4.5) com àqueles estimados no item 3.2.4.1.

Tabela 4.5: Módulos teóricos e experimentais das placas planas dos compósitos na direção da fibra

Resina	Módulo teórico (GPa)	Módulo experimental (GPa)
Litestone™ 2210E	30,7	24,3 ± 1,0
Araldite LY1564	35,0	22,6 ± 2,2
Epikote™ 826	35,0	23,5 ± 2,1

Verifica-se que em todos os casos os valores dos módulos medidos experimentalmente foram menores que os estimados. Isto deve-se possivelmente às imperfeições no laminado relacionadas aos seguintes principais fatores:

- Processo produtivo: durante a etapa de enrolamento não há controle da torção da mecha das fibras e a construção de uma banda perfeita não pode ser admitida. Também não há controle da temperatura do banho e, por consequência da viscosidade da resina o que leva a variações na impregnação da mesma nas fibras e na difusão dela através de cada filamento da mecha da fibra.

- Matérias Primas: a interação química na interface, em função de existirem diferentes resinas e sistemas de cura, leva a meios reacionais que trazem diferenças de propriedades como viscosidade, difusividade e adsorção na superfície do vidro contribuindo para as propriedades locais e do próprio compósito. Corrobora com isso a diferença encontrada nos teores de vidro e resina já mostrados na Tabela 4.2, ressaltando que o procedimento de produção de cada uma das placas foi o mesmo.

Além disso, é muito comum no mercado de compósitos a necessidade de ajuste de processo em função de troca de matéria prima (tanto fibras quanto resinas) para a obtenção das propriedades desejadas e ajuste dos teores de fibra.

Foram detectadas diferenças entre as composições fibra de vidro/resina, porém ressalta-se que o intervalo de confiança da média das amostras é de 95% e há coincidência entre os intervalos calculados, o que não descarta qualquer uma das resinas para futuros estudos e projetos. As curvas típicas de resistência à tração dos compósitos na forma de placas planas na direção transversal à fibra são mostradas na Figura 4.6 enquanto que as Figuras 4.7 e 4.8 mostram, respectivamente, a resistência à tração e o módulo na direção transversal à fibra.

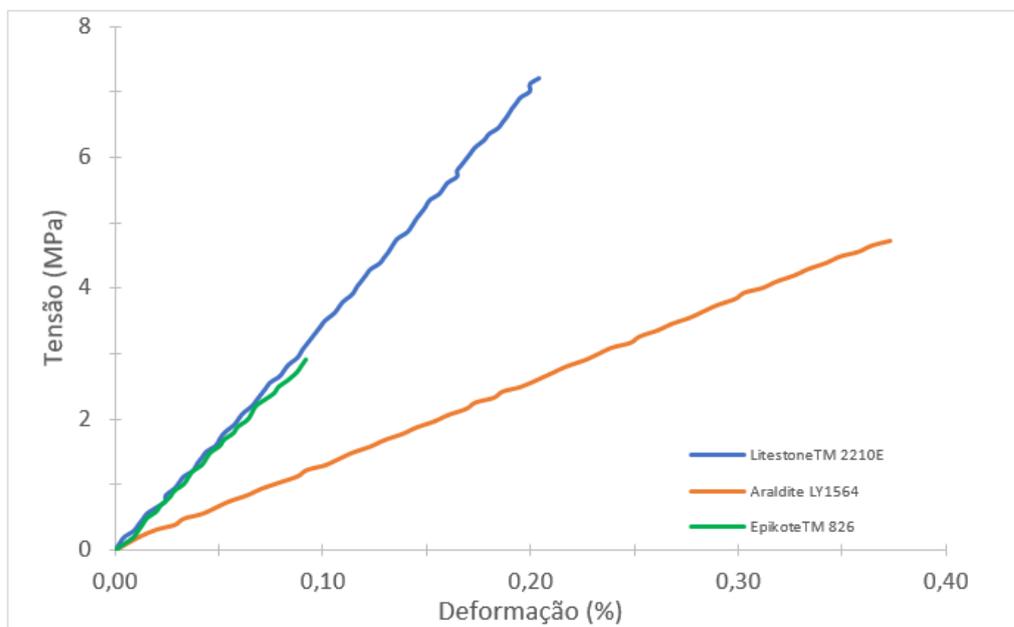


Figura 4.6: Curvas típicas de resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.

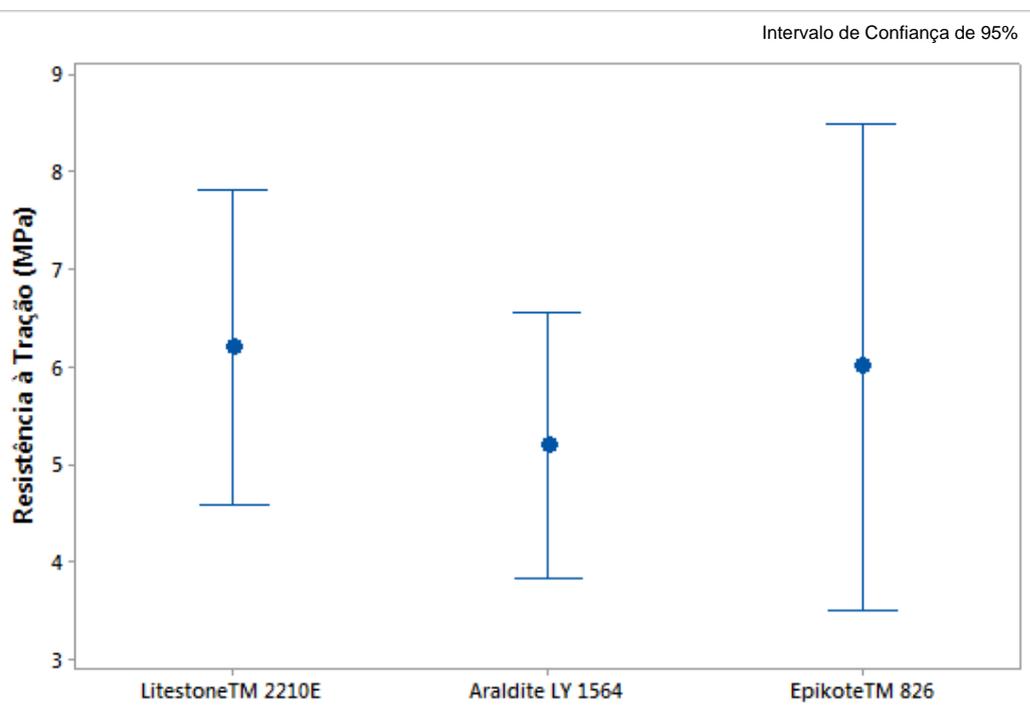


Figura 4.7: Resistência à tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.

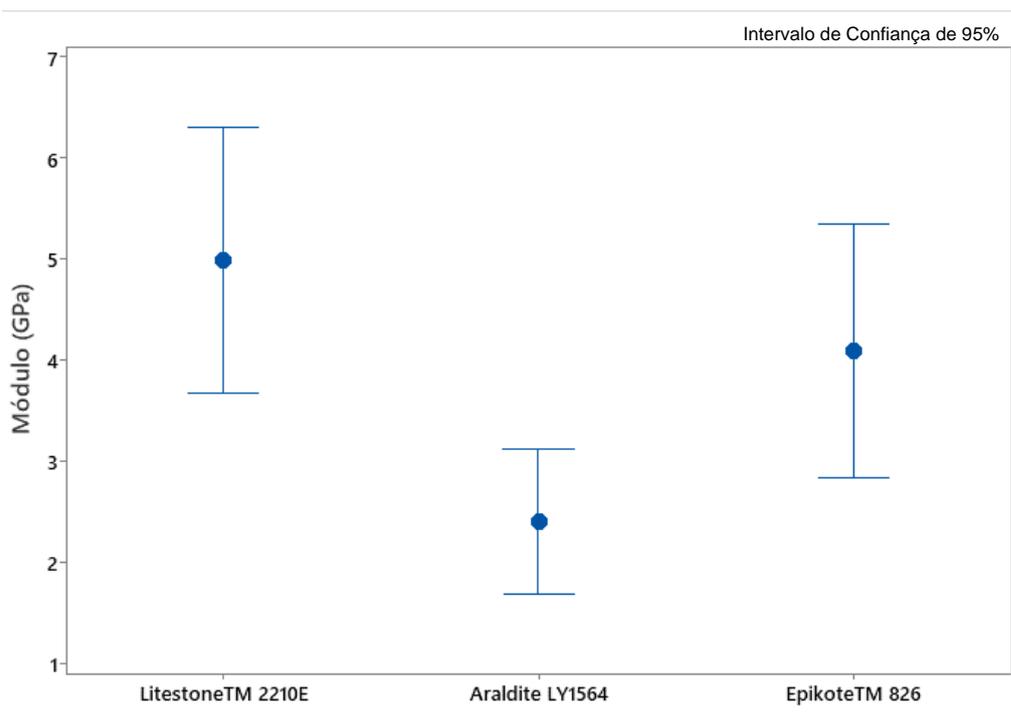


Figura 4.8: Módulo em tração das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da transversal à fibra

As observações feitas anteriormente para os ensaios na direção da fibra, utilizando-se mesmo método de comparação, também são válidas para os resultados de módulos. Porém no caso dos ensaios a 90° em relação à orientação da fibra a contribuição da interação superficial entre o vidro e a resina é mais pronunciada.

A comparação dos resultados teóricos e experimentais, mostrada na Tabela 4.6, indica que a interação fibra de vidro SE2307 1100/ Resina Litestone™ 2210E foi muito boa e atingiu resultado superior ao esperado, o que mostra uma boa adequação desta resina ao recobrimento químico da fibra SE2307 1100. Para o caso da resina Epikote™ 826 verifica-se um resultado levemente inferior ao esperado, porém ainda coerente com as possíveis imperfeições do processo de confecção dos corpos de prova. Para a resina Araldite LY1564 verifica-se um resultado aquém do esperado o que pode denotar falha no recobrimento da superfície da fibra de vidro pela resina, alguma falha grave na confecção dos corpos de prova ou uma inadequação do recobrimento

químico da fibra SE2307 1100 à resina Araldite LY1564, o que pode ser solucionado, por exemplo, por uma adequação da viscosidade da resina através da aplicação de um diluente reativo. Além disso, é importante ressaltar que há coincidência de intervalos de confiança entre as médias das amostras para as resinas o que não elimina qualquer uma delas de futuros estudos e continuidade do projeto.

Tabela 4.6: Módulos teóricos e experimentais dos compósitos na direção transversal à fibra

<b>Resina</b>	<b>Módulo Teórico (GPa)</b>	<b>Módulo experimental (GPa)</b>
Litestone™ 2210E	4,0	4,9 ± 1,0
Araldite LY1564	3,5	2,4 ± 0,5
Epikote™ 826	3,4	4,1 ± 1,0

#### **4.2.4 Resistência à flexão**

As curvas tensão x deformação em flexão típicas obtidas em cada um dos ensaios nas direções 0 e 90° em relação à fibra são mostradas nas Figuras 4.9 e 4.10, respectivamente.

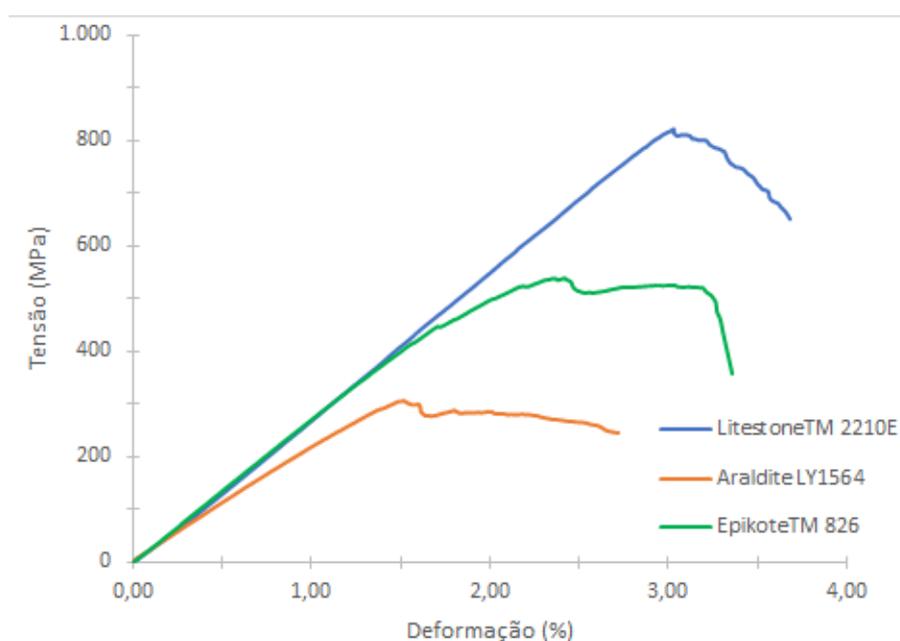


Figura 4.9: Curvas típicas de tensão de flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.

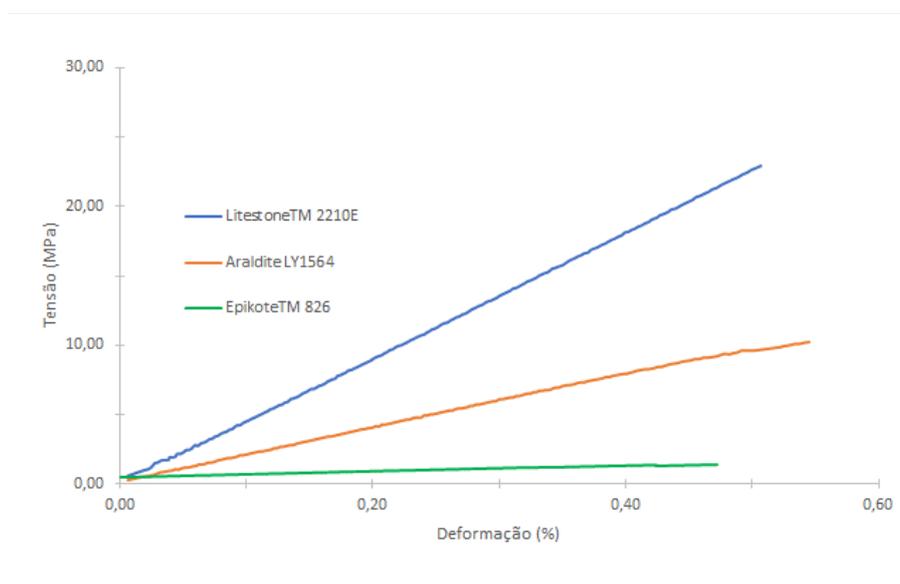


Figura 4.10: Curvas típicas de tensão de flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram, respectivamente, os valores dos módulos em flexão na direção da fibra e transversal à fibra das placas planas dos compósitos.

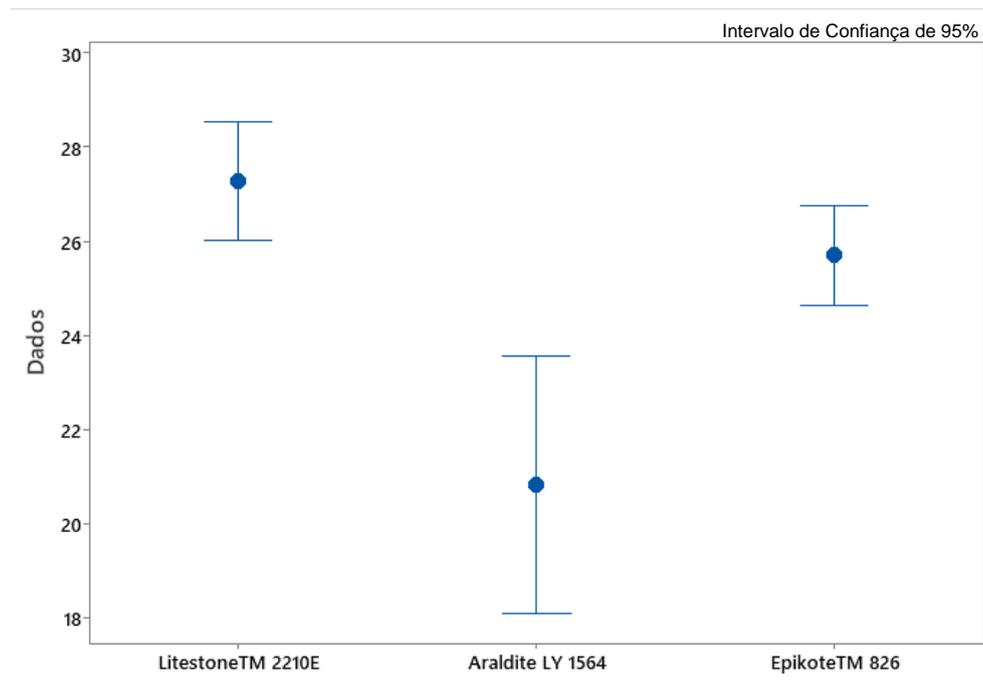


Figura 4.11: Módulo em flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra.

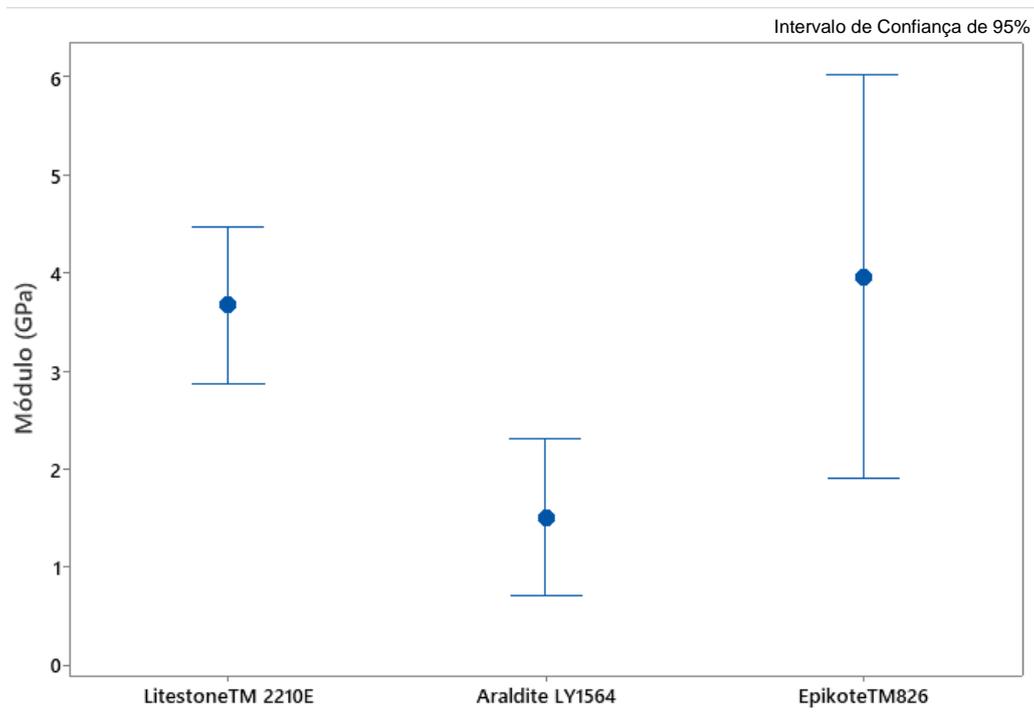


Figura 4.12: Módulo em flexão das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra.

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão, conforme norma ASTM D-790-17, indicaram melhor adequação da fibra SE2307 1100 à resina Litestone™ 2210E. Pode-se inferir, também que a resina Litestone™ 2210E foi mais adequada para umectar a fibra SE2307 1100 uma vez que apresentou maior módulo médio em flexão na direção da fibra e menor variabilidade do intervalo de confiança nos resultados de módulo na direção transversal à fibra. Desta forma, mantém-se, ainda, a coerência com os resultados obtidos anteriormente e são válidas as observações feitas no item 4.2.1 quanto às diferenças nos resultados obtidos. Variações mais pronunciadas puderam ser observadas no caso do compósito com a resina Epikote™ 826 o que pode denotar maior heterogeneidade de interface fibra/resina, falhas na confecção dos corpos de prova e, possivelmente, a necessidade de adequação da viscosidade da resina para a condição de processo utilizada.

#### **4.2.5 Resistência ao impacto**

Os resultados dos ensaios de resistência ao impacto Izod com entalhe das placas planas dos compósitos na direção da fibra e na direção transversal à fibra são mostrados nas Figuras 4.13 e 4.14, respectivamente.

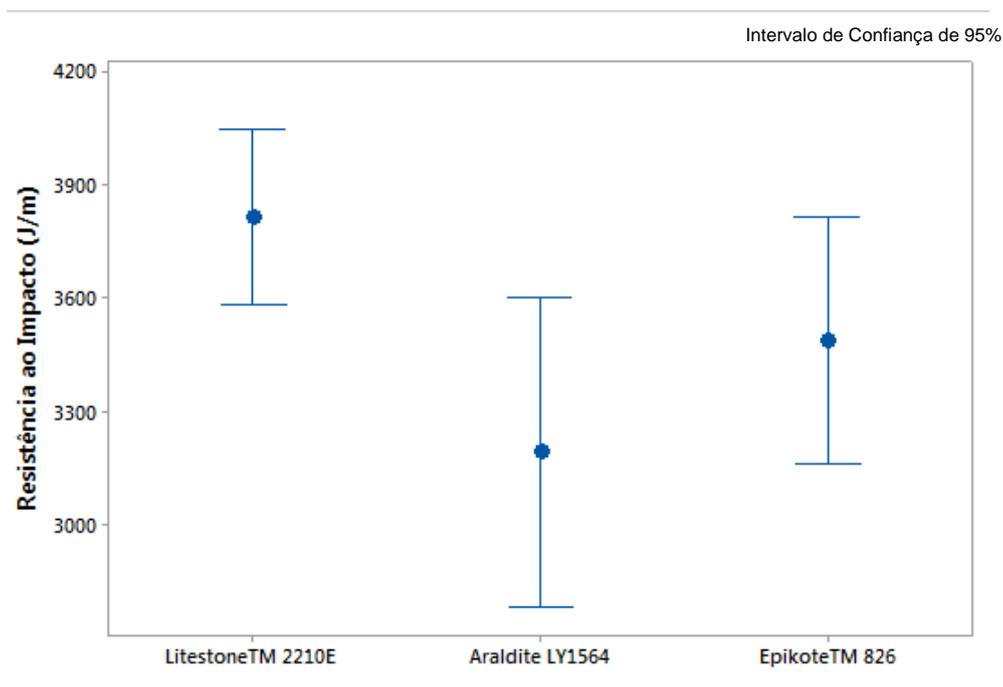


Figura 4.13: Resistência ao impacto Izod com entalhe das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção da fibra (propagação da trinca normal à direção da fibra).

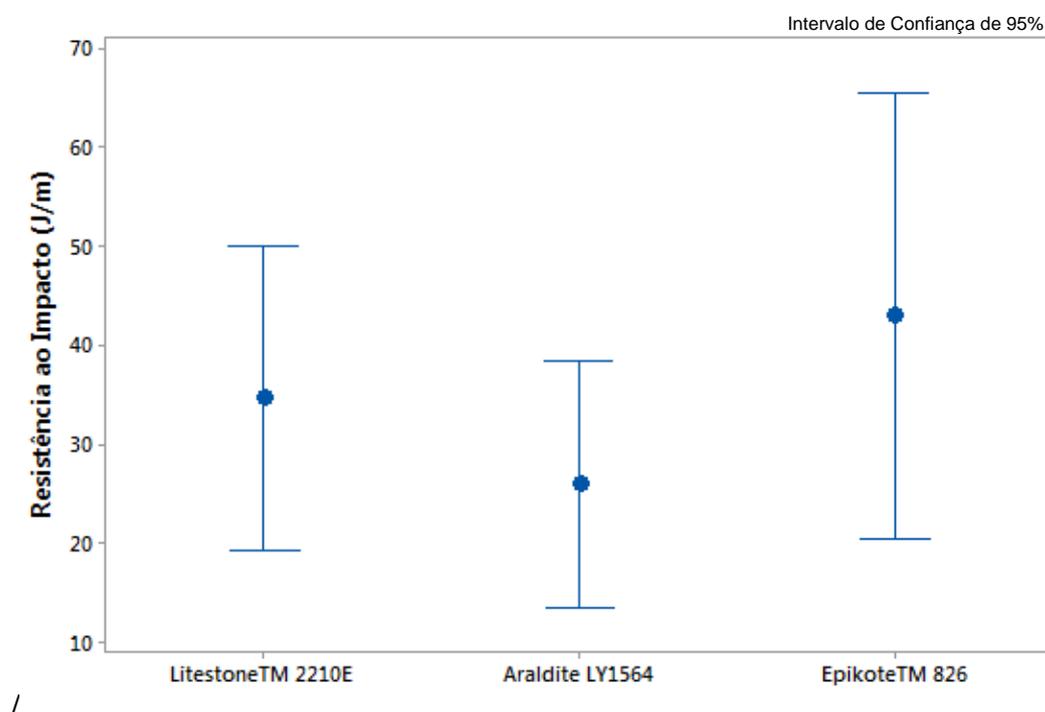


Figura 4.14: Resistência ao impacto Izod com entalhe das placas planas dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826 na direção transversal à fibra (propagação da trinca paralela à direção da fibra).

Como pode ser verificado pelas Figuras 4.13 e 4.14 as ordens de grandeza dos valores de resistência ao impacto na direção da propagação da trinca normal à fibra são superiores. Isto deve-se ao fato de que boa parte da energia necessária para o rompimento dos corpos de prova está relacionada com o rompimento das ligações químicas do vidro, já no caso da propagação da trinca paralela à direção da fibra o efeito da interação entre o recobrimento químico da fibra e da resina é mais pronunciado.

Os compósitos produzidos com as resinas Litestone™ 2210E e Epikote™826 apresentaram resultados levemente superiores aos do compósito com a resina Araldite LY1564 o que, possivelmente, está relacionado com a fragilidade de cada uma das resinas e no caso da resistência ao impacto na direção da propagação da trinca paralela à direção da fibra relacionado também com a interação interfacial. Ainda é importante ressaltar que há intervalos de confiança coincidentes, o que mostra a adequação de cada uma das resinas ao recobrimento químico da fibra de vidro, assim, ajustes no processo e na viscosidade de cada uma das resinas podem melhorar os resultados obtidos.

Além destas correlações, é importante ressaltar que a montagem dos tubos para a futura operação submete-os ao risco de ocorrência de impacto por queda, impacto de ferramentas, etc e uma análise do procedimento de montagem deve ser feita para garantir minimização de situações de requeiram resistência ao impacto.

#### ***4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura***

As Figuras 4.15 a 4.17 apresentam imagens de microscopia eletrônica de varredura das superfícies fraturadas (seção transversal) em ensaio de impacto dos compósitos obtidos por enrolamento filamentar em placa plana contendo aprox. 60% de FV unidirecionais com as diferentes resinas.

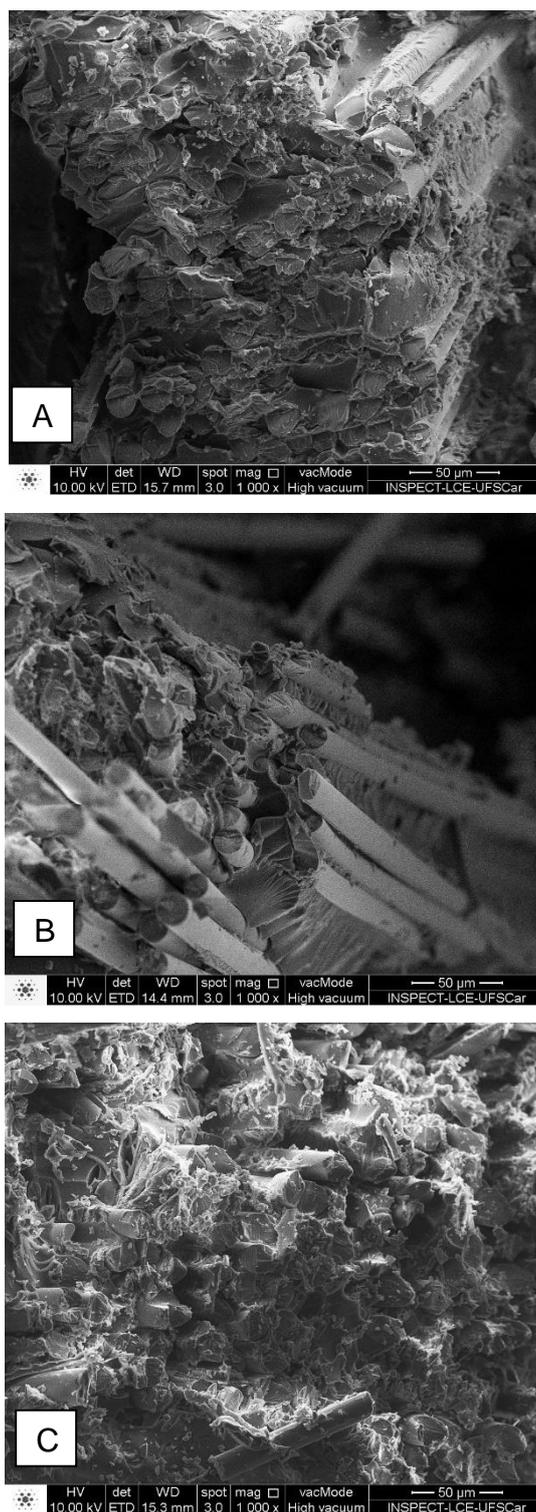


Figura 4.15: Micrografias de microscopia eletrônica de varredura de superfícies fraturadas (seção transversal) em escala de 50 µm para cada um dos compósitos estudados (Litestone™ 2210E (A), Araldite LY1564 (B) e Epikote™ 826(C)).

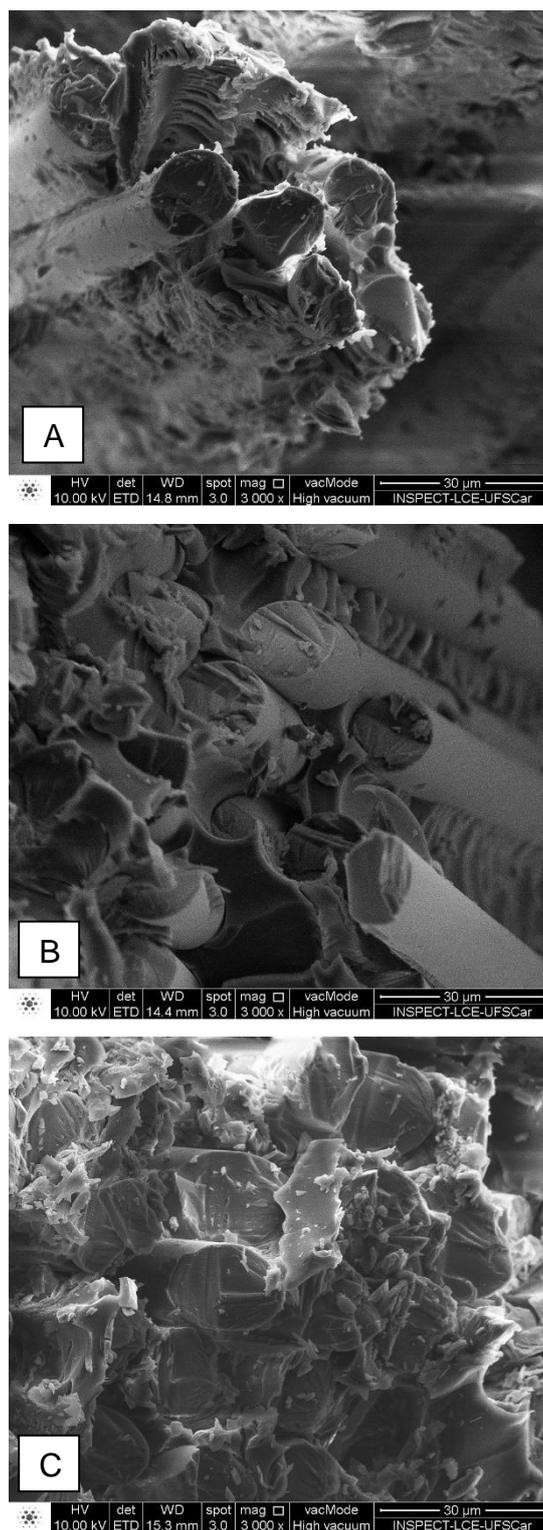


Figura 4.16: Micrografias de microscopia eletrônica de varredura de superfícies fraturadas (seção transversal) em escala de 30 µm para cada um dos compósitos estudados (Limestone™ 2210E (A), Araldite LY1564 (B) e Epikote™ 826(C)).

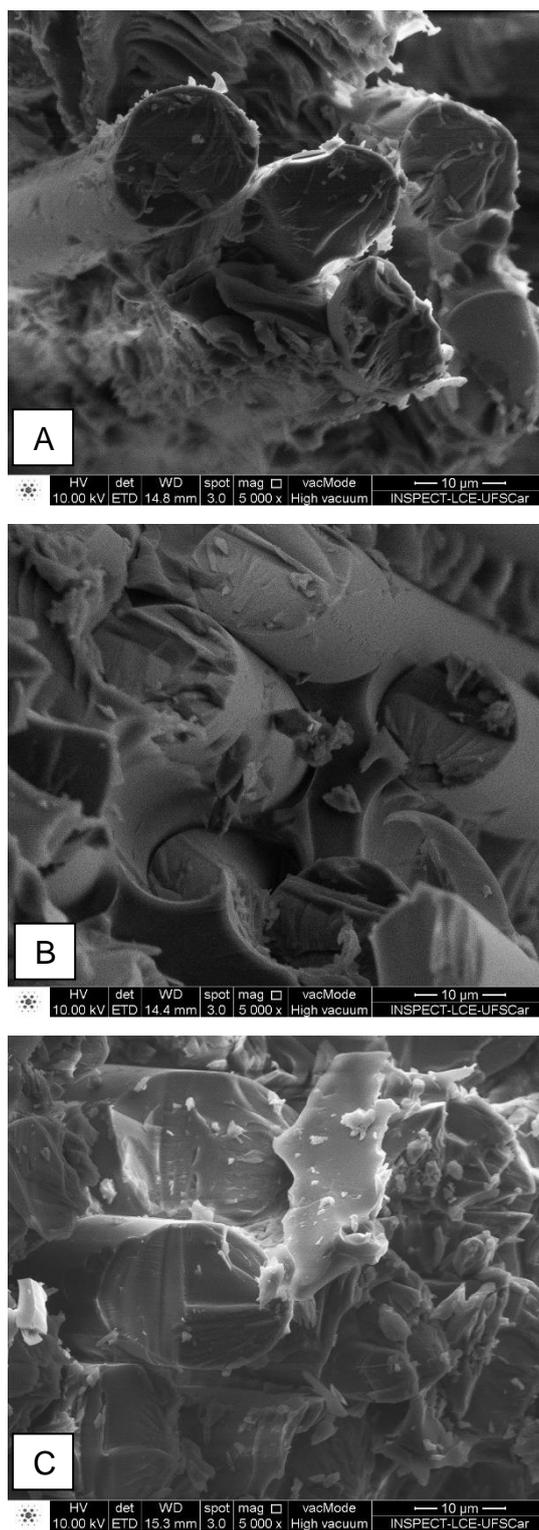


Figura 4.17: Micrografias de microscopia eletrônica de varredura de superfícies fraturadas (seção transversal) em escala de 10 µm para cada um dos compósitos estudados (Litestone™ 2210E (A), Araldite LY1564 (B) e Epikote™ 826(C)).

Pode ser observada a correlação entre as propriedades mecânicas obtidas (item 4.2) e a interação entre as superfícies de vidro e resina: nos casos das resinas Litestone™ 2210E e Epikote™ 826 observa-se uma boa adesão da resina na superfície da fibra e a formação de mechas coesas entre os filamentos o que colabora para melhoria das propriedades mecânicas do compósito. O mesmo já não ocorre no caso do compósito feito com a resina Araldite LY1564; neste caso observa-se a superfície do vidro lisa o que denota a baixa adesão vidro/resina resultando em propriedades mecânicas inferiores.

As resinas estudadas apresentaram valores de viscosidade superiores aos recomendados por Flores [40] de 0,6 Pa.s, portanto há um potencial de estudo para entender a influência da viscosidade nas propriedades mecânicas de cada um dos sistemas de compósito neste sistema, em específico, uma vez que as resinas de maior viscosidade apresentaram resultados mecânicos superiores. Com isso há um potencial para melhorar a interação superficial, o que poderá trazer melhores propriedades especialmente para o compósito produzido com a resina Araldite LY 364, ressaltando, mais uma vez, que há coincidência nos intervalos de confiança das médias das grandezas medidas não sendo possível afirmar que a resina Araldite LY 1564 não é adequada para a aplicação estudada.

Também, do ponto de vista químico a resina Litestone™ 2210E mostrou-se mais adequada à fibra SE2307 1100 uma vez que tem viscosidade próxima à da resina Araldite LY1564 e apresentou melhor interação superficial evidenciada pelas Figuras 4.15 a 4.17 e pelos resultados de propriedades mecânicas do compósito.

### 4.3 Resistência ao cisalhamento dos compósitos (tensão de rompimento do feixe curto)

Os teores de fibra de vidro para obtidos nos corpos de prova utilizados para os ensaios de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento do feixe curto) são mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nas amostras para teste de resistência ao cisalhamento.

Compósito com	Litestone™ 2210E	Araldite LY1564	Epikote™ 826
Teor Mássica de Fibra de Vidro (%)	80 ± 2	84,7 ± 1	82,5 ± 2
Teor Volumétrico de Fibra de Vidro (%)	65 ± 1	70,8 ± 0,5	67,6 ± 1

As curvas típicas dos ensaios de resistência ao cisalhamento (conforme ASTM D2344 – tensão de rompimento do feixe curto) dos compósitos são mostradas na Figura 4.18.

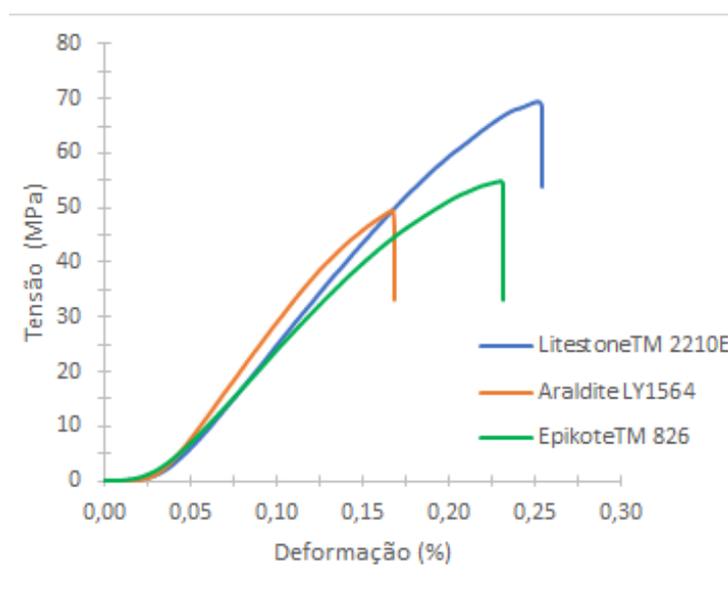


Figura 4.18: Curvas típicas de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento do feixe curto) dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826.

A Figura 4.19 apresenta os dados obtidos e respectivas variações para o ensaio de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento do feixe curto)

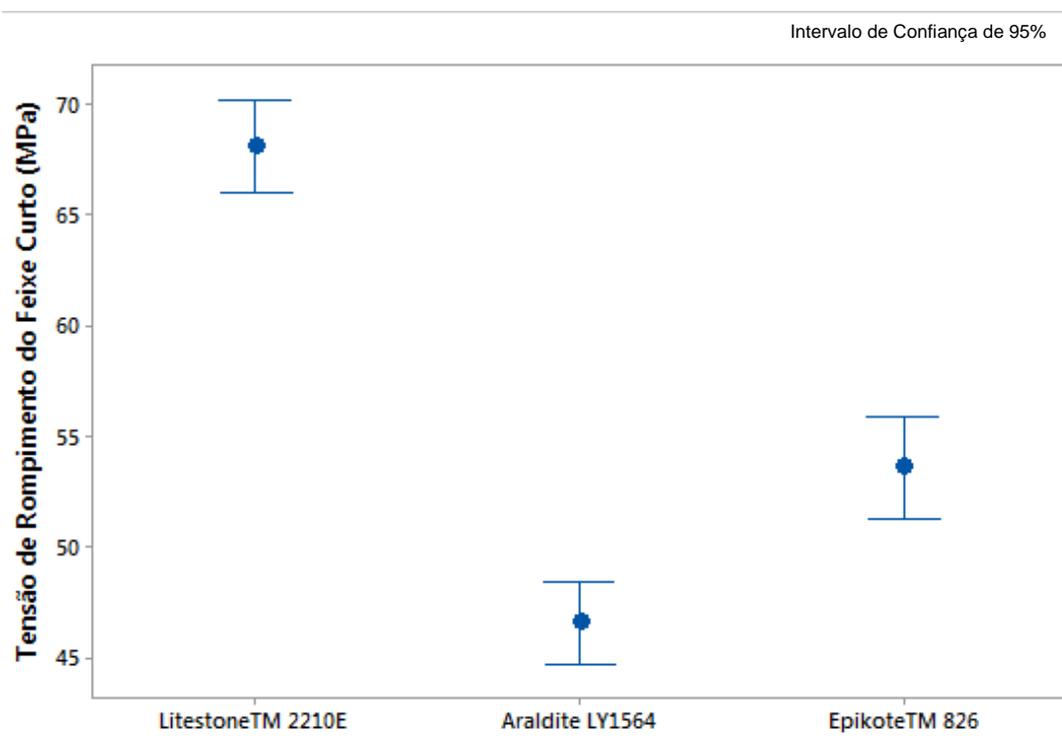


Figura 4.19: Resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento do feixe curto) dos compósitos das resinas Litestone™ 2210E, Araldite LY1564 e Epikote™ 826

Os resultados de resistência ao cisalhamento (tensão de rompimento do feixe curto) indicam comportamento similar ao observado nos ensaios de tração (Figuras 4.4,4.5, 4.7 e 4.8) e flexão (Figuras 4.11 e 4.12) realizados com os corpos de prova obtidos em placas planas. As resinas Litestone™ 2210E e Epikote™ 826 são aquelas que apresentam melhor interação superficial e também a maior coesão entre as mechas. As micrografias de MEV (Figuras 4.15, 4.16 e 4.17) corroboram com esta observação demonstrando que a adesão superficial superior leva a propriedades mecânicas superiores dos compósitos.. No entanto, conforme já comentado, a adequação da viscosidade da resina Araldite LY 1564 para o processo estudado pode melhorar os resultados mecânicos dos respectivos compósitos.

## 4.4 Caracterização dos tubos

### 4.4.1 Teores mássicos medidos de fibra de vidro

Os teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nos tubos em compósitos produzidos com as diferentes resinas são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Teores mássicos e volumétricos de fibra de vidro nos tubos em compósitos produzidos com as diferentes resinas

	Litestone™ 2210E	Araldite LY1564	Epikote™ 826
Teor mássico de fibra de vidro (%)	70 ± 1	72 ± 3	68 ± 2
Teor volumétrico de fibra de vidro (%)	52,0 ± 0,6	53 ± 1,4	48,3 ± 0,8

. Há um potencial para aumento do teor mássico de fibra de vidro com conseqüente aumento das propriedades mecânicas, no entanto conforme demonstrado por Nasseh [42], para fins práticos, os ganhos de propriedade são pequenos se comparados com o risco da existência de fibras secas entre outras falhas prejudicando a performance do produto em campo.

### 4.4.2 Temperatura de transição vítrea (DSC)

A Tabela 4.9 apresenta as temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) das matrizes epóxi das paredes interna e externa dos tubos obtidas por calorimetria exploratória diferencial (DSC) de amostras, enquanto que na Figura 4.20 encontrada é mostrada uma curva típica obtida durante os ensaios.

Tabela 4.9: Temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) das matrizes epóxi dos tubos obtidas via DSC

Resina	$T_g$ parede interna do tubo (°C)	$T_g$ parede externa do tubo (°C)
<b>Litestone™ 2210E</b>	209	187
<b>Araldite LY1564</b>	165	168
<b>Epikote™ 826</b>	182	192

Os resultados mostram que o processo de cura (externo ao tubo) também foi bom, as diferenças encontradas podem ser explicadas pelas observações de Dusek [19]: as resinas epóxi curadas não apresentam total homogeneidade em ligações e também por impurezas presentes tanto no precursor epóxi quanto no agente de cura.

Também se observa coerência com os resultados obtidos na análise térmica dinâmico mecânica (Figura 4.1) e os próprios valores do catálogo de cada uma das resinas.

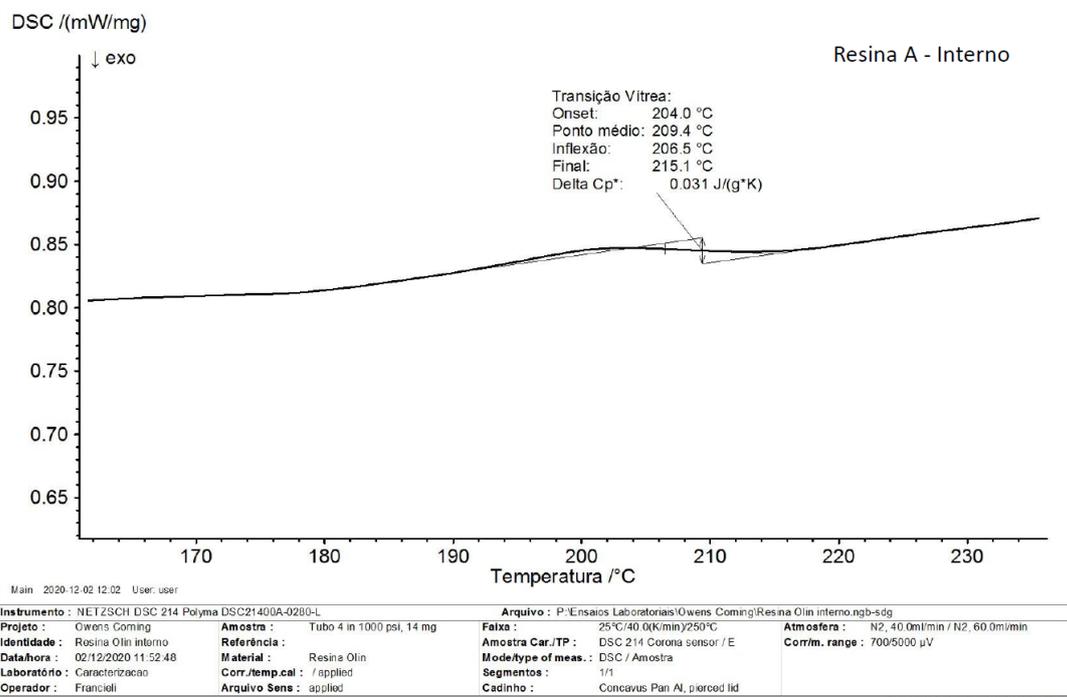


Figura 4.20: Curva típica obtida na análise DSC

#### 4.4.3 Pressão máxima admissível nos tubos

Para o cálculo da pressão máxima admissível dos tubos no curto prazo considerou-se a teoria clássica das lâminas, utilizando-se do algoritmo descrito no item 3.2.4.2.

As propriedades dos compósitos utilizadas foram previstas com os dados mostrados na Tabela 3.2 para a fibra de vidro e na Tabela 4.3 para cada uma das resinas. Considerou-se, evidentemente, as frações mássicas mostradas na Tabela 4.8 para cada um dos compósitos obtidos e calculou-se, desta forma, conforme equacionamento descrito no item 2.5.3, as propriedades mostradas na Tabela 4.10.

Além disso, foram utilizados os valores dos detalhes construtivos dos tubos descritos no capítulo 3.2.3.1. e o critério de falhas de Tsai-Wu [36], descrito no capítulo 2.5.2, considerando-se as propriedades de resistência à tração e compressão máximas conforme a Tabela 2.2 (com fração volumétrica de vidro de 45%).

Tabela 4.10: Propriedades utilizadas para o cálculo da pressão máxima interna dos tubos

<b>Propriedade</b>	<b>SE2307 1100 tex / Limestone™ 2210E</b>	<b>SE2307 1100 tex / Araldite LY1564</b>	<b>SE2307 1100 tex / Epikote™ 826</b>
E <sub>1</sub> (GPa)	43,1	44,2	40,1
E <sub>2</sub> (GPa)	5	4,6	3,8
G <sub>12</sub> (GPa)*	1,8	1,6	1,4
V <sub>12</sub> *	0,32	0,32	0,33
Teor de FV (%v/v)	52	53	48

\*calculados conforme equacionamento descrito em 2.5.3

Os resultados obtidos são encontrados na Tabela 4.11:

Tabela 4.11: Pressão máxima estimada para os tubos compósitos

Resina	Pressão máxima <sup>1</sup> (MPa)
<b>Litestone™ 2210E</b>	22,6
<b>Araldite LY1564</b>	22,9
<b>Epikote™ 826</b>	22,8

1 – Fator de segurança = 1, critério de falha Tsai-Wu

Como as propriedades calculadas e mostradas na Tabela 4.8 foram bastante próximas, verifica-se também resultados previstos de pressão máxima admissível para os tubos muito similares, também se observa a coerência e correlação entre as propriedades das lâminas e do tubo final previstas.

#### 4.4.4 Resistência à ruptura

A produção dos tubos foi feita conforme o item 3.2.3.1 e os mesmos foram preparados para o teste de resistência à ruptura, adequando-se as dimensões dos mesmos ao equipamento de teste, conforme Figura 4.21.



Figura 4.21: Tubos preparados para teste de resistência à ruptura.

A imagem do tubo rompido mostrada na Figura 4.22 é característica para todos os sistemas estudados, em que se verifica o vazamento de água por um processo de percolação através das falhas e imperfeições do compósito tornando evidente a necessidade de bons controles no processo produtivo assim como a dependência dos resultados da escolha das matérias primas.



Figura 4.22: Vazamento típico durante o teste de ruptura.

As pressões de rompimento dos tubos obtidas no teste são mostradas na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Pressão máxima obtida para os tubos

Compósito	Pressão Máxima exp. (MPa)
SE2307 1100 / Litestone™ 2210E	27,6 ± 0,8
SE2307 1100 / Araldite LY1564	19,3 ± 1,0
SE2307 1100 / Epikote™ 826	25,5 ± 2,9

Os resultados mostram que o modelo de cálculo para a previsão da pressão máxima dos tubos, cujos resultados são mostrados na Tabela 4.11, é conservativo em relação aos resultados obtidos e mostrados na Tabela 4.12. Para os casos dos compósitos produzidos com as resinas Litestone™ 2210E e

Epikote™ 826, uma das razões para isso pode estar relacionada com as propriedades do laminado adotadas para os cálculos, mostradas na Tabela 4.10; como não foram utilizados valores experimentais os valores da Tabela 4.10 podem ter sido subestimados, o que não ocorreu para o caso da resina Araldite LY1564. Ressalta-se que os compósitos que tiveram melhor resultado de pressão máxima obtida, também foram aqueles cujas propriedades medidas nas placas planas (item 4.2) foram superiores. As micrografias dos compósitos (Figuras 4.15 a 4.17) também mostram coerência entre os valores de pressão máxima experimentalmente medidas e a interação existente na superfície vidro/resina: quanto maior a interação, maior a pressão máxima obtida.

Em nenhum dos casos os compósitos atingiram a pressão máxima necessária de 80 MPa (Tabela 1.1). Isto ocorreu, pois a espessura dos tubos (4,2 mm) foi dimensionada para o cumprimento das premissas do teste de rompimento abrupto [7]. Portanto, o ajuste da espessura dos tubos é necessário para que pressão de até 80 MPa de rompimento possa ser atingida. As novas espessuras serão diferentes para cada um dos casos e, portanto, faz-se necessário um estudo de custo de cada uma das composições estudadas para a futura definição da composição final do compósito, o que não foi objeto deste estudo.



## 5 CONCLUSÕES

Foram desenvolvidos compósitos epóxi/fibra de vidro por enrolamento filamentar na forma de placas planas unidirecionais e tubos com 3 resinas comerciais. Os resultados foram analisados buscando-se correlacionar características de processamento, microestrutura e propriedades com vistas à aplicação em tubulações para a indústria petroquímica.

O projeto permitiu a definição de 3 possíveis compósitos com potencial para a aplicação desejada (substituição do aço inox super duplex na indústria petroquímica), sendo que foi possível a execução de testes laboratoriais preliminares, qualificando o trabalho como TRL nível 5. As resinas selecionadas foram: Limestone™ 2210E, Epikote™ 826 e Araldite LY 1564, e a fibra de vidro selecionada foi a SE2307 1100 da Owens Corning, buscando-se atender as especificações da Tabela 1.1, ou seja, aliar elevadas resistência mecânica e química com alta temperatura de serviço (elevada  $T_g$ ).

As temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ) medidas por DMA para as resinas epóxi curadas mostraram-se próximas àquelas informadas pelos respectivos fabricantes e também conforme as necessidades demandadas pela aplicação (temperatura de operação de 150°C), sendo que a resina Limestone™ 2210E foi aquela que apresentou a maior  $T_g$ , de 234°C, seguida da Epikote™ 826 (188°C) e Araldite LY 1564 (170°C). Além disso, foi possível verificar através da comparação entre as  $T_g$ 's medidas por DMA e DSC que a etapa de cura dos tubos com a utilização de aquecimento externo não comprometeu as propriedades térmicas dos compósitos. As viscosidades medidas para cada uma das resinas, Figura 4.2, foram superiores àquelas recomendadas por Flores, Ayaude, Riccardi e Fasce [40], sem prejuízo grave para o processo produtivo dos corpos de prova e tubos, porém há um potencial de melhoria do processamento e dos respectivos resultados obtidos para as propriedades mecânicas dos compósitos. As diferenças encontradas (Tabelas 4.5 e 4.6) entre as propriedades mecânicas estimadas e aquelas obtidas experimentalmente nos ensaios de resistência à tração de corpos de prova extraídos de placas planas podem ser explicadas por falhas no processamento dos compósitos. Além disso,

a própria construção do reticulado em epóxi no compósito e especificamente na superfície da fibra não é uniforme o que leva a falhas e diminuição das propriedades mecânicas locais. A interação superficial verificada qualitativamente pela microscopia eletrônica de varredura também é um bom parâmetro para comparar a performance de compósitos: quanto melhor a interação vidro/resina, melhores serão as propriedades mecânicas do compósito estudado.

As diferenças encontradas entre as pressões de ruptura de cada uma das configurações dos tubos obtidas experimentalmente e as pressões estimadas através da teoria das lâminas podem ser explicadas pelo uso dos parâmetros de tensão e compressão máximas nos cálculos cujos valores utilizados foram de literatura e não de cada um dos compósitos. As pressões de ruptura medidas para os tubos mostraram-se coerentes com as propriedades mecânicas em tração e flexão medidas em corpos de prova extraídos de placas planas com os mesmos compósitos, podendo, desta maneira, serem utilizadas para explorar diferentes formulações de resina para produção de tubos por enrolamento filamentar. De forma diferente, não foi possível identificar uma correlação entre a pressão de ruptura dos tubos e os ensaios de cisalhamento, o que pode ser explicado pela forma de rompimento dos tubos que denota um fenômeno de percolação da água através do compósito atuando especialmente em pontos de descontinuidade e falhas.

## 6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para a evolução do trabalho no sentido de que seja garantida a adequação do material às condições de trabalho necessárias sugere-se:

- Verificar as propriedades dos compósitos a longo prazo, incluindo ensaios de fadiga.

- Avaliar as construções propostas dos compósitos utilizando-se normas existentes e aplicadas comercialmente.

- Explorar as propriedades químicas dos compósitos, medindo a resistência química de cada um deles nas condições de operação dos poços de petróleo.

- Considerar no dimensionamento da tubulação o efeito das cargas higrotérmicas advindas tanto do processo de cura da resina quanto da própria condição de operação em um ambiente rico em água e de alta temperatura.

- Considerar a elaboração de experimentos considerando as condições que o compósito será submetido durante a operação da tubulação, buscando entender os efeitos dessas condições nas propriedades termomecânicas do compósito no curto, médio e longo prazo.

- Buscar alternativas para inibir o efeito de percolação no tubo através da aplicação de uma camada interna de véu de superfície e resina ou outro material que evite o fenômeno de difusão do fluido de operação do tubo garantindo aumento de sua vida útil e otimização da respectiva espessura de parede.

- Avaliar a possibilidade de utilização de um recobrimento nas paredes interna e externa do tubo para melhorar a rigidez,

- Avaliar a influência da viscosidade das resinas no processamento e propriedade do compósito final.

- Verificar o impacto do custo dos componentes no custo final da tubulação em função das espessuras necessárias para adequação da tubulação à condição de pressão de operação de 80 MPa.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VARNOSFADERNI, M.A.; ESLAMI, A.; SAIEDIM N.; BAHRAMI, A. **Metallurgical Aspects of a blowdown pipe failure in petrochemical plant**. Engineering Failure Analysis, Volume 98, páginas 141-149, Abril/2019.
- [2] SAEVAREID, M. **Selection of Long or Short String Production Casing on HPHT Wells**. Master's degree, Universitettet I Stanvanger, Faculty of Science and Technology, Noruega, 15/06/2017.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, **Anuário Estatístico**. <Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>> Acesso em 25/abril/2019.
- [4] MINTY, R.F.; YANG, L.; THOMASON, J.L. **The influence of hardener-to-epoxy ratio on the interfacial strength in glass fiber reinforced epoxy composites**. Composites Part A, Volume 112, páginas 64-70, Setembro/2018.
- [5] ROUSSEAU, J.; PERREUX, D.; VERDIÈRE N. **The influence of winding patterns on the damage behavior of filament-wound pipes**. Composites Science and Technology; Volume 59, páginas 1439-1449, Julho/1999.
- [6] KRISHNAN, P.; ABDUL MAJID, M.S.; AFENDI, M. GIBSON, A.G.; MARZUKI, H.F.A. **Effects of winding angle on the behavior of glass/epoxy pipes under multiaxial cyclic loading**. Materials and Design; Volume 88, páginas 196-206, Dezembro/2015.
- [7] API 15HR. **High-pressure Fiberglass Line-Pipe**. Quarta Edição, American Petroleum Institute, Washington, Fevereiro/2016
- [8] RODRÍGUEZ, E.S.; ALVAREZ; V.A.; MONTEMARTINI; P.E. **Failure analysis of a GFRP pipe for oil transport**. Engineering Failure Analysis, Volume 28, pág 16-24, Março/2013
- [9] BROWN, E.N.; DAVIS, A.K., JONNALAGADDA, K.D.; SOTTOS, N.R. **Effect of surface treatment on the hydrolytic stability of E-glass fiber bundle tensile strength**. Composites Science and Technology; Volume 65, pág 129-136, Janeiro/2005.
- [10] OWENS CORNING. **Filament Winding of Glass Fiber Composites**, Toledo-OH, 2005
- [11] FLORES, H.A.; FASCE L.A.; RICCARDI C.C., AYUDE M.A. **Numerical Modeling of Internal Heating Curing of Glass Reinforced Epoxy Pipes**. Polymer Engineering Science, Volume 55, páginas 2626-2635, Agosto/2015

- [12] **ASTM D1599, Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing and Fittings.** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015
- [13] **ASTM D2992, Standard Practice for Obtaining Hydrostatic or Pressure Design Basis for “Fiberglass” (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe and Fittings.** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018
- [14] MASSINGILL JR J.L.; BAUER R.S. **Epoxy resins.** Applied Polymer Science: 21<sup>st</sup> century, primeira edição, Elsevier, 2000.
- [15] ELLIS B. **Chemistry and Technology of Epoxy Resins.** Springer Science+Business Media B.V. 1993, 346p.
- [16] KOLAR, F.; SVÍTILOVÁ, J. **Kinetics and Mechanism of Curing Epoxy/Anhydride Systems.** Acta Geodyn Geomater, Volume 4, páginas 85-92, Jul/2007.
- [17] RODRIGUES, M.R.A. **Estudo da Reação de Cura da Resina Epóxi (Araldit F) com anidrido ftálico e trietilamina como iniciador.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Química da UFRGS, Porto Alegre-RS, 1991.
- [18] DIAS C.G.B.T. **Tenacificação de Sistemas Epóxi com modificadores de impacto elastomérico (CTBN) e termoplástico (TBI).** Tese de doutorado, UFSCar, São Carlos- SP, 2000.
- [19] DUSEK, K. **Networking formation in curing of epoxy resins.** Epoxy Resins and Composites III, p 1-55, vol 78, Springer, Berlin, 1986.
- [20] WANG L., WANG; J.; ZHANG, F. QI, Y.; WENG Z.; JIAN X. **PPESK-Modified Multi-Functional Epoxy Resin and its Application to the Pultrusion of carbon Fiber.** Polymers, volume 10, página 1067, Setembro/2018
- [21] ISARN I.; GAMARDELLA F.; MASSAGUÉS L. **New Epoxy Composite Thermosets With Enhanced Thermal Conductivity and High Tg Obtained by Cationic Homopolymerization.** Polymer Composites, volume 39, páginas E1760 até E1769, 2018
- [22] CHUN H.; KIM Y.J.; TAK S.Y; PARK S.Y.; PARK S.J; OH C.H. **Preparation of ultra-low CTE epoxy composite using new alkoxysilyl-funcionalized bisphenol A epoxy resin,** Polymer, volume 135, páginas 241-250, 2018
- [23] CALLISTER JR., W.D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais,** Segunda Edição, LTC, 2014, 702 p.
- [24] **ASTM D578 / D578M, Standard Specification for Glass Fiber Strands,** ASTM International, West Conshohocken, PA, 201, 2018

- [25] OWENS CORNING **Advantex Glass Properties**, Toledo-OH, 1996
- [26] WALLENBERGER, F.T, WATSON J.C., HONG L. **Glass Fibers**, ASM Handbook, Vol 21: Composites, 2001.
- [27] DIWANJI, A. **Reforço de Fibra de Vidro – Guia de Resistência Química**, Owens Corning Toledo-OH, 2011.
- [28] FEITH S.; MANATPON, K., MATHYS, Z., GIBSON A.G. MOURITZ, A.P. **Strength degradation of glass fibers at high temperatures**, Journal of Material Science, Volume 44, páginas 392-400, Janeiro/2009
- [29] MARINUCCI G. **Materiais Compósitos Poliméricos**, São Paulo, 1º edição, Artliber, 2011, 329 p.
- [30] PETTERSEN H.N. **Investigation of sizing – from glass fiber surface to composite interface**, PhD Thesis, Technical University of Denmark, DTU Nanotech, 2017
- [31] JONES F.R. **A review of the interphase formation and design in fiber-reinforced composites**, Journal of Adhesion Science and Technology, Volume 24, páginas 171-202, Abril/2012
- [32] ARAUJO D.G. **Desenvolvimento de Compósito de Policloreto de Vinila (PVC) reforçado com Fibra de Vidro**, Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2013
- [33] MOUTUSHI D., DEITZEL J.M., GILLESPIE Jr. J.W., SCHWEIGER S. **Influence of sizing formulations on glass/epoxy interphase properties**, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 63, páginas 59-67, Abril/2014
- [34] SOUZA, J.A., COSTA, L.C. **Compósitos termoplásticos**, Departamento de Engenharia de Materiais, UFSCar, 2013
- [35] BRONSDSTED P., FRAISSE A. **Wind Turbine Manufacturing congress - presentation**, 2017
- [36] TSAI, S.W.; WU, E.M. **A general theory of strength for anisotropic materials**, J. Compos Mater, 1971, Volume 5, páginas 58 -80.
- [37] TIMOSHENKO, S. & WOINOWSKY-KRIEGER, S. **Theory of plates and Shells**, segunda edição, McGrawHill, 1987, 560 p.
- [38] KAW, A.K. **Mechanics of composite materials**; segunda edição, Taylor & Frances Group LLC, 2006, 449 p.
- [39] RIAÑO, L.; BELEC, L.; CHAILAN, J-F.; JOLIFF, Y. **Effect of interphase region on the elastic behavior of unidirectional glass fiber/epoxy composites**, **Composite Structures**, volume 198, páginas 109-116, 2018

- [40] FLORES, H.A., AYUDE M.A., RICCARDI, C.C., FASCE, L.A., **Influence of a reactive diluent on curing kinetics, internal curing process, and mechanical performance of filament wound glass fiber-reinforced epoxy composite pipes**, Polymer Engineering & Science, [s.l.], n. 2, p. 344-354, 2018
- [41] ZURSTRASSEN, E. **Teoria Clássica dos Laminados**; treinamento realizado na Owens Corning, Setembro/2020
- [42] NASSEH, J. **Processo de infusão a vácuo em composites** 1º Edição, Rio de Janeiro, 2020, 376 p.
- [43] **ISO 527-1 Plastics – Determination of Tension Properties**, International Organization for Standardization, Genebra, 2012
- [44] NASEVA S., SREBRENKOSKA V., RISTESKA S., STEFANOVSKA M., SREBRENKOSKA S. **Mechanical Properties of Filament Wound Pipes: Effects of Winding Angles**, Quality of life, Volume 6, páginas 10-15, 2015
- [45] ADVANI, S.G. **Flow and Rheology in Polymer Composites Manufacturing**, Volume 10, Primeira Edição, 1994, 312 p.
- [46] HYER, M.W. **Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials** Terceira Edição, McGraw Hill, Boston, Massachusetts, 1998, 649 p.
- [47] ALLEN, G., BEVINGTON, J.C. **Comprehensive Polymer Science and Supplements – The Synthesis, Characterization, Reactions & Application of Polymers**, 1989, 547 p.
- [48] BROWN E.N., DAVIS A.K., JONNALAGADDA K.D., SOTTOS N.R. **Effect of surface treatment on the hydrolytic stability of E-Glass fiber bundle tensile strength**, Composites Science and Technology, Volume 65, páginas 129-136, Janeiro / 2005
- [49] THOMASON J.L., ADZIMA L.J. **Sizing up the interphase: an insider's guide to the science of sizing**, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 32, páginas 313-321, Março/2001
- [50] CANEVAROLO Jr. S.V. **Ciência dos Polímeros – Um texto básico para engenheiros**, 3º edição, Artliber, 2010, 280 p.
- [51] SCHWARTZ R.T., SCHWARTZ H.S. **Fundamental Aspects of Fiber Reinforced Plastic Composites**; Air Force Materials Laboratory, Inter Science Publishers, 1968, 284 p.
- [52] AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION **Manual of Water Supply Practices**, Third, Fiberglass Pipe Design, 1996, 157 p.
- [53] ZHANG L., TIAN X., MALAKOOTI M.H., SODANO H.A. **Novel self-healing CFRP composites with high glass transition temperatures**,

Composites Science and Technology, Volume 168, páginas 96-103, Novembro/2018

[54] **ASTM D638, Standard Testing for Tensile Properties of Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014

[55] **ASTM D790, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017

[56] **ASTM D695, Standard Method for Compressive Properties of Rigid Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018

[57] **ASTM D2344 Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Material and Their Laminates**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016

[58] SPERLING L.H.; **Introduction to Physical Polymer Science**, Quarta edição, John Wiley & Sons, 2006, 817 p.

[59] SHRIVASTAVA A.; **Plastic Properties and Testing – Introduction do Plastics Engineering**, Willian Andrew, 2018, 262 p.

[60] OWENS CORNING, **Treinamento para Distribuidores de Fibra de Vidro**, Rio Claro-SP, 2018

[61] **ASTM D5229/5229M Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Material**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014

[62] **ASTM D4065 Standard Test Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012

[63] **ISO 1172, Textile-glass-reinforced plastics – Prepags, molding compounds and laminates – Determination of textile glass and mineral filler content – calcination methods**, International Organization for Standardization, Genebra 1996

[64] GUEDES, R.M; FARIA, H. **Long-term behavior of GFRP pipes: Reducing the prediction test duration**. Polymer Testing, Volume 29, páginas 337-345, Maio /2010.

[65] SIVASARANAVAM, S.; BUPESH RAJA V.K.; MANIKANDAN **Impact Characterization of Epoxy LY556/E-Glass Flibre / Nano Clay Hybrid Nano Composite Materials**. Procedia Engineering, volume 97, p. 968-974, 2014.

[66] DAVIS, D.C; WILKERSON, J.W.; ZHU, J.; HADJIEV, V.G. **A strategy for improving mechanical properties of a fiber reinforced epoxy composite using functionalized carbon nanotubes**. Composites Science and Technology, páginas 1089 – 1097, 2011

[67] MOTEZUKI, J.E. **Influência da Nanoargila no Envelhecimento Higrotérmico de Compósitos de Polipropileno / PP Maleado / Fibra de Vidro**, Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2009

**ANEXO A**

**FOLHAS DE DADOS DAS RESINAS EPÓXI**



## Technical Data Sheet

Re-Issued September 2005

### EPON™ Resin 826

#### Product Description

EPON™ Resin 826 is a low viscosity, light colored liquid bisphenol A based epoxy resin. It finds use in a variety of applications when crosslinked or hardened with appropriate curing agents.

#### Application Areas/Suggested Uses

- Fiber reinforced pipe and composites
- Tooling and molding compounds
- Construction, electrical and aerospace adhesives
- Electrical castings and laminates
- Chemical resistant high solids tank linings
- Flooring
  
- Grouting compounds

#### Benefits

- Low viscosity
- Low color
- Low ionic contamination
- Reacts with a full range of curing agents
- Produces high-strength cured systems resistant to chemical attack

#### Sales Specification

Property	Units	Value	Test Method/Standard
Weight per Epoxide	g/eq	178 – 186	ASTM D1652
Viscosity at 25°C	P	65 – 95	ASTM D445
Color	Gardner	1 max.	ASTM D1544

#### Typical Properties

Property	Units	Value	Test Method/Standard
Viscosity at 50°C	P	4.5	ASTM D445
Viscosity at 75°C	P	0.8	ASTM D445
Density at 25°C	lb/gal	9.7	ASTM D1475
Density at 25°C	g/ml	1.16	

**General Information**

The low viscosity and curing properties of EPON Resin 826 allow its use under various conditions and fabrication techniques. These include:

- Spraying and brushing
- Pultrusion
- Filament winding
- Casting
- Pressure laminating
- Molding
- Vacuum bag laminating
- Troweling

**Benefits**

EPON Resin 826 can be crosslinked with a variety of curing agents/depending on processing conditions and properties desired for the finished product. A guide to selecting curing agents for combination with EPON Resin 826 for various applications given in technical bulletin SC-235-01.828.

EPON 826 is commonly used to fabricate high strength fiber reinforced pipes and composites. The low viscosity of the resin provides rapid wetout of a wide range of reinforcing fibers including glass, graphite, aramid and boron. High fiber content with low void content can be achieved with this resin. Structural composites such as this have a high ratio of strength to weight. This makes them suitable for applications ranging from sporting goods equipment to aerospace structural members.

EPON Resin 826 systems are also excellent electrical insulators. Such systems are used frequently in electrical encapsulations, laminates and molding compounds.

Structures, linings and coatings made with EPON Resin 826 protect metal surfaces and resist attack from acids, bases, solvents and fuel. They find use in the oil, gas, mining and chemical industries.

The higher shear strength obtained with EPON Resin 826 adhesives is due in part to the low internal stresses inherent in cured epoxy resins. Such adhesives are used to bond a broad range of substrates.

**FDA**

Several paragraphs of Title 21 of the Code of Federal Regulations permit and regulate the use of epoxy resins such as cured EPON Resin 826 as indirect food additives in food contact applications. Examples are: 175.105 and 175.300.

For further information on the FDA status of EPON Resin products, contact your HEXION Representative.

**Safety, Storage & Handling**

Please refer to the MSDS for the most current Safety and Handling Information.

Please refer to the Hexion web site for Shelf Life and recommended Storage Information.

EPON Resin 826 may occasionally crystallize, this is evident by the products visual appearance that can range from a hazy liquid to a waxy semi-solid. Resin that has crystallized can be reconstituted by gentle warming of the entire container and its contents to approximately 120-140 °F until all visual evidence of crystallization has gone away

Exposure to these materials should be minimized and avoided, if feasible, through the observance of proper precautions, use of appropriate engineering controls and proper personal protective clothing and equipment, and adherence to proper handling procedures. **None of these materials should be used, stored, or transported until the handling precautions and recommendations as stated in the Material Safety Data Sheet (MSDS) for these and all other products being used are understood by all persons who will work with them.** Questions and requests for information on Hexion Inc. ("Hexion") products should be directed to your Hexion sales representative, or the nearest Hexion sales office. Information and MSDSs on non-Hexion products should be obtained from the respective manufacturer.

**Packaging**

Available in bulk and drum quantities.

**Contact Information**

For product prices, availability, or order placement, please contact customer service:

[www.hexion.com/Contacts/](http://www.hexion.com/Contacts/)

## Advanced Materials

# Araldite® LY 1564\* / Hardener XB 3473\*

### HOT CURING EPOXY SYSTEM

Araldite® LY 1564 is a low viscosity epoxy resin  
Hardener XB 3473 is a formulated amine hardener

<b>APPLICATIONS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial composites</li> <li>Structural composites</li> </ul>																														
<b>PROPERTIES</b>	Laminating system																														
<b>PROCESSING</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filament Winding</li> <li>Resin Transfer Moulding (RTM)</li> <li>Pressure Moulding</li> <li>Pultrusion</li> </ul>																														
<b>PRODUCT DATA</b>	<table border="1"> <tr> <td colspan="3"><b>Araldite® LY 1564</b></td> </tr> <tr> <td>Aspect (visual)</td> <td>clear liquid</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)</td> <td>1200 – 1400 **</td> <td>[mPa s]</td> </tr> <tr> <td>Density at 25 °C (ISO 1675)</td> <td>1.10 - 1.20</td> <td>[g/cm<sup>3</sup>]</td> </tr> <tr> <td>Epoxide index (ISO 3001)</td> <td>5.80 – 6.05**</td> <td>[Eq/kg]</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Hardener XB 3473</b></td> </tr> <tr> <td>Aspect (visual)</td> <td>clear yellow to brown liquid</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)</td> <td>80 – 125 **</td> <td>[mPa s]</td> </tr> <tr> <td>Density at 25 °C (ISO 1675)</td> <td>0.99 - 1.02</td> <td>[g/cm<sup>3</sup>]</td> </tr> <tr> <td>Amine value (ISO 9702)</td> <td>11.20 – 12.10 **</td> <td>[Eq/kg]</td> </tr> </table>	<b>Araldite® LY 1564</b>			Aspect (visual)	clear liquid		Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)	1200 – 1400 **	[mPa s]	Density at 25 °C (ISO 1675)	1.10 - 1.20	[g/cm <sup>3</sup> ]	Epoxide index (ISO 3001)	5.80 – 6.05**	[Eq/kg]	<b>Hardener XB 3473</b>			Aspect (visual)	clear yellow to brown liquid		Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)	80 – 125 **	[mPa s]	Density at 25 °C (ISO 1675)	0.99 - 1.02	[g/cm <sup>3</sup> ]	Amine value (ISO 9702)	11.20 – 12.10 **	[Eq/kg]
<b>Araldite® LY 1564</b>																															
Aspect (visual)	clear liquid																														
Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)	1200 – 1400 **	[mPa s]																													
Density at 25 °C (ISO 1675)	1.10 - 1.20	[g/cm <sup>3</sup> ]																													
Epoxide index (ISO 3001)	5.80 – 6.05**	[Eq/kg]																													
<b>Hardener XB 3473</b>																															
Aspect (visual)	clear yellow to brown liquid																														
Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1)	80 – 125 **	[mPa s]																													
Density at 25 °C (ISO 1675)	0.99 - 1.02	[g/cm <sup>3</sup> ]																													
Amine value (ISO 9702)	11.20 – 12.10 **	[Eq/kg]																													
	<p>** Specified data are on a regular basis analysed. Data which is described in this document as 'typical' is not analysed on a regular basis and is given for information purposes only. Data values are not guaranteed or warranted unless if specifically mentioned.</p>																														
<b>STORAGE</b>	<p>Provided that Araldite® LY 1564 or XB 3473 are stored in a dry place in their original, properly closed containers at the storage temperatures mentioned in the MSDS they will have the shelf lives indicated on the labels. Partly emptied containers should be closed immediately after use.</p>																														

In addition to the brand name product denomination may show different appendices, which allows us to differentiate between our production sites: e.g. BD – Germany, US – United States, N – India, CI – China, etc.. These appendices are in use on packaging, transport and invoicing documents. Generally the same specifications apply for all versions. Please address any additional need for clarification to the appropriate Huntsman contact

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

**TYPICAL SYSTEM DATA****PROCESSING DATA**

<b>MIX RATIO</b>	<i>Components</i>	<i>Parts by weight</i>	<i>Parts by volume</i>
	Araldite® LY 1564	100	100
	Hardener XB 3473	26	30

We recommend that the components are weighed with an accurate balance to prevent mixing inaccuracies which can affect the properties of the matrix system. The components should be mixed thoroughly to ensure homogeneity. It is important that the side and the bottom of the vessel are incorporated into the mixing process.

When processing large quantities of mixture the pot life will decrease due to exothermic reaction. It is advisable to divide large mixes into several smaller containers.

<b>INITIAL MIX VISCOSITY</b> (CONE/PLATE VISCOSIMETER)		<i>[°C]</i>	<i>[mPa s]</i>
	LY 1564 / XB 3473	at 25	1000 - 1200
		at 40	200 - 250

<b>POT LIFE</b> (TECAM, 23°C, 65% RH)		<i>(g)</i>	<i>(h)</i>
	LY 1564 / XB 3473	100	84 - 88

<b>GEL TIME</b> (HOT PLATE)		<i>[°C]</i>	<i>[min]</i>
	LY 1564 / XB 3473	at 80	410 - 430
		at 120	80 - 90

The values shown are for small amounts of pure resin/hardener mix. In composite structures the gel time can differ significantly from the given values depending on the fibre content and the laminate thickness.

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

**PROPERTIES OF THE CURED, NEAT FORMULATION**

<b>GLASS TRANSITION TEMPERATURE</b>	<i>Cure:</i>	$T_g$	LY 1564 XB 3473
(ISO 11357-2, DSC, 10 K/MIN)	3 h 110°C	[°C]	70 - 80
	3 h 120°C	[°C]	100 - 110
	3 h 130°C	[°C]	110 - 120
	30 min 130°C + 12 h 160°C	[°C]	165 - 175
<b>GLASS TRANSITION TEMPERATURE</b>	<i>Cure:</i>	$T_g$	LY 1564 XB 3473
(ISO 6721, DMA, 2 K/MIN)	30 min 130°C + 12 h 160°C	[°C]	165 - 175
<b>FLEXURAL TEST</b>	<i>Cure:</i>		
(ISO 178)	30 min 130°C + 12 h 160°C		
	Flexural strength	(MPa)	100 - 110
	Ultimate elongation	(%)	5,5 - 6,5
	Flexural modulus	(MPa)	2500 - 2700
<b>FRACTURE PROPERTIES BEND NOTCH TEST</b>	<i>Cure:</i>		
(ISO 13586)	30 min 130°C + 12 h 160°C		
	Fracture toughness $K_{1C}$	(MPa√m)	0,7 - 0,8
	Fracture energy $G_{1C}$	(J/m <sup>2</sup> )	170 - 190

**HANDLING  
PRECAUTIONS****Personal hygiene***Safety precautions at workplace*

protective clothing	yes
gloves	essential
arm protectors	recommended when skin contact likely
goggles/safety glasses	yes

*Skin protection*

before starting work	Apply barrier cream to exposed skin
after washing	Apply barrier or nourishing cream

*Cleansing of contaminated skin*

Dab off with absorbent paper, wash with warm water and alkali-free soap, then dry with disposable towels. Do not use solvents

*Disposal of spillage*

Soak up with sawdust or cotton waste and deposit in plastic-lined bin

*Ventilation*

of workshop	Renew air 3 to 5 times an hour
of workplaces	Exhaust fans. Operatives should avoid inhaling vapours

**FIRST AID**

Contamination of the eyes by resin, hardener or mix should be treated immediately by flushing with clean, running water for 10 to 15 minutes. A doctor should then be consulted.

Material smeared or splashed on the skin should be dabbed off, and the contaminated area then washed and treated with a cleansing cream (see above). A doctor should be consulted in the event of severe irritation or burns. Contaminated clothing should be changed immediately.

Anyone taken ill after *inhaling* vapours should be moved out of doors immediately.

In all cases of doubt call for medical assistance.

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

**Huntsman Advanced Materials**  
 (Switzerland) GmbH  
 Klybeckstrasse 200  
 4057 Basel  
 Switzerland

Tel: +41 (0)61 299 11 11  
 Fax: +41 (0)61 299 11 12

www.huntsman.com/advanced\_materials  
 Email: advanced\_materials@huntsman.com



Huntsman Advanced Materials warrants only that its products meet the specifications agreed with the user. Specified data are analysed on a regular basis. Data which is described in this document as 'typical' or 'guideline' is not analysed on a regular basis and is given for information purposes only. Data values are not guaranteed or warranted unless if specifically mentioned.

The manufacture of materials is the subject of granted patents and patent applications; freedom to operate patented processes is not implied by this publication. While all the information and recommendations in this publication are, to the best of Huntsman Advanced Material's knowledge, information and belief, accurate at the date of publication, nothing herein is to be construed as a warranty, whether express or implied, including but without limitation, as to merchantability or fitness for a particular purpose. In all cases, it is the responsibility of the user to determine the applicability of such information and recommendations and the suitability of any product for its own particular purpose. The behaviour of the products referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which are not known to Huntsman Advanced Materials. It is the responsibility of the user to evaluate the manufacturing circumstances and the final product under actual end-use requirements and to adequately advise and warn purchasers and users thereof.

Products may be toxic and require special precautions in handling. The user should obtain Safety Data Sheets from Huntsman Advanced Materials containing detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards.

Hazards, toxicity and behaviour of the products may differ when used with other materials and are dependent on manufacturing circumstances or other processes. Such hazards, toxicity and behaviour should be determined by the user and made known to handlers, processors and end users.

Except where explicitly agreed otherwise, the sale of products referred to in this publication is subject to the general terms and conditions of sale of Huntsman Advanced Materials LLC or of its affiliated companies including without limitation, Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA, Huntsman Advanced Materials Americas Inc., Huntsman Advanced Materials (UAE) FZE, Huntsman Advanced Materials (Guangdong) Company Limited, and Huntsman Advanced Materials (Hong Kong) Ltd.

Huntsman Advanced Materials is an international business unit of Huntsman Corporation. Huntsman Advanced Materials trades through Huntsman affiliated companies in different countries including but not limited to Huntsman Advanced Materials LLC in the USA and Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA in Europe.

All trademarks mentioned are either property of or licensed to Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all, countries.  
 Copyright © 2012 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.



Product Information

**LITESTONE™**  
 Systems for Composites

## Olin LITESTONE™ Filament Winding System

LITESTONE 2210E Epoxy Resin

LITESTONE 2212H Hardener

Please use this Technical Data Sheet (TDS) in conjunction with this product's country-specific Safety Data Sheet (SDS) and the Safe Use conditions as described therein. Current Safety Data Sheets can be requested from Olin at [info@olinbc.com](mailto:info@olinbc.com)

### Description

The epoxy-based system LITESTONE 2210E/2212H has been developed for high temperature Filament Winding applications and consists of an epoxy resin and an anhydride hardener. This system is intended to provide excellent thermal and chemical resistance with ease of processability and outstanding pot-life due to its low viscosity at ambient conditions. This epoxy system is particularly suitable for the production of large and thick filament wound composite parts used in the Oil, Gas, and Chemical industry.

### Applications

The system LITESTONE 2210E/2212H is recommended for the manufacture of structural composites for the Oil, Gas and Chemical industry such as:

- Pressure vessels
- Pipes
- Tanks

Due to the high potential Tg of up to 210°C this system is especially suitable when high service temperatures are desired.

Depending on the processing parameters the system might also be suitable for other manufacturing techniques like resin transfer molding (RTM) or resin infusion.

### Processing Methods and Conditions

The Olin Epoxy LITESTONE 2210E/2212H Filament Winding system is designed for long pot life and open time at room temperature and is therefore especially suitable for the manufacture of big structural composite parts. Cure schedules can be tailored to each application. Accordingly, times, temperatures and ramp rates should be adjusted such that the entire composite article receives sufficient heat history to attain full properties.

More information can be obtained by contacting Olin Epoxy local technical support teams.

### Typical Properties Of System Components

Property <sup>(1)</sup>	LITESTONE 2210E Epoxy Resin	LITESTONE 2212H Hardener
Viscosity @ 25 °C [mPa·s] ISO 3219	2000 - 3000	300 – 800
Density @ 25 °C [g/cm <sup>3</sup> ] ASTM D4052	1.2	1.2
Shelf Life [Months] <sup>(2)</sup>	24	12

(1) Typical properties, not to be construed as specifications  
(2) If stored in a dry and cool place in the unopened container

### Mixing and Handling

The Olin Filament Winding System should be mixed in the following mix ratios (recommended ratio):

	LITESTONE 2210E Epoxy Resin	LITESTONE 2212H Hardener
Parts by weight	100	125

### Typical Properties of Mixed System

Property	Value <sup>(1)</sup>
Viscosity @ 25 °C [mPa·s] ISO 3219	900 - 1100
Gel Time @ 25 °C [h] Gelnom Instrument	12
Gel Time @ 140 °C [s] Gelnom Instrument	627

(1) Typical values, not to be construed as specifications

### Properties of Cured System

Property <sup>(1)</sup>	Value <sup>(2)</sup>
T <sub>g</sub> [°C] DSC, midpoint, 10 K/min	210-220
Tensile Strength [MPa] ISO 527-2	65
Tensile Modulus [GPa] ISO 527-2	2.8
Elongation at Break [%] ISO 527-2	5.0

(1) Properties measured after cure cycle of 2 h @ 90 °C + 2h 150 °C + 2 h @ 210 °C  
(2) Typical values, not to be construed as specifications

## Product Stewardship

Olin Corporation has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis of our Product Stewardship philosophy by which we assess the health and environmental information on our products and then take the appropriate steps to protect employee and public health and the environment.

Olin encourages its customers and potential users of Olin products to review their applications for such products from the standpoint of human health and environmental quality. To help ensure that Olin products are not used in ways for which they were not intended or tested, Olin personnel are available to assist customers in dealing with ecological and product safety considerations. Your Olin sales representative can arrange for the proper contacts.

## Regulatory Datasheets (RDS)

Olin Corporation provides information on the regulatory status of its products under prominent regulatory programs in the Regulatory Datasheet (RDS). Regulatory Datasheets can be requested from Olin at [info@olinbc.com](mailto:info@olinbc.com)

### Contact information:

USA: 1 844 238 3445  
 Argentina: 54 1150789792  
 Brazil: 55 6135500717  
 Canada: 1 877 304 4442  
 China: 86 4008859485  
 France: 33 176361145  
 Germany: 49 41417693000  
 Hong Kong: 852 58081886  
 Italy: 39 0694805761  
 Japan: 81 345406770  
 Mexico: 52 5553518395  
 Russia: 7 4996092327  
 Singapore: 65 31632006  
 South Korea: 82 260221296  
 United Kingdom: 44 8000869047

<http://www.OlinEpoxy.com>

Notice: No freedom from any patent or other intellectual property rights owned by Olin or others is to be inferred. Olin assumes no obligation or liability for the information in this document. The information provided herein is presented in good faith and is based on the best of Olin's knowledge, information, and belief. Since use conditions at non-Olin facilities are beyond Olin's control and government requirements may differ from one location to another and may change with time, it is solely the Buyer's responsibility to determine whether Olin's products are appropriate for the Buyer's use, and to assure the Buyer's workplace, use, and disposal practices are in compliance with applicable government requirements. Consequently, Olin assumes no obligation or liability for use of these materials and makes no warranty, express or implied. The user of the information provided is solely responsible for compliance with any applicable government requirements. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.





**ANEXO B**

MSDS Resinas



# SAFETY DATA SHEET

FOR INDUSTRIAL USE ONLY

EPON™ Resin 826

## Section 1. Product and company identification

GHS product identifier : EPON™ Resin 826  
 MSDS Number : K122A  
 Product type : Epoxy Resin

Manufacturer/Supplier/Importer : Hexion Inc.  
 180 East Broad Street  
 Columbus, Ohio  
 43215 USA

Contact person : 4information@hexion.com

Telephone : For additional health and safety or regulatory information, call  
 1 888 443 9466.

Emergency telephone number : For Emergency Medical Assistance  
 Call Health & Safety Information Services  
 1-866-303-6949

For Emergency Transportation Information  
 CHEMTREC US Domestic (800) 424-9300  
 CHEMTREC International (703) 527-3887  
 CANUTEC CA Domestic (613) 996-6666

## Section 2. Hazards identification

Classification of the substance or mixture : SKIN CORROSION/IRRITATION - Category 2  
 SERIOUS EYE DAMAGE/ EYE IRRITATION - Category 2A  
 SKIN SENSITIZATION - Category 1  
 SPECIFIC TARGET ORGAN TOXICITY (SINGLE EXPOSURE)  
 [Respiratory tract irritation] - Category 3

### GHS label elements

Hazard pictograms : 

Signal word : Warning

Hazard statements : H315 Causes skin irritation.  
 H319 Causes serious eye irritation.  
 H317 May cause an allergic skin reaction.  
 H335 May cause respiratory irritation.

Version: 26.0

Date of issue/Date of revision: 06/02/2015

Date of previous issue: 02/01/2015

Precautionary statements

- General** : Not applicable.
- Prevention** : Wear protective gloves.  
Wear eye or face protection.  
Use only outdoors or in a well-ventilated area.  
Avoid breathing vapor.  
Wash hands thoroughly after handling.  
Contaminated work clothing should not be allowed out of the workplace.
- Response** : **IF INHALED:**  
Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.  
Call a POISON CENTER or physician if you feel unwell.  
**IF ON SKIN:**  
Wash with plenty of soap and water.  
Take off contaminated clothing.  
Wash contaminated clothing before reuse.  
If skin irritation or rash occurs:  
Get medical attention.  
**IF IN EYES:**  
Rinse cautiously with water for several minutes.  
Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.  
If eye irritation persists:  
Get medical attention.
- Storage** : Store locked up.
- Disposal** : Dispose of contents and container in accordance with all local, regional, national and international regulations.
- Other hazards which do not result in classification** : None known.

**Section 3. Composition/information on ingredients**

Substance/mixture : Mixture

Ingredient name	% by weight	CAS number
4,4'-Isopropylidenediphenol-Epichlorohydrin Copolymer	100	25068-38-6

There are no additional ingredients present which, within the current knowledge of the supplier and in the concentrations applicable, are classified as hazardous to health or the environment and hence require reporting in this section.

Occupational exposure limits, if available, are listed in Section 8.

**Section 4. First aid measures**Description of necessary first aid measures

Version: 26.0

Date of issue/Date of revision: 06/02/2015

Date of previous issue: 02/01/2015

<b>Eye contact</b>	:	Immediately flush eyes with plenty of water, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Check for and remove any contact lenses. Continue to rinse for at least 10 minutes. Get medical attention.
<b>Inhalation</b>	:	Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If it is suspected that fumes are still present, the rescuer should wear an appropriate mask or self-contained breathing apparatus. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Get medical attention. If necessary, call a poison center or physician. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.
<b>Skin contact</b>	:	Wash with plenty of soap and water. Remove contaminated clothing and shoes. Wash contaminated clothing thoroughly with water before removing it, or wear gloves. Continue to rinse for at least 10 minutes. Get medical attention. In the event of any complaints or symptoms, avoid further exposure. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse.
<b>Ingestion</b>	:	Wash out mouth with water. Remove dentures if any. Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If material has been swallowed and the exposed person is conscious, give small quantities of water to drink. Stop if the exposed person feels sick as vomiting may be dangerous. Do not induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. If vomiting occurs, the head should be kept low so that vomit does not enter the lungs. Get medical attention if adverse health effects persist or are severe. Never give anything by mouth to an unconscious person. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.

**Indication of immediate medical attention and special treatment needed, if necessary**

<b>Notes to physician</b>	:	Treat symptomatically. Contact poison treatment specialist immediately if large quantities have been ingested or inhaled.
<b>Specific treatments</b>	:	No specific treatment.
<b>Protection of first aid personnel</b>	:	No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. If it is suspected that fumes are still present, the rescuer should wear an appropriate mask or self-contained breathing apparatus. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Wash contaminated clothing thoroughly with water before removing it, or wear gloves.

See toxicological information (Section 11)

## Section 5. Fire-fighting measures

**Extinguishing media**

<b>Suitable extinguishing media</b>	:	Use an extinguishing agent suitable for the surrounding fire.
<b>Unsuitable extinguishing media</b>	:	None known.

<b>Specific hazards arising from the chemical</b>	:	In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst.
<b>Hazardous thermal</b>	:	Decomposition products may include the following materials:

decomposition products	carbon oxides:Decomposition products may include the following materials: carbon dioxide carbon monoxide halogenated compounds
Special protective actions for fire-fighters	: Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training.
Special protective equipment for fire-fighters	: Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode.

## Section 6. Accidental release measures

### Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

For non-emergency personnel	: No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Do not touch or walk through spilled material. Avoid breathing vapor or mist. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment.
For emergency responders	: If specialised clothing is required to deal with the spillage, take note of any information in Section 8 on suitable and unsuitable materials. See also the information in "For non-emergency personnel".
Environmental precautions	: Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers. Inform the relevant authorities if the product has caused environmental pollution (sewers, waterways, soil or air).

### Methods and material for containment and cleaning up

Small spill	: Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Dilute with water and mop up if water-soluble. Alternatively, or if water-insoluble, absorb with an inert dry material and place in an appropriate waste disposal container. Dispose of via a licensed waste disposal contractor.
Large spill	: Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Approach release from upwind. Prevent entry into sewers, water courses, basements or confined areas. Wash spillages into an effluent treatment plant or proceed as follows. Contain and collect spillage with non-combustible, absorbent material e.g. sand, earth, vermiculite or diatomaceous earth and place in container for disposal according to local regulations (see section 13 of SDS). Dispose of via a licensed waste disposal contractor. Contaminated absorbent material may pose the same hazard as the spilled product. Note: see section 1 of SDS for emergency contact information and section 13 of SDS for waste disposal.

## Section 7. Handling and storage

### Precautions for safe handling

<b>Protective measures</b>	:	Put on appropriate personal protective equipment (see section 8 of SDS). Persons with a history of skin sensitization problems should not be employed in any process in which this product is used. Do not get in eyes or on skin or clothing. Do not ingest. Avoid breathing vapor or mist. Use only with adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Keep in the original container or an approved alternative made from a compatible material, kept tightly closed when not in use. Empty containers retain product residue and can be hazardous. Do not reuse container.
<b>Advice on general occupational hygiene</b>	:	Eating, drinking and smoking should be prohibited in areas where this material is handled, stored and processed. Workers should wash hands and face before eating, drinking and smoking. Remove contaminated clothing and protective equipment before entering eating areas. See also Section 8 for additional information on hygiene measures.
<b>Conditions for safe storage, including any incompatibilities</b>	:	Store in accordance with local regulations. Store in original container protected from direct sunlight in a dry, cool and well-ventilated area, away from incompatible materials (see section 10 of SDS) and food and drink. Store locked up. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Containers that have been opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage. Do not store in unlabeled containers. Use appropriate containment to avoid environmental contamination.

## Section 8. Exposure controls/personal protection

### Control parameters

#### Occupational exposure limits

None.

<b>Recommended monitoring procedures</b>	:	If this product contains ingredients with exposure limits, personal, workplace atmosphere or biological monitoring may be required to determine the effectiveness of the ventilation or other control measures and/or the necessity to use respiratory protective equipment.
<b>Appropriate engineering controls</b>	:	Use only with adequate ventilation. If user operations generate dust, fumes, gas, vapor or mist, use process enclosures, local exhaust ventilation or other engineering controls to keep worker exposure to airborne contaminants below any recommended or statutory limits.
<b>Environmental exposure controls</b>	:	Emissions from ventilation or work process equipment should be checked to ensure they comply with the requirements of environmental protection legislation. In some cases, fume scrubbers, filters or engineering modifications to the process equipment will be necessary to reduce emissions to acceptable levels.

### Individual protection measures

<b>Hygiene measures</b>	:	Wash hands, forearms and face thoroughly after handling chemical products, before eating, smoking and using the lavatory and at the end of the working period. Appropriate techniques should be used to remove potentially contaminated clothing. Contaminated work clothing should not be allowed out of the workplace. Wash contaminated clothing before reusing. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.
-------------------------	---	--

**Eye/face protection** : Safety eyewear complying with an approved standard should be used when a risk assessment indicates this is necessary to avoid exposure to liquid splashes, mists, gases or dusts. If contact is possible, the following protection should be worn, unless the assessment indicates a higher degree of protection: chemical splash goggles.

#### Skin protection

**Hand protection** : Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary. Considering the parameters specified by the glove manufacturer, check during use that the gloves are still retaining their protective properties. It should be noted that the time to breakthrough for any glove material may be different for different glove manufacturers. In the case of mixtures, consisting of several substances, the protection time of the gloves cannot be accurately estimated.

**Body protection** : Personal protective equipment for the body should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

**Other skin protection** : Appropriate footwear and any additional skin protection measures should be selected based on the task being performed and the risks involved and should be approved by a specialist before handling this product.

**Respiratory protection** : Use a properly fitted, air-purifying or air-fed respirator complying with an approved standard if a risk assessment indicates this is necessary. Respirator selection must be based on known or anticipated exposure levels, the hazards of the product and the safe working limits of the selected respirator.

## Section 9. Physical and chemical properties

### Appearance

<b>Physical state</b>	: Viscous liquid.
<b>Color</b>	: Clear.
<b>Odor</b>	: Not available
<b>Odor threshold</b>	: Not available
<b>pH</b>	: Not available
<b>Melting point/ Freezing point</b>	: Not available
<b>Boiling point</b>	: 260 °C (500.00 °F)
<b>Flash point</b>	: Pensky-Martens Closed Cup: 249 °C (480.20 °F) (ASTM D 93)
<b>Burning time</b>	: Not available
<b>Burning rate</b>	: Not available
<b>Evaporation rate</b>	: Not available
<b>Flammability (solid, gas)</b>	: Not available
<b>Lower and upper explosive (flammable) limits</b>	: Lower: Not available Upper: Not available
<b>Vapor pressure</b>	: 0.03 mbar @ 77 °C (170.60 °F)
<b>Vapor density</b>	: Not available
<b>Relative density</b>	: 1.17

Solubility	:	Not available
Solubility in water	:	Negligible
Partition coefficient: n-octanol/water	:	Not available
Auto-ignition temperature	:	Not available
Decomposition temperature	:	Not available
SADT	:	Not available
Viscosity	:	Dynamic: Not available Kinematic: Not available

**Other information**

No additional information.

<b>Section 10. Stability and reactivity</b>
---

Reactivity	:	Stable under normal conditions.
Chemical stability	:	The product is stable.
Possibility of hazardous reactions	:	Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.
Conditions to avoid	:	Strong oxidizer, Strong oxidizer,
Incompatible materials	:	Reactive or incompatible with the following materials: oxidizing materials strong acids, strong alkalis,
Hazardous decomposition products	:	Decomposition products may include the following materials:, carbon oxides Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.
Other hazards	:	Reacts with considerable heat release with some curing agents.

<b>Section 11. Toxicological information</b>
--

Information on toxicological effectsAcute toxicity

Product/ingredient name	Result	Species	Dose	Exposure
4,4'-Isopropylidenediphenol-Epichlorohydrin Copolymer	LD50 Oral	Rat	11,400 mg/kg	-
	LD50 Dermal	Rat	2,000 mg/kg	-

Conclusion/Summary : Not available

Irritation/Corrosion

Product/ingredient name	Result	Species	Score	Exposure	Observation
4,4'-Isopropylidenediphenol-	Skin -	Rabbit	1.5 - 2		-

Version: 26.0

Date of issue/Date of revision: 06/02/2015

Date of previous issue: 02/01/2015

Epichlorohydrin Copolymer	Erythema/E schar 404 Acute Dermal Irritation/Co rosion				
	Skin - Edema 404 Acute Dermal Irritation/Co rosion	Rabbit	1.0 - 1.5		-
	eyes - - 405 Acute Eye Irritation/Co rosion	Rabbit	0		-
	eyes - Redness of the conjunctiva e	Rabbit	0.7		-
	Skin - Moderate irritant	Rabbit		24 hrs	-
	Skin - Severe irritant	Rabbit		24 hrs	-
	eyes - Mild irritant	Rabbit			-

**Conclusion/Summary**

Skin : Not available  
 eyes : Not available  
 Respiratory : Not available

**Sensitization****Conclusion/Summary**

Skin : Not available  
 Respiratory : Not available

**Mutagenicity****Conclusion/Summary**

: Not available

**Carcinogenicity****Conclusion/Summary**

: Not available

**Reproductive toxicity**

Product/ingredient name	Maternal toxicity	Fertility	Development toxin	Species	Dose	Exposure
4,4'- Isopropylidenediphenol -Epichlorohydrin Copolymer	-	-	-	-	-	-

<b>Remarks:</b>	No adverse reproductive effects were observed in an O.E.C.D. Test Guideline no. 416 GLP two-generation rat oral gavage study conducted up to a high dose level of 750 mg/kg/day that resulted in adult body weight decrements.
-----------------	--

**Conclusion/Summary** : Not available

#### Teratogenicity

**Conclusion/Summary** : Not available

#### Specific target organ toxicity (single exposure)

Product/ingredient name	Category	Route of exposure	Target organs
4,4'-Isopropylidenediphenol-Epichlorohydrin Copolymer	Category 3		Respiratory tract irritation

#### Specific target organ toxicity (repeated exposure)

Not available

#### Aspiration hazard

Not available

**Information on the likely routes of exposure** : Not available

#### Potential acute health effects

**Eye contact** : Causes serious eye irritation.  
**Inhalation** : May cause respiratory irritation.  
**Skin contact** : Causes skin irritation. May cause an allergic skin reaction.  
**Ingestion** : Irritating to mouth, throat and stomach.

#### Symptoms related to the physical, chemical and toxicological characteristics

**Eye contact** : Adverse symptoms may include the following:  
 pain or irritation  
 watering  
 redness  
**Inhalation** : Adverse symptoms may include the following:  
 respiratory tract irritation  
 coughing  
**Skin contact** : Adverse symptoms may include the following:  
 irritation  
 redness  
**Ingestion** : No specific data.

#### Delayed and immediate effects and also chronic effects from short and long term exposure

##### Short term exposure

**Potential immediate effects** : Not available  
**Potential delayed effects** : Not available

##### Long term exposure

**Potential immediate effects** : Not available  
**Potential delayed effects** : Not available

Potential chronic health effects

Conclusion/Summary	:	Not available
General	:	Once sensitized, a severe allergic reaction may occur when subsequently exposed to very low levels.
Carcinogenicity	:	No known significant effects or critical hazards.
Mutagenicity	:	No known significant effects or critical hazards.
Teratogenicity	:	No known significant effects or critical hazards.
Developmental effects	:	No known significant effects or critical hazards.
Fertility effects	:	No known significant effects or critical hazards.

Numerical measures of toxicityAcute toxicity estimates

Not available

<b>Section 12. Ecological information</b>
---

Toxicity

Product/ingredient name	Result	Species	Exposure
reaction product: bisphenol-A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight $\leq$ 700)			
	Acute LC50 1.3 mg/l - 203 Fish, Acute Toxicity Test	Fish - Fish	96 h
	Acute EC50 2.1 mg/l - 202 Daphnia sp. Acute Immobilization Test and Reproduction Test	Aquatic invertebrates. Water flea	48 h
	Acute NOEC 0.3 mg/l - 211 Daphnia Magna Reproduction Test	Aquatic invertebrates. Water flea	21 d
	Acute LC50 > 11 mg/l -	Aquatic plants - Algae	72 h

Conclusion/Summary	:	Not available
--------------------	---	---------------

Persistence/degradability

Conclusion/Summary	:	Not available
--------------------	---	---------------

Bioaccumulative potential

Product/ingredient name	LogPow	BCF	Potential
4,4'-Isopropylidenediphenol-Epichlorohydrin Copolymer	2.64 - 3.78	3 - 31 31.00	low

Mobility in soil

Soil/water partition coefficient (KOC)	:	Not available
Other adverse effects	:	No known significant effects or critical hazards.

### Section 13. Disposal considerations

**Disposal methods** : The generation of waste should be avoided or minimized wherever possible. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements. Dispose of surplus and non-recyclable products via a licensed waste disposal contractor. Waste should not be disposed of untreated to the sewer unless fully compliant with the requirements of all authorities with jurisdiction. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible. This material and its container must be disposed of in a safe way. Care should be taken when handling emptied containers that have not been cleaned or rinsed out. Empty containers or liners may retain some product residues. Avoid dispersal of spilled material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers.

### Section 14. Transport information

The data provided in this section is for information only and may not be specific to your package size or mode of transport. You will need to apply the appropriate regulations to properly classify your shipment for transportation.

#### International transport regulations

Regulatory information	UN/NA number	Proper shipping name	Classes/*PG	Reportable Quantity (RQ)
CFR		Non-regulated		
TDG		Non-regulated		
IMO/IMDG	3082	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S. (LIQUID EPOXY RESIN)	Class 9 III	
IATA (Cargo)	3082	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S. (LIQUID EPOXY RESIN)	Class 9 III	

\*PG : Packing group

**Special precautions for user** : Transport within user's premises: always transport in closed containers that are upright and secure. Ensure that persons transporting the product know what to do in the event of an accident or spillage.

### Section 15. Regulatory information

#### United States

Version: 26.0

Date of issue/Date of revision: 06/02/2015

Date of previous issue: 02/01/2015

- HCS Classification** : Irritating material  
Sensitizing material  
Target organ effects
- U.S. Federal regulations** : **United States - TSCA 12(b) - Chemical export notification:** None required.  
**United States - TSCA 5(a)2 - Final significant new use rules:** Not listed  
**United States - TSCA 5(a)2 - Proposed significant new use rules:** Not listed  
**United States - TSCA 5(e) - Substances consent order:** Not listed  
**SARA 302 Extremely Hazardous Substances:** None required.  
**SARA 302/304/311/312 hazardous chemicals:** None required.

- California Prop. 65:** : **WARNING:** This product contains less than 0.1% of a chemical known to the State of California to cause cancer.

Ingredient name	Cancer	Reproductive	No significant risk level	Maximum acceptable dosage level
Oxirane, 2-(phenoxyethyl)-	Yes.	No.	5 µg/day	No.

- United States inventory (TSCA 8b)** : All components are listed or exempted.

#### Canada

- WHMIS (Canada)** : Class D-2B: Material causing other toxic effects (Toxic).

#### Canadian lists

- Canadian NPRI** : None required.
- CEPA Toxic substances** : None required.

#### International regulations

- International lists** : **Australia inventory (AICS):** All components are listed or exempted.  
**Canada inventory:** All components are listed or exempted.  
**Japan inventory:** All components are listed or exempted.  
**China inventory (IECSC):** All components are listed or exempted.  
**Korea inventory:** All components are listed or exempted.  
**New Zealand Inventory (NZIoC):** All components are listed or exempted.  
**Philippines inventory (PICCS):** All components are listed or exempted.  
**United States inventory (TSCA 8b):** All components are listed or exempted.  
**Taiwan inventory (CSNN):** All components are listed or exempted.

## Section 16. Other information

### Hazardous Material Information System III (U.S.A.) :

*Version:* 26.0

*Date of issue/Date of revision:* 06/02/2015

*Date of previous issue:* 02/01/2015

Health	*	2
Flammability		1
Physical hazards		0

Caution: HMIS® ratings are based on a 0-4 rating scale, with 0 representing minimal hazards or risks, and 4 representing significant hazards or risks. Although HMIS® ratings are not required on MSDSs under 29 CFR 1910.1200, the preparer may choose to provide them. HMIS® ratings are to be used with a fully implemented HMIS® program. HMIS® is a registered mark of the National Paint & Coatings Association (NPCA). HMIS® materials may be purchased exclusively from J. J. Keller (800) 327-6868. The customer is responsible for determining the PPE code for this material.

Full text of abbreviated H statements : Not applicable.

#### History

Date of printing : 08/26/2015  
 Date of issue/Date of revision : 06/02/2015  
 Date of previous issue : 02/01/2015  
 Version : 26.0  
 Prepared by : Product Safety Stewardship  
 Key to abbreviations : ATE = Acute Toxicity Estimate  
 BCF = Bioconcentration Factor  
 GHS = Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals  
 IATA = International Air Transport Association  
 IBC = Intermediate Bulk Container  
 IMDG = International Maritime Dangerous Goods  
 LogPow = logarithm of the octanol/water partition coefficient  
 MARPOL 73/78 = International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978. ("Marpol" = marine pollution)  
 RID = The Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail  
 UN = United Nations

References : Not available

#### Notice to reader

The information provided herein was believed by Hexion Inc. ("Hexion") to be accurate at the time of preparation or prepared from sources believed to be reliable, but it is the responsibility of the user to investigate and understand other pertinent sources of information, to comply with all laws and procedures applicable to the safe handling and use of the product and to determine the suitability of the product for its intended use. All products supplied by Hexion are subject to Hexion's terms and conditions of sale. HEXION MAKES NO WARRANTY, EXPRESSED OR IMPLIED, CONCERNING THE PRODUCT OR THE MERCHANTABILITY OR FITNESS THEREOF FOR ANY PURPOSE OR CONCERNING THE ACCURACY OF ANY INFORMATION PROVIDED BY HEXION, except that the product shall conform to Hexion's specifications. Nothing contained herein constitutes an offer for the sale of any product.

© and (TM) Licensed trademarks of Hexion Inc.

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

# SAFETY DATA SHEET

**HUNTSMAN**  
Enriching lives through innovation

ARALDITE® LY 1564 SP

## SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

### 1.1 Product identifier

Product name : ARALDITE® LY 1564 SP  
Product code : 00053004  
Product description :

### 1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Product use : Formulated resin for structural composites

### 1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Supplier : Huntsman Advanced Materials (Europe)BVBA  
Everslaan 45  
3078 Everberg / Belgium  
Tel.: +41 61 299 20 41  
Fax: +41 61 299 20 40

e-mail address of person responsible for this SDS : Global\_Product\_EHS\_AdMat@huntsman.com

### 1.4 Emergency telephone number

#### Supplier

Telephone number : EUROPE: +32 35 75 1234  
France ORFILA: +33(0)145425959  
ASIA: +65 6336-6011  
China: +86 20 39377888  
Australia: 1800 786 152  
New Zealand: 0800 767 437  
USA: +1/800/424.9300

## SECTION 2: Hazards identification

### 2.1 Classification of the substance or mixture

Product definition : Mixture

#### Classification according to Directive 1999/45/EC [DPD]

The product is classified as dangerous according to Directive 1999/45/EC and its amendments.

Classification : Xi; R36/38  
R43  
N; R51/53

Human health hazards : Irritating to eyes and skin. May cause sensitisation by skin contact.

Environmental hazards : Toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

See Section 16 for the full text of the R phrases or H statements declared above.

See Section 11 for more detailed information on health effects and symptoms.

### 2.2 Label elements

Hazard symbol or symbols :



Indication of danger : Irritant, Dangerous for the environment

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

1/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>				2/16
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004	
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1	

## SECTION 2: Hazards identification

<b>Risk phrases</b>	: R36/38- Irritating to eyes and skin. R43- May cause sensitisation by skin contact. R51/53- Toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.
<b>Safety phrases</b>	: S24- Avoid contact with skin. S37- Wear suitable gloves. S61- Avoid release to the environment. Refer to special instructions/safety data sheet.
<b>Hazardous ingredients</b>	: reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700) butanedioldiglycidyl ether
<b>Supplemental label elements</b>	: Contains epoxy constituents. See information supplied by the manufacturer.
<b>Special packaging requirements</b>	
Containers to be fitted with child-resistant fastenings	: Not applicable.
Tactile warning of danger	: Not applicable.

### 2.3 Other hazards

Other hazards which do not result in classification	: Not available.
---	------------------

## SECTION 3: Composition/information on ingredients

Substance/mixture : Mixture

Product/ingredient name	Identifiers	%	Classification		Type
			67/548/EEC	Regulation (EC) No. 1272/2008 [CLP]	
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	REACH #: 01-2119456619-26 CAS: 25068-38-6	60 - 100	Xi; R36/38  R43 N; R51/53	Skin Irrit. 2, H315  Eye Irrit. 2, H319 Skin Sens. 1, H317 Aquatic Chronic 2, H411	[1]
butanedioldiglycidyl ether	REACH #: 01-2119494060-45 CAS: 2425-79-8	13 - 30	Xn; R20/21  Xi; R36/38 R43 R52/53  See section 16 for the full text of the R-phrases declared above	Acute Tox. 4, H312  Acute Tox. 4, H332 Skin Irrit. 2, H315 Eye Irrit. 2, H319 Skin Sens. 1, H317  See Section 16 for the full text of the H statements declared above.	[1]

There are no additional ingredients present which, within the current knowledge of the supplier and in the concentrations applicable, are classified as hazardous to health or the environment and hence require reporting in this section.

### Type

[1] Substance classified with a health or environmental hazard

[2] Substance with a workplace exposure limit

[3] Substance meets the criteria for PBT according to Regulation (EC) No. 1907/2006, Annex XIII

[4] Substance meets the criteria for vPvB according to Regulation (EC) No. 1907/2006, Annex XIII

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

2/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		3/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

### SECTION 3: Composition/information on ingredients

Occupational exposure limits, if available, are listed in Section 8.

### SECTION 4: First aid measures

#### 4.1 Description of first aid measures

- Eye contact** : Immediately flush eyes with plenty of water, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Check for and remove any contact lenses. Continue to rinse for at least 10 minutes. Get medical attention.
- Inhalation** : Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Get medical attention if adverse health effects persist or are severe. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.
- Skin contact** : Flush contaminated skin with plenty of water. Remove contaminated clothing and shoes. Wash contaminated clothing thoroughly with water before removing it, or wear gloves. Continue to rinse for at least 10 minutes. Get medical attention. In the event of any complaints or symptoms, avoid further exposure. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse.
- Ingestion** : Wash out mouth with water. Remove dentures if any. Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing. If material has been swallowed and the exposed person is conscious, give small quantities of water to drink. Stop if the exposed person feels sick as vomiting may be dangerous. Do not induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. If vomiting occurs, the head should be kept low so that vomit does not enter the lungs. Get medical attention if adverse health effects persist or are severe. Never give anything by mouth to an unconscious person. If unconscious, place in recovery position and get medical attention immediately. Maintain an open airway. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.
- Protection of first-aiders** : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation. Wash contaminated clothing thoroughly with water before removing it, or wear gloves.

#### 4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

##### Potential acute health effects

- Eye contact** : Irritating to eyes.
- Inhalation** : No known significant effects or critical hazards.
- Skin contact** : Irritating to skin. May cause sensitisation by skin contact.
- Ingestion** : Irritating to mouth, throat and stomach.

##### Over-exposure signs/symptoms

- Eye contact** : Adverse symptoms may include the following:  
irritation  
watering  
redness
- Inhalation** : No specific data.
- Skin contact** : Adverse symptoms may include the following:  
irritation  
redness
- Ingestion** : No specific data.

#### 4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

- Notes to physician** : Treat symptomatically. Contact poison treatment specialist immediately if large quantities have been ingested or inhaled.

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

3/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		<b>4/16</b>	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

#### **SECTION 4: First aid measures**

**Specific treatments** : Symptomatic treatment and supportive therapy as indicated. Following severe exposure the patient should be kept under medical review for at least 48 hours.

#### **SECTION 5: Firefighting measures**

##### **5.1 Extinguishing media**

**Suitable extinguishing media** : Use an extinguishing agent suitable for the surrounding fire.

**Unsuitable extinguishing media** : None known.

##### **5.2 Special hazards arising from the substance or mixture**

**Hazards from the substance or mixture** : In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst.

**Hazardous thermal decomposition products** : Decomposition products may include the following materials:  
carbon dioxide  
carbon monoxide

##### **5.3 Advice for firefighters**

**Special precautions for fire-fighters** : Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. This material is toxic to aquatic organisms. Fire water contaminated with this material must be contained and prevented from being discharged to any waterway, sewer or drain.

**Special protective equipment for fire-fighters** : Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode. Clothing for fire-fighters (including helmets, protective boots and gloves) conforming to European standard EN 469 will provide a basic level of protection for chemical incidents.

#### **SECTION 6: Accidental release measures**

##### **6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures**

**For non-emergency personnel** : No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Do not touch or walk through spilt material. Avoid breathing vapour or mist. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment.

**For emergency responders** : If specialised clothing is required to deal with the spillage, take note of any information in Section 8 on suitable and unsuitable materials. See also Section 8 for additional information on hygiene measures.

##### **6.2 Environmental precautions**

: Avoid dispersal of spilt material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers. Inform the relevant authorities if the product has caused environmental pollution (sewers, waterways, soil or air). Water polluting material. May be harmful to the environment if released in large quantities.

##### **6.3 Methods and materials for containment and cleaning up**

**Small spill** : Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Dilute with water and mop up if water-soluble. Alternatively, or if water-insoluble, absorb with an inert dry material and place in an appropriate waste disposal container. Dispose of via a licensed waste disposal contractor.

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

4/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		<b>5/16</b>	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

## SECTION 6: Accidental release measures

- Large spill** : Stop leak if without risk. Move containers from spill area. Approach the release from upwind. Prevent entry into sewers, water courses, basements or confined areas. Wash spillages into an effluent treatment plant or proceed as follows. Contain and collect spillage with non-combustible, absorbent material e.g. sand, earth, vermiculite or diatomaceous earth and place in container for disposal according to local regulations. Dispose of via a licensed waste disposal contractor. Contaminated absorbent material may pose the same hazard as the spilt product.
- 6.4 Reference to other sections** : See Section 1 for emergency contact information.  
See Section 8 for information on appropriate personal protective equipment.  
See Section 13 for additional waste treatment information.

## SECTION 7: Handling and storage

The information in this section contains generic advice and guidance. The list of Identified Uses in Section 1 should be consulted for any available use-specific information provided in the Exposure Scenario(s).

### 7.1 Precautions for safe handling

- Protective measures** : Put on appropriate personal protective equipment (see Section 8). Persons with a history of skin sensitization problems should not be employed in any process in which this product is used. Do not get in eyes or on skin or clothing. Do not ingest. Avoid breathing vapour or mist. Avoid release to the environment. Refer to special instructions/safety data sheet. Keep in the original container or an approved alternative made from a compatible material, kept tightly closed when not in use. Empty containers retain product residue and can be hazardous. Do not reuse container.
- Advice on general occupational hygiene** : Eating, drinking and smoking should be prohibited in areas where this material is handled, stored and processed. Workers should wash hands and face before eating, drinking and smoking. Remove contaminated clothing and protective equipment before entering eating areas. See also Section 8 for additional information on hygiene measures.

- 7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities** : Store between the following temperatures: 2 to 40°C (35.6 to 104°F). Store in accordance with local regulations. Store in original container protected from direct sunlight in a dry, cool and well-ventilated area, away from incompatible materials (see section 10) and food and drink. Keep container tightly closed and sealed until ready for use. Containers that have been opened must be carefully resealed and kept upright to prevent leakage. Do not store in unlabelled containers. Use appropriate containment to avoid environmental contamination.

- Storage hazard class Huntsman Advanced Materials** : Storage class 10, Environmentally hazardous liquids

### 7.3 Specific end use(s)

- Recommendations** : Not available.
- Industrial sector specific solutions** : Not available.

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

5/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

ARALDITE LY 1564 SP		6/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

## SECTION 8: Exposure controls/personal protection

The information in this section contains generic advice and guidance. The list of Identified Uses in Section 1 should be consulted for any available use-specific information provided in the Exposure Scenario(s).

### 8.1 Control parameters

#### Occupational exposure limits

No exposure limit value known.

**Recommended monitoring procedures** : If this product contains ingredients with exposure limits, personal, workplace atmosphere or biological monitoring may be required to determine the effectiveness of the ventilation or other control measures and/or the necessity to use respiratory protective equipment. Reference should be made to European Standard EN 689 for methods for the assessment of exposure by inhalation to chemical agents and national guidance documents for methods for the determination of hazardous substances.

#### Derived effect levels

No DELs available.

#### Predicted effect concentrations

No PECs available.

### 8.2 Exposure controls

**Appropriate engineering controls** : No special ventilation requirements. Good general ventilation should be sufficient to control worker exposure to airborne contaminants. If this product contains ingredients with exposure limits, use process enclosures, local exhaust ventilation or other engineering controls to keep worker exposure below any recommended or statutory limits.

#### Individual protection measures

**Hygiene measures** : Wash hands, forearms and face thoroughly after handling chemical products, before eating, smoking and using the lavatory and at the end of the working period. Appropriate techniques should be used to remove potentially contaminated clothing. Contaminated work clothing should not be allowed out of the workplace. Wash contaminated clothing before reusing. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.

**Eye/face protection** : Safety eyewear complying with an approved standard should be used when a risk assessment indicates this is necessary to avoid exposure to liquid splashes, mists or dusts.

#### Skin protection

**Hand protection** : Chemical-resistant, impervious gloves complying with an approved standard should be worn at all times when handling chemical products if a risk assessment indicates this is necessary.

**Material of gloves for long term application (BTT>480min):** : Ethyl Vinyl Alcohol Laminate (EVAL), butyl rubber

**Material of gloves for short term/splash application (10min<BTT<480min):** : neoprene, nitrile rubber

**(BTT = Break Through Time)**

Use gloves approved to relevant standards e.g. EN 374 (Europe), F739 (US). Suitability and durability of a glove is dependent on usage, e.g. frequency and duration of contact, chemical resistance of glove material and dexterity. Always seek advice from glove suppliers. Additional information can be found for instance at [www.gisbau.de](http://www.gisbau.de).

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

6/16



Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>				<b>8/16</b>
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004	
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1	

## SECTION 10: Stability and reactivity

- 10.1 Reactivity** : No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients.
- 10.2 Chemical stability** : The product is stable.
- 10.3 Possibility of hazardous reactions** : Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.
- 10.4 Conditions to avoid** : No specific data.
- 10.5 Incompatible materials** :  
strong acids, strong bases, strong oxidising agents
- 10.6 Hazardous decomposition products** : Under normal conditions of storage and use, hazardous decomposition products should not be produced.

## SECTION 11: Toxicological information

### 11.1 Information on toxicological effects

#### Acute toxicity

Product/ingredient name	Endpoint	Species	Result	Exposure
ARALDITE® LY 1564 SP reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	LD50 Oral	Rat	>5000 mg/kg	-
	LC0 Inhalation Vapour	Rat - Male	0.00001 ppm	5 hours
butanedioldiglycidyl ether	LD50 Dermal	Rat - Male, Female	>2000 mg/kg	-
	LD50 Oral	Rat - Female	>2000 mg/kg	-
	LD50 Dermal	Rat - Male, Female	>2150 mg/kg	-
	LD50 Oral	Rat - Male, Female	1163 mg/kg	-

#### Irritation/Corrosion

Product/ingredient name	Test	Species	Result
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	OECD 404 Acute Dermal Irritation/Corrosion	Rabbit	Mild irritant
	OECD 405 Acute Eye Irritation/Corrosion	Rabbit	Mild irritant
butanedioldiglycidyl ether	OECD 404 Acute Dermal Irritation/Corrosion	Rabbit	Non-irritant.
	OECD 405 Acute Eye Irritation/Corrosion	Rabbit	Severe irritant

- Conclusion/Summary** : Not available.
- Skin** : reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700): Slightly irritating to the skin.  
butanedioldiglycidyl ether: Non-irritating to the skin.
- Eyes** : reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700): Slightly irritating to the eyes.  
butanedioldiglycidyl ether: Severely irritating to eyes.

#### Sensitiser

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

8/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		9/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

### SECTION 11: Toxicological information

Product/ingredient name	Test	Route of exposure	Species	Result
ARALDITE® LY 1564 SP reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700) butanedioldiglycidyl ether	- OECD 429 Skin Sensitisation: Local Lymph Node Assay	skin skin	Guinea pig Mouse	Sensitising Sensitising
	OECD 406 Skin Sensitization	skin	Guinea pig	Sensitising

**Conclusion/Summary** : Not available.

#### Mutagenicity

Product/ingredient name	Test	Result
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)  butanedioldiglycidyl ether	OECD 471 Bacterial Reverse Mutation Test	Positive
	OECD 476 In vitro Mammalian Cell Gene Mutation Test	Positive
	OECD 478 Genetic Toxicology: Rodent Dominant Lethal Test	Negative
	EPA OPPTS	Negative
	OECD 471 Bacterial Reverse Mutation Test	Positive
	OECD 473 In vitro Mammalian Chromosomal Aberration Test	Positive
	OECD 474 Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test	Negative

**Conclusion/Summary** : Not available.

#### Carcinogenicity

Product/ingredient name	Test	Species	Exposure	Result	Route of exposure	Target organs
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	OECD 453 Combined Chronic Toxicity/Carcinogenicity Studies	Rat	2 years; 7 days per week	Negative	Oral	-
	OECD 453 Combined Chronic Toxicity/Carcinogenicity Studies	Rat	2 years; 5 days per week	Negative	Dermal	-
	OECD 453 Combined Chronic Toxicity/Carcinogenicity Studies	Mouse	2 years; 3 days per week	Negative	Dermal	-

#### Reproductive toxicity

Product/ingredient name	Test	Species	Result/Result type	Target organs
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	OECD 416 Two-Generation Reproduction Toxicity Study	Rat	Oral: 540 mg/kg NOEL :	-

#### Teratogenicity

Date of issue / Date of revision	: 19 August 2011	9/16
----------------------------------	------------------	------

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		10/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

### SECTION 11: Toxicological information

Product/ingredient name	Test	Species	Result/Result type
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	OECD 414 Prenatal Developmental Toxicity Study	Rat - Female	>540 mg/kg NOEL :
	EPA CFR	Rabbit - Female	>300 mg/kg NOEL :
	OECD 414 Prenatal Developmental Toxicity Study	Rabbit - Female	180 mg/kg NOAEL

Information on the likely routes of exposure : Not available.

#### Potential acute health effects

Inhalation : No known significant effects or critical hazards.  
 Ingestion : Irritating to mouth, throat and stomach.  
 Skin contact : Irritating to skin. May cause sensitisation by skin contact.  
 Eye contact : Irritating to eyes.

#### Symptoms related to the physical, chemical and toxicological characteristics

Inhalation : No specific data.  
 Ingestion : No specific data.  
 Skin contact : Adverse symptoms may include the following:  
 irritation  
 redness  
 Eye contact : Adverse symptoms may include the following:  
 irritation  
 watering  
 redness

#### Delayed and immediate effects and also chronic effects from short and long term exposure

##### Short term exposure

Potential immediate effects : Not available.  
 Potential delayed effects : Not available.

##### Long term exposure

Potential immediate effects : Not available.  
 Potential delayed effects : Not available.

#### Potential chronic health effects

Product/ingredient name	Test	Result type	Result	Target organs
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	OECD 408 Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents	NOAEL	Sub-chronic NOAEL Oral	50 mg/kg -
	OECD 411 Subchronic Dermal Toxicity: 90-day Study	NOEL :	Sub-chronic NOEL : Dermal	10 mg/kg -
	OECD 411 Subchronic Dermal Toxicity: 90-day Study	NOAEL	Sub-chronic NOAEL Dermal	100 mg/kg -
butanedioldiglycidyl ether	OECD 407 Repeated Dose 28-day Oral Toxicity Study in Rodents	NOAEL	Sub-chronic NOAEL Oral	200 mg/kg -

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

10/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		11/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

### SECTION 11: Toxicological information

<b>Conclusion/Summary</b>	: Not available.
<b>General</b>	: Once sensitized, a severe allergic reaction may occur when subsequently exposed to very low levels.
<b>Carcinogenicity</b>	: No known significant effects or critical hazards.
<b>Mutagenicity</b>	: No known significant effects or critical hazards.
<b>Teratogenicity</b>	: No known significant effects or critical hazards.
<b>Developmental effects</b>	: No known significant effects or critical hazards.
<b>Fertility effects</b>	: No known significant effects or critical hazards.
<b>Other information</b>	: Not available.

### SECTION 12: Ecological information

#### 12.1 Toxicity

Product/ingredient name	Test	Endpoint	Exposure	Species	Result
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	-	Acute EC50	72 hours Static	Algae	9.4 mg/L
	OECD 202 <i>Daphnia</i> sp. Acute Immobilisation Test	Acute EC50	48 hours Static	Daphnia	1.7 mg/L
	-	Acute IC50	3 hours Static	Bacteria	>100 mg/L
	OECD 203 Fish, Acute Toxicity Test	Acute LC50	96 hours Static	Fish	1.5 mg/L
	OECD 211 <i>Daphnia</i> Magna Reproduction Test	Chronic NOEC	21 days Semi-static	Daphnia	0.3 mg/L
butanedioldiglycidyl ether	OECD 202 <i>Daphnia</i> sp. Acute Immobilisation Test	Acute EC50	24 hours Static	Daphnia	75 mg/L
	OECD 201 Alga, Growth Inhibition Test	Acute EL50	72 hours Static	Algae	>160 mg/L
	OECD 209 Activated Sludge, Respiration Inhibition Test	Acute IC50	3 hours Static	Bacteria	>100 mg/L
	OECD 203 Fish, Acute Toxicity Test	Acute LC50	96 hours Static	Fish	24 mg/L

#### 12.2 Persistence and degradability

Product/ingredient name	Test	Period	Result
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700) butanedioldiglycidyl ether	OECD Derived from OECD 301F (Biodegradation Test)	28 days	5 %
	OECD 301F Ready Biodegradability - Manometric Respirometry Test	28 days	43 %

**Conclusion/Summary** : reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700): Not readily biodegradable.

Product/ingredient name	Aquatic half-life	Photolysis	Biodegradability
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700) butanedioldiglycidyl ether	Fresh water 4.83 days Fresh water 3.58 days Fresh water 7.1 days	-	Not readily
	-	-	Not readily

#### 12.3 Bioaccumulative potential

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011 11/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		12/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

## SECTION 12: Ecological information

Product/ingredient name	LogP <sub>ow</sub>	BCF	Potential
reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)	3.242	31	low
butanedioldiglycidyl ether	-0.269	-	low

### 12.4 Mobility in soil

Soil/water partition coefficient (K<sub>oc</sub>) : Not available.

Mobility : Not available.

### 12.5 Results of PBT and vPvB assessment

Not applicable.

12.6 Other adverse effects : No known significant effects or critical hazards.

### 12.7 Other ecological information

## SECTION 13: Disposal considerations

The information in this section contains generic advice and guidance. The list of Identified Uses in Section 1 should be consulted for any available use-specific information provided in the Exposure Scenario(s).

### 13.1 Waste treatment methods

#### Product

**Methods of disposal** : The generation of waste should be avoided or minimised wherever possible. Significant quantities of waste product residues should not be disposed of via the foul sewer but processed in a suitable effluent treatment plant. Dispose of surplus and non-recyclable products via a licensed waste disposal contractor. Disposal of this product, solutions and any by-products should at all times comply with the requirements of environmental protection and waste disposal legislation and any regional local authority requirements. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible. This material and its container must be disposed of in a safe way. Care should be taken when handling emptied containers that have not been cleaned or rinsed out. Empty containers or liners may retain some product residues. Avoid dispersal of spilt material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers.

**Hazardous waste** : Yes.

#### European waste catalogue (EWC)

Waste code	Waste designation
07 02 08*	other still bottoms and reaction residues

#### Packaging

**Methods of disposal** : The generation of waste should be avoided or minimised wherever possible. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill should only be considered when recycling is not feasible.

**Special precautions** : This material and its container must be disposed of in a safe way. Care should be taken when handling emptied containers that have not been cleaned or rinsed out. Empty containers or liners may retain some product residues. Avoid dispersal of spilt material and runoff and contact with soil, waterways, drains and sewers.

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

12/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

ARALDITE LY 1564 SP		13/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

## SECTION 14: Transport information

<b>14.1 UN number</b>	<b>14.2 UN proper shipping name</b>
ADR/RID UN3082	Environmentally hazardous substance, liquid, n.o.s. BISPHENOL A EPOXY RESIN (reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700))
ADN/ADNR not available	not available
IMDG UN3082	Environmentally hazardous substance, liquid, n.o.s. (BISPHENOL A EPOXY RESIN) (reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700)). Marine pollutant (reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700))
IATA UN3082	Environmentally hazardous substance, liquid, n.o.s. (BISPHENOL A EPOXY RESIN) (reaction product: bisphenol A-(epichlorhydrin); epoxy resin (number average molecular weight < 700))

	ADR/RID	ADN/ADNR	IMDG	IATA
<b>14.3 Transport hazard class(es)</b>	9  	not available	9  	9  
<b>14.4 Packing group</b>	III		III	III
<b>14.5 Environmental hazards</b>	Yes.		Yes.	Yes.
<b>14.6 Special precautions for user</b>	Not available.		Not available.	Not available.
<b>Additional information</b>	<u>Hazard identification number</u> 90  <u>Special provisions</u> 274 335 601  <u>Tunnel code</u> E		<u>Emergency schedules (EmS)</u> F-A, S-F	<u>Passenger and Cargo Aircraft</u> Quantity limitation: 450 L Packaging instructions: 964 <u>Cargo Aircraft Only</u> Quantity limitation: 450 L Packaging instructions: 964  <u>Remarks</u> Yes

**14.7 Transport in bulk** according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code : Not applicable.

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

13/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

<b>ARALDITE LY 1564 SP</b>		<b>14/16</b>	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

## SECTION 15: Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

[EU Regulation \(EC\) No. 1907/2006 \(REACH\)](#)

[Annex XIV - List of substances subject to authorisation](#)

[Substances of very high concern](#)

None of the components are listed.

Annex XVII - Restrictions : Not applicable.

on the manufacture,  
placing on the market and  
use of certain dangerous  
substances, mixtures and  
articles

[Other EU regulations](#)

Europe inventory : All components are listed or exempted.

Black List Chemicals : Not listed

Priority List Chemicals : Not listed

Integrated pollution : Not listed

prevention and control  
list (IPPC) - Air

Integrated pollution : Not listed

prevention and control  
list (IPPC) - Water

[National regulations](#)

References : The provision of Safety Data Sheets comes under Regulation 6 of CHIP (CHIP is the recognised abbreviation for the Chemicals Hazard Information and Packaging Regulations). This is an addition to the Health and Safety at Work Act 1974.

[International regulations](#)

Chemical Weapons : Not listed

Convention List Schedule I  
Chemicals

Chemical Weapons : Not listed

Convention List Schedule II  
Chemicals

Chemical Weapons : Not listed

Convention List Schedule III  
Chemicals

15.2 Chemical Safety Assessment : This product contains substances for which Chemical Safety Assessments are still required.

## SECTION 16: Other information

✓ Indicates information that has changed from previously issued version.

Abbreviations and : ATE = Acute Toxicity Estimate  
acronyms : CLP = Classification, Labelling and Packaging Regulation [Regulation (EC) No. 1272/2008]  
DNEL = Derived No Effect Level  
EUH statement = CLP-specific Hazard statement  
PNEC = Predicted No Effect Concentration  
RRN = REACH Registration Number

[Classification according to Regulation \(EC\) No. 1272/2008 \[CLP/GHS\]](#)

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

14/16

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

ARALDITE LY 1564 SP		15/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

#### SECTION 16: Other information

Skin Irrit. 2, H315  
 Eye Irrit. 2, H319  
 Skin Sens. 1, H317  
 Aquatic Chronic 2, H411

[Procedure used to derive the classification according to Regulation \(EC\) No. 1272/2008 \[CLP/GHS\]](#)

Classification	Justification
Skin Irrit. 2, H315	Calculation method
Eye Irrit. 2, H319	Calculation method
Skin Sens. 1, H317	On basis of test data
Aquatic Chronic 2, H411	Calculation method

<b>Full text of abbreviated H statements</b>	: H312 Harmful in contact with skin. H315 Causes skin irritation. H317 May cause an allergic skin reaction. H319 Causes serious eye irritation. H332 Harmful if inhaled. H411 Toxic to aquatic life with long lasting effects.
<b>Full text of classifications [CLP/GHS]</b>	: Acute Tox. 4, H312 ACUTE TOXICITY: SKIN - Category 4 Acute Tox. 4, H332 ACUTE TOXICITY: INHALATION - Category 4 Aquatic Chronic 2, H411 AQUATIC TOXICITY (CHRONIC) - Category 2 Eye Irrit. 2, H319 SERIOUS EYE DAMAGE/ EYE IRRITATION - Category 2 Skin Irrit. 2, H315 SKIN CORROSION/IRRITATION - Category 2 Skin Sens. 1, H317 SKIN SENSITIZATION - Category 1
<b>Full text of abbreviated R phrases</b>	: R20/21- Harmful by inhalation and in contact with skin. R36/38- Irritating to eyes and skin. R43- May cause sensitisation by skin contact. R51/53- Toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment. R52/53- Harmful to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.
<b>Full text of classifications [DSD/DPD]</b>	: Xn - Harmful Xi - Irritant N - Dangerous for the environment
<b>MSDS no.</b>	: 00053004
<b>Date of printing</b>	: 19 August 2011
<b>Date of issue/ Date of revision</b>	: 19 August 2011
<b>Date of previous issue</b>	: No previous validation.
<b>Version</b>	: 1

#### [Notice to reader](#)

*While the information and recommendations in this publication are to the best of our knowledge, information and belief accurate at the date of publication, NOTHING HEREIN IS TO BE CONSTRUED AS A WARRANTY, EXPRESS OR OTHERWISE.*

*IN ALL CASES, IT IS THE RESPONSIBILITY OF THE USER TO DETERMINE THE APPLICABILITY OF SUCH INFORMATION AND RECOMMENDATIONS AND THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS OWN PARTICULAR PURPOSE.*

*THE PRODUCT MAY PRESENT HAZARDS AND SHOULD BE USED WITH CAUTION. WHILE CERTAIN HAZARDS ARE DESCRIBED IN THIS PUBLICATION, NO GUARANTEE IS MADE THAT THESE ARE THE ONLY HAZARDS THAT EXIST.*

*Hazards, toxicity and behaviour of the products may differ when used with other materials and are dependent upon the manufacturing circumstances or other processes. Such hazards, toxicity and behaviour should be determined by the user and made known to handlers, processors and end users.*

Date of issue / Date of revision	: 19 August 2011	15/16
----------------------------------	------------------	-------

Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK)

ARALDITE LY 1564 SP		16/16	
Date of printing	: 19 August 2011	MSDS no.	: 00053004
Date of issue	: 19 August 2011	Version	: 1

#### SECTION 16: Other information

ARALDITE® is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more countries, but not all countries.

*NO PERSON OR ORGANIZATION EXCEPT A DULY AUTHORIZED HUNTSMAN EMPLOYEE IS AUTHORIZED TO PROVIDE OR MAKE AVAILABLE DATA SHEETS FOR HUNTSMAN PRODUCTS. DATA SHEETS FROM UNAUTHORIZED SOURCES MAY CONTAIN INFORMATION THAT IS NO LONGER CURRENT OR ACCURATE. NO PART OF THIS DATA SHEET MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM, OR BY ANY MEANS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM HUNTSMAN. ALL REQUESTS FOR PERMISSION TO REPRODUCE MATERIAL FROM THIS DATA SHEET SHOULD BE DIRECTED TO HUNTSMAN, MANAGER, PRODUCT SAFETY AT THE ABOVE ADDRESS.*

Date of issue / Date of revision : 19 August 2011

16/16



## Material Safety Data Sheet

BLUE CUBE BRASIL COMERCIO DE  
PRODUTOS QUIMICOS LTDA

Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin

Issue Date: 28.03.2019

Print Date: 28.10.2020

BLUE CUBE BRASIL COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA encourages and expects you to read and understand the entire (M)SDS, as there is important information throughout the document. We expect you to follow the precautions identified in this document unless your use conditions would necessitate other appropriate methods or actions.

### 1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin

Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses: Composites.

COMPANY IDENTIFICATION  
BLUE CUBE BRASIL COMERCIO DE  
PRODUTOS QUIMICOS LTDA  
AVENIDA SANTOS DUMONT, 4.444  
GUARUJA  
SP  
Brazil  
11460-006

Customer Information Number:

+558442383445  
INFO@OLIN.COM

EMERGENCY TELEPHONE NUMBER

24-Hour Emergency Contact: +1 800 424 9300

Local Emergency Contact: +55 0800 707 7022

### 2. HAZARDS IDENTIFICATION

This product has been classified in accordance with ABNT NBR 14725-2, Chemicals - Safety, Health and Environmental Information - Part 2: Hazard Classification System.

Hazard classification

Skin irritation - Category 3

Skin sensitisation - Category 1

Short-term (acute) aquatic hazard - Category 3

Long-term (chronic) aquatic hazard - Category 3



Signal word: **WARNING!**

**Hazards**

Causes mild skin irritation.  
May cause an allergic skin reaction.  
Harmful to aquatic life with long lasting effects.

**Precautionary statements**

**Prevention**

Avoid breathing dust/ fume/ gas/ mist/ vapours/ spray.  
Contaminated work clothing should not be allowed out of the workplace.  
Avoid release to the environment.  
Wear protective gloves.

**Response**

IF ON SKIN: Wash with plenty of water.  
If skin irritation or rash occurs: Get medical advice/ attention.  
Take off contaminated clothing and wash it before reuse.

**Disposal**

Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.

**Other hazards**

No data available

### 3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

This product is a mixture.

Component	CASRN	Concentration
7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester	2386-87-0	> 50,0 - < 75,0 %
Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer	60684-77-7	> 5,0 - < 15,0 %
Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin	28064-14-4	> 5,0 - < 15,0 %
Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3- cyclohexene carboxylate	Not available	> 1,0 - < 5,0 %

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin** **Issue Date: 28.03.2019**

Reaction product: Bisphenol A- (epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)	25068-38-6	> 1,0 - < 5,0 %
Soluble oligomer	Not available	> 1,0 - < 5,0 %
Propane, 2,2-bis[p-(2,3- epoxypropoxy)phenyl]-, polymers	25085-99-8	> 1,0 - < 5,0 %
7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester	2386-87-0	>= 50,0 - <= 75,0 %
Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer	60684-77-7	>= 5,0 - <= 15,0 %
Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin	28064-14-4	>= 5,0 - <= 15,0 %
Soluble oligomer	Not available	>= 1,0 - <= 5,0 %
Propane, 2,2-bis[p-(2,3- epoxypropoxy)phenyl]-, polymers	25085-99-8	>= 1,0 - <= 5,0 %
Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3- cyclohexene carboxylate	Not available	>= 1,0 - <= 5,0 %

**Note**

Liquid Epoxy Resins (LERs) are made by reacting bisphenol A and epichlorohydrin. Olin uses both CAS No. 25085-99-8 and 25068-38-6 for its LERs. Other manufacturers use CAS No. 25068-38-6 for their LERs. Accordingly, LER manufacturers consider that derivatives of LERs may be described using either CAS number as a starting material.

---

## 4. FIRST AID MEASURES

---

**Description of first aid measures**

**General advice:**

First Aid responders should pay attention to self-protection and use the recommended protective clothing (chemical resistant gloves, splash protection). If potential for exposure exists refer to Section 8 for specific personal protective equipment.

**Inhalation:** Move person to fresh air; if effects occur, consult a physician.

**Skin contact:** Remove material from skin immediately by washing with soap and plenty of water. Remove contaminated clothing and shoes while washing. Seek medical attention if irritation persists. Wash clothing before reuse. Discard items which cannot be decontaminated, including leather articles such as shoes, belts and watchbands. Suitable emergency safety shower facility should be available in work area.

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin**

**Issue Date: 28.03.2019**

**Eye contact:** Flush eyes thoroughly with water for several minutes. Remove contact lenses after the initial 1-2 minutes and continue flushing for several additional minutes. If effects occur, consult a physician, preferably an ophthalmologist.

**Ingestion:** No emergency medical treatment necessary.

**Most important symptoms and effects, both acute and delayed:**

Aside from the information found under Description of first aid measures (above) and Indication of immediate medical attention and special treatment needed (below), any additional important symptoms and effects are described in Section 11: Toxicology Information.

**Indication of any immediate medical attention and special treatment needed**

**Notes to physician:** No specific antidote. Treatment of exposure should be directed at the control of symptoms and the clinical condition of the patient.

---

## **5. FIREFIGHTING MEASURES**

---

**Suitable extinguishing media:** Water fog or fine spray. Dry chemical fire extinguishers. Carbon dioxide fire extinguishers. Foam. Alcohol resistant foams (ATC type) are preferred. General purpose synthetic foams (including AFFF) or protein foams may function, but will be less effective.

**Extinguishing Media to Avoid:** Do not use direct water stream. May spread fire.

**Special hazards arising from the substance or mixture**

**Hazardous combustion products:** During a fire, smoke may contain the original material in addition to combustion products of varying composition which may be toxic and/or irritating. Combustion products may include and are not limited to: Carbon monoxide. Carbon dioxide.

**Unusual Fire and Explosion Hazards:** Container may rupture from polymerization. Violent steam generation or eruption may occur upon application of direct water stream to hot liquids.

**Advice for firefighters**

**Fire Fighting Procedures:** Keep people away. Isolate fire and deny unnecessary entry. Use water spray to cool fire exposed containers and fire affected zone until fire is out and danger of reignition has passed. Fight fire from protected location or safe distance. Consider the use of unmanned hose holders or monitor nozzles. Do not use direct water stream. May spread fire. Burning liquids may be moved by flushing with water to protect personnel and minimize property damage.

**Special protective equipment for firefighters:** Wear positive-pressure self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective fire fighting clothing (includes fire fighting helmet, coat, trousers, boots, and gloves). Avoid contact with this material during fire fighting operations. If contact is likely, change to full chemical resistant fire fighting clothing with self-contained breathing apparatus. If this is not available, wear full chemical resistant clothing with self-contained breathing apparatus and fight fire from a remote location. For protective equipment in post-fire or non-fire clean-up situations, refer to the relevant sections.

---

## **6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**

---

**Personal precautions, protective equipment and emergency procedures:** Isolate area. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering the area. Refer to section 7, Handling, for

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin**

**Issue Date: 28.03.2019**

additional precautionary measures. Use appropriate safety equipment. For additional information, refer to Section 8, Exposure Controls and Personal Protection.

**Removal of ignition sources:** Keep away from sources of ignition.

**Dust Control:** Not applicable

**Environmental precautions:** Prevent from entering into soil, ditches, sewers, waterways and/or groundwater. See Section 12, Ecological Information.

**Methods and materials for containment and cleaning up:** Contain spilled material if possible. Absorb with materials such as: Sand. Collect in suitable and properly labeled containers. See Section 13, Disposal Considerations, for additional information.

---

## 7. HANDLING AND STORAGE

---

**Precautions for safe handling:** Avoid contact with eyes, skin and clothing. Avoid prolonged or repeated contact with skin. Wash thoroughly after handling. Spills of these organic materials on hot fibrous insulations may lead to lowering of the autoignition temperatures possibly resulting in spontaneous combustion. See Section 8, EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION.

**Conditions for safe storage:** Store in a cool, dry place.

### Storage stability

<b>Storage temperature:</b>	<b>Shelf life: Use within</b>
2 - 43 °C	24 Month

---

## 8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

---

### Control parameters

Exposure limits are listed below, if they exist.

Exposure limits have not been established for those substances listed in the composition, if any have been disclosed.

### Exposure controls

**Engineering controls:** Use local exhaust ventilation, or other engineering controls to maintain airborne levels below exposure limit requirements or guidelines. If there are no applicable exposure limit requirements or guidelines, general ventilation should be sufficient for most operations. Local exhaust ventilation may be necessary for some operations.

### Individual protection measures

**Eye/face protection:** Use safety glasses (with side shields).

#### Skin protection

**Hand protection:** Use gloves chemically resistant to this material. Examples of preferred glove barrier materials include: Butyl rubber. Ethyl vinyl alcohol laminate ("EVAL"). Nitrile/butadiene rubber ("nitrile" or "NBR"). Neoprene. Polyvinyl chloride ("PVC" or "vinyl"). NOTICE: The selection of a specific glove for a particular application and duration of use in a workplace should also take into account all relevant workplace factors such as, but not limited to: Other chemicals which may be

handled, physical requirements (cut/puncture protection, dexterity, thermal protection), potential body reactions to glove materials, as well as the instructions/specifications provided by the glove supplier.

**Other protection:** Use protective clothing chemically resistant to this material. Selection of specific items such as face shield, boots, apron, or full body suit will depend on the task.

**Respiratory protection:** Respiratory protection should be worn when there is a potential to exceed the exposure limit requirements or guidelines. If there are no applicable exposure limit requirements or guidelines, wear respiratory protection when adverse effects, such as respiratory irritation or discomfort have been experienced, or where indicated by your risk assessment process. For most conditions no respiratory protection should be needed; however, if discomfort is experienced, use an approved air-purifying respirator.

The following should be effective types of air-purifying respirators: Organic vapor cartridge.

---

## 9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

---

### Appearance

Physical state	Liquid.
Color	yellow
Odor	sweet
Odor Threshold	No data available
pH	No data available
Melting point/range	No data available
Freezing point	No data available
Boiling point (760 mmHg)	> 250 °C <i>Literature</i> (based on major component)
Flash point	202 °C <i>Literature</i> (based on major component)
Evaporation Rate (Butyl Acetate = 1)	No data available
Flammability (solid, gas)	Not applicable to liquids
Lower explosion limit	No data available
Upper explosion limit	No data available
Vapor Pressure	0,002 hPa at 25 °C <i>Literature</i> (based on major component)
Relative Vapor Density (air = 1)	No data available
Relative Density (water = 1)	1,15 at 25 °C <i>ASTM D4052</i>
Water solubility	No data available
Partition coefficient: n-octanol/water	No data available
Auto-ignition temperature	375 °C <i>Literature</i> (based on major component)
Decomposition temperature	No test data available
Dynamic Viscosity	2.000 - 3.000 mPa.s at 25 °C <i>ISO 3219</i>
Kinematic Viscosity	No data available
Explosive properties	No
Oxidizing properties	No
Molecular weight	No data available

Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin

Issue Date: 28.03.2019

NOTE: The physical data presented above are typical values and should not be construed as a specification.

---

## 10. STABILITY AND REACTIVITY

---

Reactivity: No data available

Chemical stability: Stable under recommended storage conditions. See Storage, Section 7.

Possibility of hazardous reactions: Can occur. Polymerization can be catalyzed by: Acids. Amines. Strong bases. Masses of more than one pound (0.5 kg) of product plus an aliphatic amine will cause irreversible polymerization with considerable heat build-up.

Conditions to avoid: Exposure to elevated temperatures can cause product to decompose.

Incompatible materials: Avoid contact with oxidizing materials. Avoid contact with: Acids. Amines. Strong bases. Avoid unintended contact with: Lewis acids. Avoid unintended contact with amines.

Hazardous decomposition products: Decomposition products depend upon temperature, air supply and the presence of other materials. Uncontrolled exothermic reaction of epoxy resins release phenolics, carbon monoxide, and water.

---

## 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

---

*Toxicological information appears in this section when such data is available.*

### Acute toxicity

#### Acute oral toxicity

Very low toxicity if swallowed. Harmful effects not anticipated from swallowing small amounts.

As product: Single dose oral LD50 has not been determined.

Based on information for component(s):

LD50, Rat, > 5.000 mg/kg Estimated.

#### Acute dermal toxicity

Prolonged skin contact is unlikely to result in absorption of harmful amounts.

As product: The dermal LD50 has not been determined.

Based on information for component(s):

LD50, Rabbit, > 5.000 mg/kg Estimated.

#### Acute inhalation toxicity

At room temperature, exposure to vapor is minimal due to low volatility; single exposure is not likely to be hazardous.

As product: The LC50 has not been determined.

### Skin corrosion/irritation

Brief contact may cause slight skin irritation with local redness.

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin**

**Issue Date: 28.03.2019**

Prolonged contact may cause slight skin irritation with local redness.

**Serious eye damage/eye irritation**

May cause slight eye irritation.

Corneal injury is unlikely.

**Sensitization**

A component in this mixture has caused allergic skin reactions in humans.

Contains component(s) which have demonstrated the potential for contact allergy in mice.

Contains component(s) which have caused allergic skin sensitization in guinea pigs.

For respiratory sensitization:

No relevant data found.

**Specific Target Organ Systemic Toxicity (Single Exposure)**

Evaluation of available data suggests that this material is not an STOT-SE toxicant.

**Specific Target Organ Systemic Toxicity (Repeated Exposure)**

Contains component(s) which have been reported to cause effects on the following organs in animals:

Nasal tissue.

**Carcinogenicity**

Contains component(s) which did not cause cancer in laboratory animals. Many studies have been conducted to assess the potential carcinogenicity of diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA). Indeed, the most recent review of the available data by the International Agency for Research on Cancer (IARC) has concluded that DGEBA is not classified as a carcinogen. Although some weak evidence of carcinogenicity has been reported in animals, when all of the data are considered, the weight of evidence does not show that DGEBA is carcinogenic.

**Teratogenicity**

Contains component(s) which, in laboratory animals, have been toxic to the fetus only at doses toxic to the mother.

**Reproductive toxicity**

Limited data on component(s) tested did not indicate an effect on reproduction in laboratory animals.

**Mutagenicity**

Contains component(s) which were negative in some in vitro genetic toxicity studies and positive in others. Genetic toxicity studies in animals were negative for component(s) tested.

**Aspiration Hazard**

Based on physical properties, not likely to be an aspiration hazard.

**COMPONENTS INFLUENCING TOXICOLOGY:**

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

**Acute inhalation toxicity**

The LC50 has not been determined. LC50, Rat, male and female, dust/mist, 5,19 mg/l No deaths occurred at this concentration.

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

**Acute inhalation toxicity**

At room temperature, exposure to vapor is minimal due to low volatility. No adverse effects are anticipated from single exposure to dust.

The LC50 has not been determined.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

Acute inhalation toxicity

At room temperature, exposure to vapor is minimal due to low volatility; vapor from heated material may cause respiratory irritation.

The LC50 has not been determined.

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined.

**Reaction product: Bisphenol A-(epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined.

**Soluble oligomer**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined.

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined. LC50, Rat, male and female, dust/mist, 5,19 mg/l No deaths occurred at this concentration.

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

Acute inhalation toxicity

At room temperature, exposure to vapor is minimal due to low volatility. No adverse effects are anticipated from single exposure to dust.

The LC50 has not been determined.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

Acute inhalation toxicity

At room temperature, exposure to vapor is minimal due to low volatility; vapor from heated material may cause respiratory irritation.

The LC50 has not been determined.

**Soluble oligomer**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

Acute inhalation toxicity

The LC50 has not been determined.

Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin

Issue Date: 28.03.2019

Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate

**Acute inhalation toxicity**

The LC50 has not been determined.

---

## 12. ECOLOGICAL INFORMATION

---

*Ecotoxicological information appears in this section when such data is available.*

### Ecotoxicity

7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester

**Acute toxicity to fish**

Material is slightly toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 10 and 100 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), flow-through test, 96 Hour, 24 mg/l

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, *Daphnia magna* (Water flea), Immobilization, 48 Hour, 40 mg/l

**Acute toxicity to algae/aquatic plants**

EC50, *Pseudokirchneriella subcapitata* (green algae), static test, 72 Hour, Growth rate inhibition, > 110 mg/l

Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer

**Acute toxicity to fish**

Not expected to be acutely toxic to aquatic organisms.

Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin

**Acute toxicity to fish**

Material is moderately toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 1 and 10 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, *Leuciscus idus* (Golden orfe), 96 Hour, 5,7 mg/l, OECD Test Guideline 203 or Equivalent

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, *Daphnia magna* (Water flea), 48 Hour, 3,5 mg/l, OECD Test Guideline 202 or Equivalent

Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate

**Acute toxicity to fish**

No relevant data found.

Reaction product: Bisphenol A-(epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)

**Acute toxicity to fish**

Material is moderately toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 1 and 10 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, *Oncorhynchus mykiss* (rainbow trout), semi-static test, 96 Hour, 2 mg/l

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, *Daphnia magna* (Water flea), static test, 48 Hour, 1,8 mg/l

**Acute toxicity to algae/aquatic plants**

ErC50, Scenedesmus capricornutum (fresh water algae), static test, 72 Hour, Growth rate inhibition, 11 mg/l

**Toxicity to bacteria**

IC50, Bacteria, 18 Hour, > 42,6 mg/l

**Chronic toxicity to aquatic invertebrates**

NOEC, Daphnia magna (Water flea), semi-static test, 21 d, number of offspring, 0,3 mg/l  
MATC (Maximum Acceptable Toxicant Level), Daphnia magna (Water flea), semi-static test, 21 d, number of offspring, 0,55 mg/l

**Soluble oligomer****Acute toxicity to fish**

No relevant data found.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers****Acute toxicity to fish**

Material is moderately toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 1 and 10 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, Oncorhynchus mykiss (rainbow trout), semi-static test, 96 Hour, 2 mg/l

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, Daphnia magna (Water flea), static test, 48 Hour, 1,8 mg/l

**Acute toxicity to algae/aquatic plants**

ErC50, Scenedesmus capricornutum (fresh water algae), static test, 72 Hour, Growth rate inhibition, 11 mg/l

**Toxicity to bacteria**

IC50, Bacteria, 18 Hour, Respiration rates., > 42,6 mg/l

**Chronic toxicity to aquatic invertebrates**

NOEC, Daphnia magna (Water flea), semi-static test, 21 d, number of offspring, 0,3 mg/l  
MATC (Maximum Acceptable Toxicant Level), Daphnia magna (Water flea), semi-static test, 21 d, number of offspring, 0,55 mg/l

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester****Acute toxicity to fish**

Material is slightly toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 10 and 100 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss), flow-through test, 96 Hour, 24 mg/l

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, Daphnia magna (Water flea), Immobilization, 48 Hour, 40 mg/l

**Acute toxicity to algae/aquatic plants**

EC50, Pseudokirchneriella subcapitata (green algae), static test, 72 Hour, Growth rate inhibition, > 110 mg/l

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer****Acute toxicity to fish**

Not expected to be acutely toxic to aquatic organisms.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin****Acute toxicity to fish**

Material is moderately toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 1 and 10 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, *Leuciscus idus* (Golden orfe), 96 Hour, 5,7 mg/l, OECD Test Guideline 203 or Equivalent

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, *Daphnia magna* (Water flea), 48 Hour, 3,5 mg/l, OECD Test Guideline 202 or Equivalent

**Soluble oligomer****Acute toxicity to fish**

No relevant data found.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers****Acute toxicity to fish**

Material is moderately toxic to aquatic organisms on an acute basis (LC50/EC50 between 1 and 10 mg/L in the most sensitive species tested).

LC50, *Oncorhynchus mykiss* (rainbow trout), semi-static test, 96 Hour, 2 mg/l

**Acute toxicity to aquatic invertebrates**

EC50, *Daphnia magna* (Water flea), static test, 48 Hour, 1,8 mg/l

**Acute toxicity to algae/aquatic plants**

ErC50, *Scenedesmus capricornutum* (fresh water algae), static test, 72 Hour, Growth rate inhibition, 11 mg/l

**Toxicity to bacteria**

IC50, Bacteria, 18 Hour, Respiration rates., > 42,6 mg/l

**Chronic toxicity to aquatic invertebrates**

NOEC, *Daphnia magna* (Water flea), semi-static test, 21 d, number of offspring, 0,3 mg/l

MATC (Maximum Acceptable Toxicant Level), *Daphnia magna* (Water flea), semi-static test, 21 d, number of offspring, 0,55 mg/l

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate****Acute toxicity to fish**

No relevant data found.

**Persistence and degradability****7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

Biodegradability: Material is expected to be readily biodegradable.

10-day Window: Fail

Biodegradation: 71 %

Exposure time: 28 d

Method: OECD Test Guideline 301B or Equivalent

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

Biodegradability: No appreciable biodegradation is expected.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin**

**Issue Date: 28.03.2019**

**Biodegradability:** Based on stringent OECD test guidelines, this material cannot be considered as readily biodegradable; however, these results do not necessarily mean that the material is not biodegradable under environmental conditions.

10-day Window: Fail

**Biodegradation:** 10 - 16 %

Exposure time: 28 d

Method: OECD Test Guideline 301B or Equivalent

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

**Biodegradability:** No relevant data found.

**Reaction product: Bisphenol A-(epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)**

**Biodegradability:** Based on stringent OECD test guidelines, this material cannot be considered as readily biodegradable; however, these results do not necessarily mean that the material is not biodegradable under environmental conditions.

10-day Window: Not applicable

**Biodegradation:** 12 %

Exposure time: 28 d

Method: OECD Test Guideline 302B or Equivalent

**Theoretical Oxygen Demand:** 2,35 mg/mg Estimated.

**Photodegradation**

**Test Type:** Half-life (indirect photolysis)

**Sensitization:** OH radicals

**Atmospheric half-life:** 1,92 Hour

Method: Estimated.

**Soluble oligomer**

**Biodegradability:** No relevant data found.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

**Biodegradability:** Based on stringent OECD test guidelines, this material cannot be considered as readily biodegradable; however, these results do not necessarily mean that the material is not biodegradable under environmental conditions.

10-day Window: Not applicable

**Biodegradation:** 12 %

Exposure time: 28 d

Method: OECD Test Guideline 302B or Equivalent

**Theoretical Oxygen Demand:** 2,35 mg/mg Estimated.

**Photodegradation**

**Test Type:** Half-life (indirect photolysis)

**Sensitization:** OH radicals

**Atmospheric half-life:** 1,92 Hour

Method: Estimated.

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

**Biodegradability:** Material is expected to be readily biodegradable.

10-day Window: Fail

**Biodegradation:** 71 %

Exposure time: 28 d

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin**

**Issue Date: 28.03.2019**

Method: OECD Test Guideline 301B or Equivalent

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

Biodegradability: No appreciable biodegradation is expected.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

Biodegradability: Based on stringent OECD test guidelines, this material cannot be considered as readily biodegradable; however, these results do not necessarily mean that the material is not biodegradable under environmental conditions.

10-day Window: Fail

Biodegradation: 10 - 16 %

Exposure time: 28 d

Method: OECD Test Guideline 301B or Equivalent

**Soluble oligomer**

Biodegradability: No relevant data found.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

Biodegradability: Based on stringent OECD test guidelines, this material cannot be considered as readily biodegradable; however, these results do not necessarily mean that the material is not biodegradable under environmental conditions.

10-day Window: Not applicable

Biodegradation: 12 %

Exposure time: 28 d

Method: OECD Test Guideline 302B or Equivalent

Theoretical Oxygen Demand: 2,35 mg/mg Estimated.

**Photodegradation**

Test Type: Half-life (indirect photolysis)

Sensitization: OH radicals

Atmospheric half-life: 1,92 Hour

Method: Estimated.

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

Biodegradability: No relevant data found.

**Bioaccumulative potential**

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

Bioaccumulation: Bioconcentration potential is low (BCF < 100 or Log Pow < 3).

Partition coefficient: n-octanol/water(log Pow): 1,34 Measured

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

Bioaccumulation: No bioconcentration is expected because of the relatively high molecular weight (MW greater than 1000).

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

Bioaccumulation: No relevant data found.

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

Bioaccumulation: No relevant data found.

Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin

Issue Date: 28.03.2019

Reaction product: Bisphenol A-(epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)

Bioaccumulation: Bioconcentration potential is moderate (BCF between 100 and 3000 or Log Pow between 3 and 5).

Partition coefficient: n-octanol/water(log Pow): 3,242 at 25 °C Estimated.

Soluble oligomer

Bioaccumulation: No relevant data found.

Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers

Bioaccumulation: Bioconcentration potential is moderate (BCF between 100 and 3000 or Log Pow between 3 and 5).

Partition coefficient: n-octanol/water(log Pow): 3,242 at 25 °C Estimated.

7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester

Bioaccumulation: Bioconcentration potential is low (BCF < 100 or Log Pow < 3).

Partition coefficient: n-octanol/water(log Pow): 1,34 Measured

Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer

Bioaccumulation: No bioconcentration is expected because of the relatively high molecular weight (MW greater than 1000).

Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin

Bioaccumulation: No relevant data found.

Soluble oligomer

Bioaccumulation: No relevant data found.

Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers

Bioaccumulation: Bioconcentration potential is moderate (BCF between 100 and 3000 or Log Pow between 3 and 5).

Partition coefficient: n-octanol/water(log Pow): 3,242 at 25 °C Estimated.

Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate

Bioaccumulation: No relevant data found.

Mobility in Soil

7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester

Given its very low Henry's constant, volatilization from natural bodies of water or moist soil is not expected to be an important fate process.

Potential for mobility in soil is very high (Koc between 0 and 50).

Partition coefficient (Koc): 29 Estimated.

Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer

No data available.

Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin

No data available.

Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate

No relevant data found.

**Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin**

**Issue Date: 28.03.2019**

**Reaction product: Bisphenol A-(epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)**

Potential for mobility in soil is low (Koc between 500 and 2000).  
Given its very low Henry's constant, volatilization from natural bodies of water or moist soil is not expected to be an important fate process.  
Partition coefficient (Koc): 1800 - 4400 Estimated.

**Soluble oligomer**

No relevant data found.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

Potential for mobility in soil is low (Koc between 500 and 2000).  
Given its very low Henry's constant, volatilization from natural bodies of water or moist soil is not expected to be an important fate process.  
Partition coefficient (Koc): 1800 - 4400 Estimated.

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

Given its very low Henry's constant, volatilization from natural bodies of water or moist soil is not expected to be an important fate process.  
Potential for mobility in soil is very high (Koc between 0 and 50).  
Partition coefficient (Koc): 29 Estimated.

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

No data available.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

No data available.

**Soluble oligomer**

No relevant data found.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

Potential for mobility in soil is low (Koc between 500 and 2000).  
Given its very low Henry's constant, volatilization from natural bodies of water or moist soil is not expected to be an important fate process.  
Partition coefficient (Koc): 1800 - 4400 Estimated.

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

No relevant data found.

**Results of PBT and vPvB assessment**

This substance/mixture contains no components considered to be either persistent, bioaccumulative and toxic (PBT), or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) at levels of 0.1% or higher.

**Other adverse effects**

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

Product name: LITESTONE™ 2210E Epoxy Resin

Issue Date: 28.03.2019

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Reaction product: Bisphenol A-(epichlorohydrin); epoxy resin (number average molecular weight <= 700)**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Soluble oligomer**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane-3-carboxylic acid, 7-oxabicyclo[4.1.0]hept-3-ylmethyl ester**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Bisphenol A, epichlorohydrin and methylenediphenylene diisocyanate polymer**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Reaction product of phenol-formaldehyde Novolac with epichlorohydrin**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Soluble oligomer**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Propane, 2,2-bis[p-(2,3-epoxypropoxy)phenyl]-, polymers**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

**Monoepoxides of 3-cyclohexenylmethyl-3-cyclohexene carboxylate**

This substance is not on the Montreal Protocol list of substances that deplete the ozone layer.

---

### 13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

---

**Disposal methods:** AS YOUR SUPPLIER, WE HAVE NO CONTROL OVER THE MANAGEMENT PRACTICES OR MANUFACTURING PROCESSES OF PARTIES HANDLING OR USING THIS MATERIAL. THE INFORMATION PRESENTED HERE PERTAINS ONLY TO THE PRODUCT AS SHIPPED IN ITS INTENDED CONDITION AS DESCRIBED IN MSDS SECTION: Composition Information. All disposal practices must be in compliance with all Federal, State/Provincial and local laws and regulations. Regulations may vary in different locations. Waste characterizations and compliance with applicable laws are the responsibility solely of the waste generator. DO NOT DUMP INTO ANY SEWERS, ON THE GROUND, OR INTO ANY BODY OF WATER. FOR UNUSED & UNCONTAMINATED PRODUCT, the preferred options include sending to a licensed, permitted: Incinerator or other thermal destruction device.

**Treatment and disposal methods of used packaging:** Empty containers should be recycled or otherwise disposed of by an approved waste management facility. Waste characterizations and compliance with applicable laws are the responsibility solely of the waste generator. Do not re-use containers for any purpose.

---

## 14. TRANSPORT INFORMATION

---

ANTT

Not regulated for transport

Classification for SEA transport (IMO-IMDG):

Transport in bulk according to Annex I or II of MARPOL 73/78 and the IBC or IGC Code	Not regulated for transport Consult IMO regulations before transporting ocean bulk
--	---

Classification for AIR transport (IATA/ICAO):

Not regulated for transport

This information is not intended to convey all specific regulatory or operational requirements/information relating to this product. Transportation classifications may vary by container volume and may be influenced by regional or country variations in regulations. Additional transportation system information can be obtained through an authorized sales or customer service representative. It is the responsibility of the transporting organization to follow all applicable laws, regulations and rules relating to the transportation of the material.

---

## 15. REGULATORY INFORMATION

---

It is recommended the customer to check in the location of use of this product whether it is specifically regulated for human perusal or veterinary applications, as food and pharmaceuticals additives or packaging, domissanitary, and cosmetics, or even as controlled agent recognized as precursor to drug, chemical weapons, and ammunition manufacture.

The communication of the hazards of this product is in accordance with local and international legislations, observing always the most restrictive requirement.

---

## 16. OTHER INFORMATION

---

**Product Literature**

Additional information on this product may be obtained by calling your sales or customer service contact. Ask for a product brochure. Additional information on this and other products may be obtained by visiting our web page.

**Hazard Rating System**

NFPA

Health	Flammability	Instability
2	1	0

Revision

Identification Number: / 010000001580 / 2005 / Issue Date: 28.03.2019 / Version: 1.0  
Most recent revision(s) are noted by the bold, double bars in left-hand margin throughout this document.

**Full text of other abbreviations**

AICS - Australian Inventory of Chemical Substances; ANTT - National Agency for Transport by Land of Brazil; ASTM - American Society for the Testing of Materials; bw - Body weight; CMR - Carcinogen, Mutagen or Reproductive Toxicant; CPR - Controlled Products Regulations; DIN - Standard of the German Institute for Standardisation; DSL - Domestic Substances List (Canada); ECx - Concentration associated with x% response; ELx - Loading rate associated with x% response; EmS - Emergency Schedule; ENCS - Existing and New Chemical Substances (Japan); ErCx - Concentration associated with x% growth rate response; ERG - Emergency Response Guide; GHS - Globally Harmonized System; GLP - Good Laboratory Practice; IARC - International Agency for Research on Cancer; IATA - International Air Transport Association; IBC - International Code for the Construction and Equipment of Ships carrying Dangerous Chemicals in Bulk; IC50 - Half maximal inhibitory concentration; ICAO - International Civil Aviation Organization; IECSC - Inventory of Existing Chemical Substances in China; IMDG - International Maritime Dangerous Goods; IMO - International Maritime Organization; ISHL - Industrial Safety and Health Law (Japan); ISO - International Organisation for Standardization; KECI - Korea Existing Chemicals Inventory; LC50 - Lethal Concentration to 50 % of a test population; LD50 - Lethal Dose to 50% of a test population (Median Lethal Dose); MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships; n.o.s. - Not Otherwise Specified; Nch - Chilean Norm; NO(A)EC - No Observed (Adverse) Effect Concentration; NO(A)EL - No Observed (Adverse) Effect Level; NOELR - No Observable Effect Loading Rate; NOM - Official Mexican Norm; NTP - National Toxicology Program; NZIoC - New Zealand Inventory of Chemicals; OECD - Organization for Economic Co-operation and Development; OPPTS - Office of Chemical Safety and Pollution Prevention; PBT - Persistent, Bioaccumulative and Toxic substance; PICCS - Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances; (Q)SAR - (Quantitative) Structure Activity Relationship; REACH - Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals; SADT - Self-Accelerating Decomposition Temperature; SDS - Safety Data Sheet; TCSI - Taiwan Chemical Substance Inventory; TDG - Transportation of Dangerous Goods; TSCA - Toxic Substances Control Act (United States); UN - United Nations; UNRTDG - United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods; vPvB - Very Persistent and Very Bioaccumulative; WHMIS - Workplace Hazardous Materials Information System

BLUE CUBE BRASIL COMERCIO DE PRODUTOS QUIMICOS LTDA urges each customer or recipient of this (M)SDS to study it carefully and consult appropriate expertise, as necessary or appropriate, to become aware of and understand the data contained in this (M)SDS and any hazards associated with the product. The information herein is provided in good faith and believed to be accurate as of the effective date shown above. However, no warranty, express or implied, is given. Regulatory requirements are subject to change and may differ between various locations. It is the buyer's/user's responsibility to ensure that his activities comply with all federal, state, provincial or local laws. The information presented here pertains only to the product as shipped. Since conditions for use of the product are not under the control of the manufacturer, it is the buyer's/user's duty to determine the conditions necessary for the safe use of this product. Due to the proliferation of sources for information such as manufacturer-specific (M)SDSs, we are not and cannot be responsible for (M)SDSs obtained from any source other than ourselves. If you have obtained an (M)SDS from another source or if you are not sure that the (M)SDS you have is current, please contact us for the most current version.

BR



**ANEXO C**

FOLHAS DE DADOS DA FIBRA SE2307



INNOVATIONS FOR LIVING™

## PRODUCT INFORMATION

### SE 2307

#### Single End Roving for High Performance Filament-wound Epoxy Pipe

##### PRODUCT DESCRIPTION

SE2307 Single-End Roving is designed to provide excellent hydro-thermo stability for high performance filament wound epoxy pipe, under pressurized conditions for long installed pipe service life (+20 years). This new Type30™ reinforcement made with corrosion resistant Advantex®- E-CR glass, provides excellent corrosion resistance and increased service life to the filament-wound pipe, installed in the field. It also helps reducing material cost and pipe waste for the pipe industry. SE2307 Single-End rovings are produced in manufacturing facilities certified to ISO 9001.



##### PRODUCT APPLICATION

SE2307 Roving is specifically designed to match the unique needs of the high performance epoxy pipe market. Compatible with epoxy resin and 3 different curing systems (aliphatic amines, aromatic amines, and anhydrides), it serves a variety of applications: power & energy (refineries, power plants, off-shore platforms), industrial (petrochemical), transportation (marine), water distribution (water desalination, water treatment, sewage, etc). SE2307 can meet pipe user requirements for high mechanical properties, durability, corrosion resistance, and low weight. SE 2307 Roving allows fast wet out, low fuzz, and smooth visual aspect. It is based on Advantex® Owens Corning's trademarked corrosion resistant E glass. Advantex® glass offers the unique attributes of being both a boron-free E-glass and an E-CR glass in accordance with ASTM D578 and ISO 2078.



##### FEATURES AND PRODUCT BENEFITS

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent Hydro-Thermo stability, under pressurized and long installed pipe life</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Designed for use in filament winding with epoxy resin, using aliphatic amine, aromatic amine, and anhydride curing systems, giving flexibility with one glass input</li> </ul>     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent processing – low fuzz, fast wetting, and smooth pipe surface</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizes downtime resulting in increased productivity, and improved manufacturing costs</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superior corrosion resistance with Advantex® Glass compared to standard E-glass</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Advantex® Glass provides superior corrosion resistance vs. std E glass, leading to longer part life and greater service life strength in applications facing corrosion.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Excellent strength retention at temperature under pressurized conditions</li> </ul>         |   |

##### PRODUCT AVAILABILITY

YIELD	TEX
675, 450, 413, 250	735, 1100, 1200, 2000

##### OWENS CORNING

##### SINGLE END ROVINGS RANGE FOR PIPES

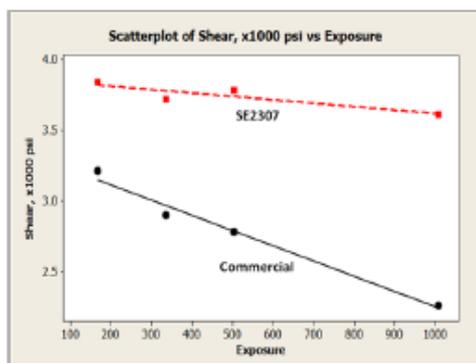
PRODUCT	RESIN COMPATIBILITY			
	EPOXY	POLYESTER	VINYLESTER	PHENOLIC
SE2307	●			
158B	●			
R25H	○	●	●	
SE1200	○	●	○	○
SE2348	●			
SE2350	●			○
SE1500	●			

## SE 2307

### Single End Roving for High Performance Filament-wound Epoxy Pipe

#### MECHANICAL PROPERTIES

The following data was generated comparing SE2307 roving vs. a commercially available epoxy pipe glass fiber for shear strength retention over time (hrs) at 93°C. SE2307 roving retained 94% of its shear strength after 1000 hrs @ 93°C vs. the commercial benchmark, which retained 70% of its shear strength under the same conditions.



Laboratory sample: Mechanical testing lab  
 Resin package: Epoxy-MDA  
 Test method: ASTM D2344  
 Test type: Flex  
 Test temperature: 200F  
 Test property: Short beam shear strength  
 Units: kpsi  
 Sample treatment: Boil water  
 Sample exposure period: 168, 336, 504, 1008hrs

Sample	Exposure, hrs	Shear, x1000 psi
SE2307	168	3.84
SE2307	336	3.72
SE2307	504	3.78
SE2307	1008	3.61
Commercial	168	3.21
Commercial	336	2.90
Commercial	504	2.78
Commercial	1008	2.26

#### PACKAGING

Rovings are available in a single-end internal-pull package. Pallets are stretch wrapped for load stability. All doffs are wrapped with Tack-Pak™ or shrinkable film for protection during transport. More information is available in the Customer Acceptance Standards.

#### STORAGE

It is recommended to store glass fiber products in a cool, dry area. The glass fiber products must remain in their original packaging material until the point of usage; the product should be stored in the workshop, within its original packaging, 48 hours prior to its utilization, to allow it to reach the workshop temperature condition and prevent condensation, especially during cold season. The packaging is not waterproof. Be sure to protect the product from the weather and other sources of water. The best storage conditions are temperatures between 20°C and 23°C and humidity between 60% and 65%. When stored properly, there is no known shelf life to the product, but retesting is advised after three years from the initial production date to insure optimum performance.

#### Contact

SingleEndRovings.ocvamericas@owenscorning.com    SingleEndRovings.ocvmea@owenscorning.com    SingleEndRovings.ocvap@owenscorning.com



INNOVATIONS FOR LIVING™

OWENS CORNING  
 COMPOSITE MATERIALS, LLC  
 ONE OWENS CORNING PARKWAY  
 TOLEDO, OHIO 43659  
 1.800.GET.PINK™  
 www.owenscorning.com  
 composites.owenscorning.com

EUROPEAN OWENS CORNING  
 FIBERGLAS, SPRL  
 166, CHAUSSÉE DE LA HULPE  
 B-1170 BRUSSELS  
 BELGIUM  
 +32 2 674 8211

OWENS CORNING  
 COMPOSITE SOLUTIONS BUSINESS  
 ASIA PACIFIC REGIONAL HEADQUARTERS  
 UNIT 01,02,05,39/F, PUDONG KERRY PARKSIDE,  
 1155 FANG DIAN ROAD, PUDONG, SHANGHAI  
 201204, CHINA  
 +86-21-6101 9666

This information and data contained herein is offered solely as a guide in the selection of a reinforcement. The information contained in this publication is based on actual laboratory data and field test experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any responsibility or liability arising out of its use or performance. The user agrees to be responsible for thoroughly testing any application to determine its suitability before committing to production. It is important for the user to determine the properties of its own commercial compounds when using this or any other reinforcement. Because of numerous factors affecting results, we make no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. Statements in this publication shall not be construed as representations or warranties or as inducements to infringe any patent or violate any law safety code or insurance regulation.

Pub. No.10017520 - Owens Corning reserves the right to modify this document without prior notice. ©2012 Owens Corning. All rights reserved.