

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
INDUSTRIAL

ANTONIO HENRIQUE DA SILVA BITENCOURT JÚNIOR

PROJETO DE TALISCAS EM COMPÓSITO DE MATRIZ
POLIMÉRICA PARA CORRENTE DE TRANSPORTADORES
INDUSTRIAIS.

BELÉM

2019

ANTONIO HENRIQUE DA SILVA BITENCOURT JÚNIOR

**PROJETO DE TALISCAS EM COMPÓSITO DE MATRIZ
POLIMÉRICA PARA CORRENTE DE TRANSPORTADORES
INDUSTRIAIS.**

Dissertação apresentada para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Industrial do Instituto de Tecnologia.
Universidade Federal do Pará. Área de
concentração em Processos de Fabricação.
Orientador: Prof. Dr. Jean da Silva Rodrigues

BELÉM

2019

Dados Internacionais de Catalogação - na – Publicação (CIP) Sistema
de Bibliotecas da UFPA

B624p Bitencourt Jr., Antonio Henrique da S., 1984-

Projeto de taliscas em compósito de matriz polimérica
para corrente de transportadores industriais/ Antonio Henrique
da Silva Bitencourt Júnior. – 2018.

Orientador: Jean da Silva Rodrigues

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Industrial. Belém, 2018.

1. Correntes transportadoras – consumo de energia. 2. Correntes
transportadoras – equipamentos e acessórios – testes. . 3. Materiais
compostos. I. Título.

CDD 23. Ed. 621.8675

ANTONIO HENRIQUE DA SILVA BITENCOURT JÚNIOR

**PROJETO DE TALISCAS EM COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA PARA
CORRENTE DE TRANSPORTADORES INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial. Área de concentração: Processos de Fabricação.

Data de Aprovação: 21 de janeiro de 2019.

Banca examinadora:

 Prof. Dr. Jean da Silva Rodrigues (UFPA)	- Orientador/Presidente PPGEL/UFPA
 Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama	- Membro Interno PPGEL/UFPA
 Prof. Dr. Edinaldo José de Sousa Cunha	- Membro Externo PRODERNA/UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a graça do Divino Pai Eterno por ter me concedido o dom da vida, ao Deus Filho Jesus Cristo que remiu nossos pecados, ao Deus Espírito Santo que nos concede sabedoria, a Maria Santíssima instrumento valioso de Deus para a remissão dos nossos pecados, a minha esposa Isis Conceição Moraes Bitencourt e a meu filho João Henrique Moraes Bitencourt, razão presente em minha vida de meu constante aperfeiçoamento pessoal e profissional, ao meu avô Antonico da Silva Bitencourt e meu pai Antonio Henrique da Silva Bitencourt, dois grandes amantes da área da mecânica e com certeza foi onde começou a se escrever a mesma paixão profissional que lateja em mim, a minha mãe e meus irmãos .

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai, Filho e Espírito Santo por me conceder vida e sabedoria para realizar e concluir este trabalho, trabalho feito com a determinação necessária para garantir mérito de um sonho profissional que vem se tornando realidade.

Muito obrigado a minha esposa Isis Conceição Moraes Bitencourt, minha companheira, conselheira, mulher que eu amo e a tenho como membro do maior e mais importante valor que possuo que é minha família.

Agradeço ao meu filho João Henrique Moraes Bitencourt, presente lindo que Deus enviou para pertencer a minha vida, é através do amor que lhe tenho que sou guiado dia-a-dia a me aprimorar e me tornar uma pessoa melhor.

Agradeço ao meu pai Antonio Henrique da Silva Bitencourt, o homem que me educou e me guiou a ser quem sou, sou grato pelo grande pai, incansável e amoroso, homem que vive diariamente as frases que tem como filosofia de vida: “quem ama se sacrifica, quem não vive pra servir, não serve para viver”, pai eis aqui um admirador da pessoa que você é.

Ao meu irmão mais velho Afonso Henrique de Jesus da Paz Bitencourt, peça fundamental na minha educação, irmão que desde criança foi também meu pai e protetor, sem este com certeza eu não teria chegado aonde cheguei.

Agradeço minha tia Rosely Bitencourt Loureiro, matriarca de toda a nossa família, agradeço por ser o arrimo predestinado por Deus à nossa família, sem ela também não teria chegado até a elaboração deste trabalho.

Agradeço a minha mãe Maria de Fátima da Paz Bitencourt, irmãos Paulo Henrique Calliari da Costa Bitencourt e Paula Letícia da Costa Bitencourt, minha sogra Raimunda Selma Ferreira de Moraes e cunhados Gabriel Ferreira de Moraes e Adilson Ferreira de Moraes.

Agradeço a todos as pessoas pertencentes à coordenação mecânica do IFPA, de modo especial ao meu orientador e amigo Jean da Silva Rodrigues, ao meu professor e amigo Roberto Tetsuo Fujiyama, ao professor Edinaldo José de Sousa Cunha. Aos amigos Washington Cordovil Rocha, Robson Luis Baleeiro Cardoso, José Airton Nunes, Lindon Jhonson e Diego de Leon Brito Carvalho.

Agradeço por último, mas com certeza não menos importantes aos grandes profissionais da indústria com quem tive o privilégio em trabalhar, onde de modo especial quero citar Juarez Barros e Dacildo Tavares Viana, obrigado!

RESUMO

O presente trabalho tem como propósito o dimensionamento de taliscas, elemento rígido utilizado entre correntes como ponto de suportação de cargas transportadas por correntes industriais, projetando-as em compósito de matriz epóxi com fibras sint ticas. As taliscas em aço correspondem a aproximadamente 50% do peso da corrente, necessitando de consumos significativos de energia elétrica no acionamento, e grandes esforços de montagem e manuten o. A talisca em compósito garante resistência mecânica suficiente e proporciona redu o de peso em rela o a taliscas convencionais feitas de aço, possibilitando sistemas de acionamento com menor potência, menor consumo de energia, assim como proporciona melhores condi es de montagem e substitui o da corrente e seus componentes. A metodologia partiu de um estudo de caso de transporte de anodos, para 19 anodos, com 1080 Kg cada, representando uma capacidade requerida de 620Kg/m. O dimensionamento foi realizado através dos recursos teóricos da micromecânica e macromecânica. As taliscas foram projetadas em compósito de matriz epóxi com fibra de vidro, fibra de carbono e fibra de kevlar, projetadas para a mesma capacidade das taliscas em aço. Os resultados demonstraram que o motorreductor necessário para o transportador com taliscas em aço   de 7,5CV e o motorreductor para movimentar as taliscas em material compósito   de 5,5CV, proporcionando uma economia de R\$ 11.754,80 ao ano em consumo de energia elétrica. Verificada a viabilidade da substitui o das taliscas, foi procedida a valida o experimental do compósito projetado que alcançou o menor desempenho, aquele com reforço de fibra de vidro. A valida o experimental mostrou que a talisca com reforço de fibra de vidro atendeu os critérios de aceita o da ABNT 14574, Tensão Máxima e Azzi- Tsai- Hill, não apresentando falha em nenhuma das lâminas projetadas, ratificando a viabilidade de se fabricar taliscas de material compósito em matriz epóxi e fibra de vidro, matriz epóxi e fibra de carbono e matriz epóxi e fibra de kevlar para substitui o das taliscas em aço, no que tange as propriedades mecânicas necessárias.

Palavras-chave: Dimensionamento, talisca, transportadores.

ABSTRACT

The present work has the purpose of designing slats, a rigid element used between chains as point of support of loads transported by industrial chains, projecting them in epoxy matrix composite with synthetic fibers. Steel slats correspond to approximately 50% of the weight of the chain, requiring significant consumption of electrical energy in the drive, and great assembly and maintenance efforts. The composite batten ensures sufficient mechanical strength and provides weight reduction compared to conventional steel slats, enabling drive systems with lower power, lower power consumption, as well as better conditions for assembly and replacement of the chain and its components. The methodology was based on a case study of transport of anodes, for 19 anodes, with 1080 Kg each, representing a required capacity of 620 kg / m. The sizing was done through the theoretical resources of micromechanics and macromechanics. The slats were designed in epoxy matrix composite with glass fiber, carbon fiber and kevlar fiber, designed for the same capacity of steel slats. The results showed that the motor reducer required for the conveyor with steel slats is 7.5 CV and the motor reducer to move the slats in composite material is of 5.5 CV, providing a saving of R \$ 11,754.80 per year in energy consumption power. After verification of the feasibility of replacing slats, the experimental design of the composite was performed, which achieved the lowest performance, the one with fiberglass reinforcement. The experimental validation showed that the fiber reinforced lath meeting the acceptance criteria of ABNT 14574, Maximum Tension and Azzi- Tsai-Hill, showing no failure in any of the projected blades, confirming the feasibility of manufacturing composite slats in epoxy and glass fiber matrix, epoxy and carbon fiber matrix and epoxy matrix and kevlar fiber to replace the steel slats, with regard to the mechanical properties required.

Keywords: Sizing, slats, conveyors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases de um material compósito.....	4
Figura 2: Aplicações e características das resinas epóxi.....	5
Figura 3: Distribuição dos reforços dos compósitos: (a) reforçado em partículas aleatórias; (b) reforçados com fibras curtas alinhadas; (c) reforçado com fibras curtas aleatórias; (d) reforçados com fibras contínuas alinhadas.....	6
Figura 4: Linha cronológica da evolução dos materiais na indústria.....	8
Figura 5: Desenho de um transportador industrial tipo talisca.....	9
Figura 6: Desenho esquemático em vista superior de duas taliscas montadas na corrente.....	10
Figura 7: Desenho esquemático de um transportador de corrente tipo talisca para transporte de anodos.....	11
Figura 8: Desenho esquemático do processo de infusão.....	12
Figura 9: Níveis de estudo em compósitos.....	13
Figura 10: Detalhamento da célula elementar das leis das misturas.....	14
Figura 11: Laminado multidirecional com cada uma das camadas em uma orientação diferente.....	16
Figura 12: Diretrizes experimentais para as constantes de engenharia independentes.....	17
Figura 13: Representação da isotropia transversal no plano <23>.....	18
Figura 14: Tensões σ_1 tensões longitudinais geram Poisson γ_{12} maior e as tensões σ_2 geram Poisson γ_{21} menor.	19
Figura 15: Macromecânica em laminados a 0° e 90°	20
Figura 16: Tipos de falha: Fratura intralaminar (a); fratura interlaminar (b); fratura translaminar (c).....	21
Figura 17: O laminado e suas direções principais.....	22
Figura 18: Lâmina de material compósito.....	24
Figura 19: Lâmina com eixo local 1-2 das fibras coincidentes com eixo global X-Y.....	25
Figura 20: Demonstração de lâmina anisotrópica a 45° e -45°	28
Figura 21: Figura evidenciando duas linhas de correntes montadas com as taliscas	32
Figura 22: Figura evidenciando cada componente da corrente e talisca.....	33
Figura 23: Figura (a) taliscas montadas, (b) figura esquemática da carga concentrada no meio da talisca.....	36
Figura 24: Desenho esquemático da talisca em aço.....	36
Figura 25: Desenho esquemático de uma placa com dez lâminas.....	37
Figura 26: Foto da placa de compósito logo após a infusão da resina epóxi.....	53
Figura 27: Corpos de prova gerados a partir da placa evidenciada na figura 26.....	54
Figura 28: Foto do corpo de prova na máquina utilizada no ensaio de tração.....	54
Figura 29: Foto do corpos de prova pós ruptura pelo ensaio de tração.....	55
Figura 30: Gráfico com o resultado dos 8 corpos de prova via ensaio de tração.....	55
Figura 31: Gráfico dos valores de tensão em “X” por camada e por tipo de compósito.....	61
Figura 32: Gráfico dos valores de tensão em “Y” por camada e por tipo de compósito.....	62
Figura 33: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando a 30% dos valores de tensão máxima conforme ABNT 14574.....	63
Figura 34: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando a 30% dos valores de tensão máxima conforme ABNT 14574.....	64

Figura 35: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando com critério de tensão máxima.....	65
Figura 36: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando com critério de Tensão Máxima.....	66
Figura 37: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando com critério de Azzi- Tsai- Hill.....	67
Figura 38: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando os valores de tensão antes e pós caracterização mecânica via ensaio de tração.....	68
Figura 39: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando os valores de tensão antes e pós caracterização mecânica via ensaio de tração.....	69
Figura 40: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido de orientação da fibra em relação ao critério de tensão máxima.....	70
Figura 41: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação da fibra em relação a tensão máxima.....	71
Figura 42: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido de orientação da fibra em relação ao critério de Azzi- Tsai- Hill.....	72
Figura 43: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido de orientação da fibra em relação ao critério ABNT 14574.....	73
Figura 44: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação da fibra em relação ao critério da ABNT 14574.....	74
Figura 45: Gráfico das massas correspondente a 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.....	75
Figura 46: Gráfico das potências necessárias para acionar o transportador com as 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.....	75
Figura 47: Gráfico do gasto financeiro do com o consumo de energia elétrica do transportador de acordo com a . potências necessárias para acionar o transportador com as 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades de fibras para reforço para compósitos.....	7
Tabela 2: Comparação de propriedades mecânicas.....	9
Tabela 3: Tabela com o quantitativo de peças da corrente de taliscas e seu peso.....	34
Tabela 4: Tabela demonstrativa dos resultados do projeto da talisca de aço.....	37
Tabela 5: Valores das propriedades da fibra de vidro utilizados no dimensionamento.....	39
Tabela 6: Valores das propriedades da resina epóxi utilizados no dimensionamento.....	40
Tabela 7: Dados do compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de vidro.....	40
Tabela 8: Valores das tensões por lâmina para a talisca em epóxi com fibra de vidro.....	41
Tabela 9: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra vidro.....	42
Tabela 10: Critério da tensão máxima para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro.....	42
Tabela 11: Critério Azzi-Tsai Hill para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro.....	43
Tabela 12: Valores das propriedades da fibra de carbono utilizados no dimensionamento.....	44
Tabela 13: Dados do compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de carbono.....	44
Tabela 14: Valores das tensões por lâmina da talisca em epóxi com fibra de carbono.....	45
Tabela 15: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra de carbono.....	46
Tabela 16: Critério da tensão máxima para cada lâmina para talisca em epóxi com fibra de carbono.....	46
Tabela 17: Critério Azzi- Tsai Hill para cada lâmina do compósito epóxi com fibra de carbono.....	47
Tabela 18: Valores das propriedades da fibra de kevlar utilizados no dimensionamento.....	48
Tabela 19: Dados do compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de kevlar.....	48
Tabela 20: Valores das tensões por lâmina para a talisca em epóxi com fibra de kevlar.....	50
Tabela 21: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para para a talisca em epóxi com fibra de kevlar.....	50
Tabela 22: Critério da tensão máxima para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de kevlar.....	51
Tabela 23: Critério Azzi- Tsai Hill para cada lâmina do compósito da para a talisca em epóxi com fibra de kevlar.....	52
Tabela 24: Valores das tensões por lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.....	56
Tabela 25: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.....	57
Tabela 26: Critério da tensão máxima para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.....	57
Tabela 27: Critério Azzi- Tsai Hill para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	37
ASTM - American Society Testing Materials.....	52
ISO International Organization for Standardization.....	20
MLC Modelagem Líquida de Compósito.....	11
SAE Society of Automotive Engineers – EUA.....	35
VIP Vacuum Infusion Process.....	11

SUMÁRIO

1.0 - INTRODUÇÃO.....	1
2.0- OBJETIVOS.....	3
2.1- Objetivo Geral.....	3
2.2- Objetivo Específico.....	3
3.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1- Matriz Polimérica.....	4
3.2- Reforço.....	6
3.3- Vantagens e Desvantagens dos Materiais Compósitos.....	7
3.4- Transportador de Corrente.....	9
3.5- O Processo de Infusão de Resina.....	11
3.6- O Estudo de Materiais Compósitos.....	12
3.6.1- Micromecânica da Camada.....	13
3.6.2- Macromecânica da Camada.....	15
3.6- Compósitos Multidirecionais.....	20
3.7- Desenvolvimento Analítico pela Micro e Macromecânica.....	21
3.7.1- Propriedades Mecânicas Determinadas pela Regra das Misturas.....	21
3.7.2- Determinação das Tensões Principais.....	24
3.7.3- Macromecânica de Lâminas Ortotrópicas.....	25
3.7.3.1- <i>Matriz de Flexibilidade de uma Lâmina Ortotrópica no Estado Plano de Tensão.....</i>	<i>26</i>
3.7.3.2- <i>Matriz De Rigidez De Uma Lâmina Ortotrópica No Estado Plano De Tensão.....</i>	<i>26</i>
3.7.4- Macromecânica de Lâminas Anisotrópicas.....	27
3.7.4.1- <i>Matriz de Rigidez de uma Lâmina Anisotrópica.....</i>	<i>28</i>
3.7.4.2- <i>Matriz de Flexibilidade de uma Lâmina Anisotrópica.....</i>	<i>29</i>
3.7.4.3- <i>Critérios de Resistência.....</i>	<i>29</i>
3.7.4.3.1- <i>Critério da Tensão Máxima.....</i>	<i>29</i>
3.7.4.3.2- <i>Critério Azzi- Tsai- Hill.....</i>	<i>30</i>
3.8- Ensaios Mecânicos.....	31
4.0- METODOLOGIA ENVOLVIDA NO PROJETO DA TALISCA.....	32
4.1- Desenvolvimento Analítico.....	32
4.1.1- Dados de Projeto para Estudo de Caso.....	32
4.1.1.1- <i>Transportador.....</i>	<i>34</i>
4.1.1.2- <i>Corrente do Transportador Tipo Talisca.....</i>	<i>34</i>
4.1.1.3- <i>Peso dos Componentes da Corrente Tipo Talisca em Aço.....</i>	<i>34</i>
4.2- Cálculo do Esforço na Talisca em Aço.....	35
4.3- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibras Sintéticas.....	38
4.3.1- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Vidro.....	39
4.3.2- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Carbono.....	43
4.3.3- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Kevlar.....	48
4.3.4- Validação da Estrutura de Cálculo da Talisca em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro.....	52
4.3.4.1- <i>Fabricação da Placa em Epóxi com Fibra de Vidro.....</i>	<i>53</i>
4.3.4.2- <i>Ensaio de Tração.....</i>	<i>53</i>
4.3.4.3- <i>Resultados da validação do compósito com fibra de vidro.....</i>	<i>55</i>
4.3.4.4- <i>Redimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Vidro Pós Ensaio de Tração.....</i>	<i>56</i>
4.4 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Compósito com Matriz Epóxi com Fibra de Vidro, Matriz Epóxi com Fibra de	59

Carbono e Matriz Epóxi com Fibra de Kevlar, em Relação a Transportador com Talisca em Aço.....	
4.4.1 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Epóxi e Fibra de Vidro.....	59
4.4.2 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Epóxi e Fibra de Carbono.....	59
4.4.3 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Epóxi e Fibra de Kevlar.....	60
5.0- ANÁLISE DE RESULTADOS.....	60
5.1- Tensão no Sentido da Fibra para os Três Compósitos em Matriz Epóxi com Fibras Sintéticas por Camada.....	61
5.2- Tensão no Sentido Transversal ao Sentido da Fibra para os Três Compósitos em Matriz Epóxi com Fibras Sintéticas por Camada.....	61
5.3- Critério de Resistência.....	62
5.3.1- Critério de Resistência Segundo a Norma Abnt 14574 para os Três Tipos de Compósito.....	63
5.3.2- Critério de Resistência de Tensão Máxima.....	65
5.3.3- Critério de Resistência de Azzi- Tsai- Hill.....	67
5.4- Análise dos Resultados Pós- Caracterização do Compósito Epóxi com Fibra de Vidro.....	68
5.4.1- Comparação dos Resultados do Compósito Epóxi com Fibra de Vidro Antes e Pós Caracterização.....	68
5.4.2- Comparação pelo Critério de Tensão Máxima da Resistência por Camadas do Compósito em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro, Comparando Valores Analíticos com Valores Pós- Caracterização.....	69
5.4.3- Análise da Resistência do Compósito em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro, com os Valores Obtidos pelo Ensaio de Tração, Utilizando Critério de Azzi- Tsai- Hill.....	71
5.4.4- Análise da Resistência do Compósito em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro, com os Valores Obtidos pelo Ensaio de Tração, Utilizando Critério da ABNT 14574.....	72
5.4.5- Análise dos Resultados da Potência e Valor Gasto Anualmente em Energia Elétrica em Função da Redução da Massa das Taliscas.....	74
6.0- CONCLUSÕES.....	77
7.0- PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

1.0 - INTRODUÇÃO

Em diversos ramos da indústria, os materiais compósitos são utilizados com o objetivo de conseguir componentes de grande leveza e resistência estrutural (propriedades mecânicas importantes). Através do princípio da ação combinada, garante-se a adição ou sobreposição de duas ou mais propriedades mecânicas desejáveis no compósito resultante de dois ou mais materiais empregados. Este fato tem causado um crescente interesse na modelagem de compósitos. Várias abordagens foram desenvolvidas, mas ainda há uma forte necessidade de prever modelos que possam ser usado para avaliação da rigidez e resistência deste tipo de materiais em situações práticas (TOLEDO, *et al*, 2008).

Transportadores Industriais são definidos como dispositivos fixos e portáteis usados para transportar materiais entre dois pontos fixos, através de movimento intermitente ou contínuo. Eles geralmente são empregados onde o fluxo de trabalho é relativamente constante (FONSECA, *et al*, 2004). A seleção de equipamentos transportadores é uma tarefa complexa e às vezes tediosa, já que existem literalmente centenas de tipos de equipamentos e fabricantes para escolher (MONDAL e GHOSH, 2018). As correntes são elementos de máquinas flexíveis utilizadas para a transmissão de potência, transporte e movimentação de carga. Normalmente são utilizadas em situações em que transmissões por meio de engrenagens ou correias não sejam possíveis. Os transportadores industriais de corrente são amplamente utilizados em várias indústrias, tendo como função o transporte de cargas sólidas de um ponto a outro dentro de unidades industriais. As taliscas são elementos rígidos que são fixados entre dois vãos de corrente, sendo ao mesmo tempo um elemento ligante e o ponto estrutural para transportar determinadas cargas; é uma espécie de mesa fracionada, que possui a capacidade de transporte e de ser realimentada continuamente através de sua capacidade de ser girada junto com a corrente ao redor de uma roda dentada.

As taliscas fazem parte das correntes de transportadores tipo taliscas, sendo seu peso responsável por aproximadamente metade do peso da corrente. O desenvolvimento de taliscas em compósito utilizando resina epóxi, com reforço em fibras sintéticas, cria mais uma opção nas mais diversas indústrias, no que tange a possibilidade de se ter transportadores de correntes resistentes e bem mais leves, conseqüentemente com sistemas de acionamento eletromecânico bem mais viáveis energeticamente, além do que, a serem utilizados em processos onde materiais

metálicos não são bem vindos, como por exemplo em indústrias alimentícias, garantindo redução no tempo com trocas de corrente e custos com o sistema de acionamento dos transportadores que serão dimensionados em uma demanda de carga menor a que a corrente com taliscas em aço.

A eficiência energética dos transportadores ganhou recentemente importância em todo o mundo. Embora esforços significativos de pesquisa tenham sido consagrados aos aspectos operacionais, o estudo da literatura mostra que o problema de otimização de projeto foi pouco investigado no passado (MASAKI, *et al*, 2018). Nesse sentido propõe-se dimensionar taliscas em material compósito de matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, determinando às propriedades mecânicas, quanto a capacidade de suportar cargas iguais as cargas a que as taliscas tradicionalmente fabricadas em aço, são capazes de suportar. Fazendo com que taliscas mais leves viabilizem um consumo de energia mais viável energeticamente, e com maior facilidade nas tarefas de montagem e manutenção de correntes industriais para transportadores tipo talisca. A validação de carga e de capacidade de acionamento para este transportador específico dá condição e respaldo para ser feito em todo e qualquer transportador de corrente tipo talisca.

2.0- OBJETIVOS

2.1- Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral:

Projetar taliscas para corrente de transportadores industriais a partir de compósitos de matriz epóxi reforçados por tecido de fibras de vidro, fibras de carbono ou fibras de kevlar.

2.2- Objetivos Específicos

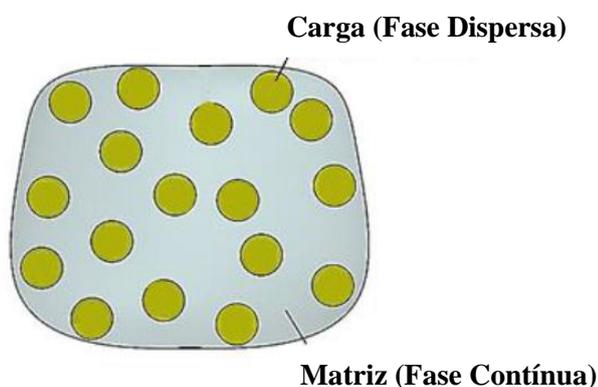
Como objetivos específicos temos:

- a) Estabelecer as medidas e cargas de um transportador convencional com taliscas em aço, em condições reais de funcionamento, dimensionando o transportador e a talisca;
- b) Projetar taliscas em material compósito;
- c) Redimensionar o sistema de acionamento considerando a redução de peso do conjunto com a substituição das taliscas em aço por compósitos, e comparar os consumos energético;
- d) Fabricar placa em matriz epóxi e fibra de vidro para o levantamento das propriedades em tração necessárias ao dimensionamento por macromecânica de compósitos, confrontando com os dados da literatura.

3.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A característica básica dos compósitos é combinar, a nível macroscópico, pelo menos, duas fases distintas de materiais de natureza diferentes, denominadas de matriz e reforço como mostra a figura 1. Pode-se verificar que materiais compósitos em relação aos materiais isotrópicos tradicionais (materiais metálicos), apresentam um grau de complexidade significativamente maior. Apesar da complexidade matemática do comportamento mecânico dos compósitos, possibilita a liberdade de ajustar a manufatura do material compósito dotando-o de propriedades adequadas à necessidade, atendendo a um requisito específico de projeto (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Figura 1: Fases de um material compósito.



Fonte: GUAMÁ (2012).

3.1- Matriz Polimérica

As funções fundamentais da matriz são de dar forma estável ao compósito, assegurando a coesão do material como um todo, e proteger as fibras de reações com o meio ambiente (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Segundo LEVY NETO e PARDINI (2006) O termo “materiais poliméricos” contempla um grande número de materiais de origem orgânica que constitui um grupo importante de materiais não metálicos empregados na indústria, os chamados “materiais plásticos”. Estes são divididas em três categorias principais: termoplásticos, termoendurecíveis (também conhecidos como termofixos ou termoestáveis) e elastômeros. Em compósitos são aplicados com maior frequência os dois primeiros tipos.

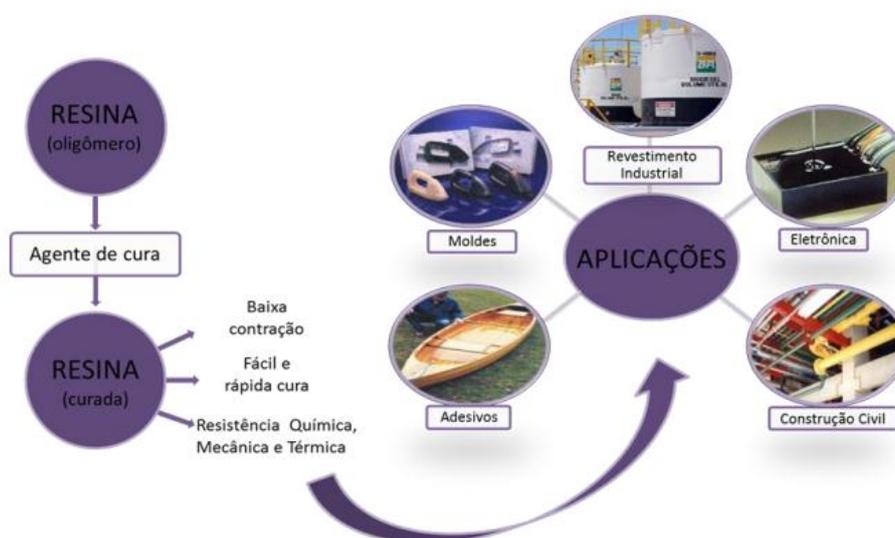
O princípio do processamento dos termoplásticos se dá por mudança de fase, o aquecimento causa um amolecimento progressivo até o estado de gel, sem que ocorram modificações expressivas em suas propriedades. Este processo é totalmente reversível, ou seja, pode ser amolecido, fundido e reaproveitado repetidas vezes.

Os termoendurecíveis são polímeros em que o endurecimento é consequência de reações químicas irreversíveis. Este processo se faz sob a forma de mistura de dois ou três componentes: resina, acelerador e catalisador. Depois de misturados na proporção adequada, ocorre a constituição da estrutura rígida, por meio do processo de “cura”. Portanto, estes últimos apresentam uma desvantagem considerável: não podem ser reprocessados facilmente, pois o aquecimento progressivo provocará a degradação completa do material (MARINUCCI, 2011).

Uma resina epóxi ou poliepóxido é um plástico termofixo que se enrijece quando se mistura com um agente catalisador ou "endurecedor". As resinas epóxi mais frequentes são produtos de uma reação entre epicloriglucina e bisfenol-A. Existem ainda as resinas a base de bisfenol F e resinas epóxi Novolac.

Existem hoje diversas empresas no mundo que se especializaram em formular produtos com características próprias para cada necessidade do usuário. Os agentes de cura mais comuns são as poliamidas, poliaminoamidas, amins alifáticas, amins cicloalifáticas, amins aromáticas, anidridos, polimercaptanas e polissulfetos. Na figura 2 está as aplicações e características das resinas epóxi.

Figura 2: Aplicações e características das resinas epóxi.

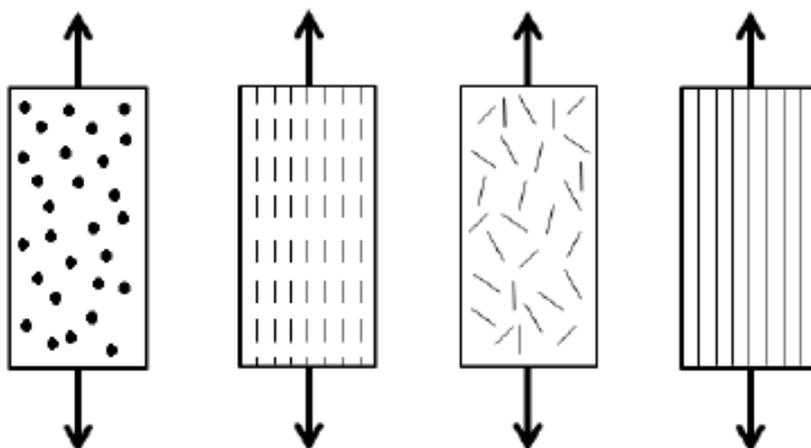


Fonte: HERNÁNDEZ (2010).

3.2- Reforço

A maior responsabilidade em termos de resistência mecânica é garantida por esta fase, o reforço, que é normalmente composta por carbono, vidro ou aramida. O desempenho do compósito é fortemente influenciado pela disposição do reforço, tendo duas configurações básicas em relação à orientação: um alinhamento paralelo ao eixo longitudinal da fibra numa só direção e um alinhamento totalmente aleatório, a Figura 3 evidencia a distribuição dos reforços dos compósitos: (a) reforçado em partículas aleatórias; (b) reforçados com fibras curtas alinhadas; (c) reforçado com fibras curtas aleatórias; (d) reforçados em fibras contínuas alinhadas. A escolha de cada um depende do tipo de carregamento, como por exemplo: reforços aleatórios são aplicados onde as tensões são predominantemente multidirecionais, enquanto que os alinhados tem a característica de resistirem mais na direção da fibra, sendo bem inferior na direção perpendicular a mesma, apresentando propriedades mecânicas ótimas na direção da fibra e propriedades mínimas no sentido perpendicular à orientação da mesma. A tabela 3 resume as propriedades de fibras de reforço para compósitos.

Figura 3: Distribuição dos reforços dos compósitos: (a) reforçado em partículas aleatórias; (b) reforçados com fibras curtas alinhadas; (c) reforçado com fibras curtas aleatórias; (d) reforçados em fibras contínuas alinhadas.



Fonte . SANTOS e BICHARA (2015).

Tabela 1: Propriedades de fibras para reforço para compósitos.

Material	Densidade $\rho(Mg/m^3)$	Módulo de Young $E(GPa)$	Resistência $\sigma(MPa)$
Fibra de Vidro (tipo E)	2,54	70	2200
Aramida (Kevlar49)	1,45	130	2900
SiC (Nicalon)	2,60	250	2200
Alumina	3,90	380	1400
Boro	2,65	420	3500
Polietileno com alto peso molecular	0,97	172	2964
Carbono	1,86	380	2700

Fonte: MATTHEUS e RAWLINGS (1994).

Apesar das diferenças, um fator de grande destaque é o fato que o quão mais aleatório for à distribuição do reforço mais próximo do isotrópico é o comportamento do compósito (MOURA, 2009). Em contrapartida, a tendência à anisotropia é uma característica marcante das fibras alinhadas.

Vale lembrar que cada um dos constituintes descritos (matriz e reforço) têm características próprias, no entanto quando misturados formam um composto com propriedades diferentes de cada um deles separadamente,

3.3- Vantagens e Desvantagens dos Materiais Compósitos

Ao compararmos os materiais compósitos com os materiais tradicionalmente utilizados em aplicações de engenharia, pode ser observada uma série de pontos favoráveis e desfavoráveis ao seu uso. Segundo PINHEIRO (2010), algumas das principais vantagens são enumeradas:

➔ Devido ao seu processo de fabricação, poderão ajudar a reduzir o número de peças soltas e montagens (agrupando-as em uma peça única caso fossem feitas em um material tradicional, caso do metal).

➔ Conseguem oferecer uma maior “rigidez específica” (razão entre rigidez e densidade), ou seja, a mesma rigidez de um material metálico, com aproximadamente um quinto do seu peso, ou no caso do alumínio com a metade do seu peso.

➔ Maior “resistência específica” razão entre resistência e densidade. Ao analisarmos a tabela 2, podemos visualizar esta comparação entre os materiais compósitos.

➤ Elevada resistência à fadiga. As ligas de aço/alumínio são projetadas para trabalharem com cerca de 50% de sua tensão máxima estática. Nos casos de materiais compósitos, este valor sobe para cerca de 90%.

➤ Oferecem grande resistência à corrosão, devido a sua superfície exterior ser de origem polimérica.

Apesar das vantagens citadas, as principais desvantagens são:

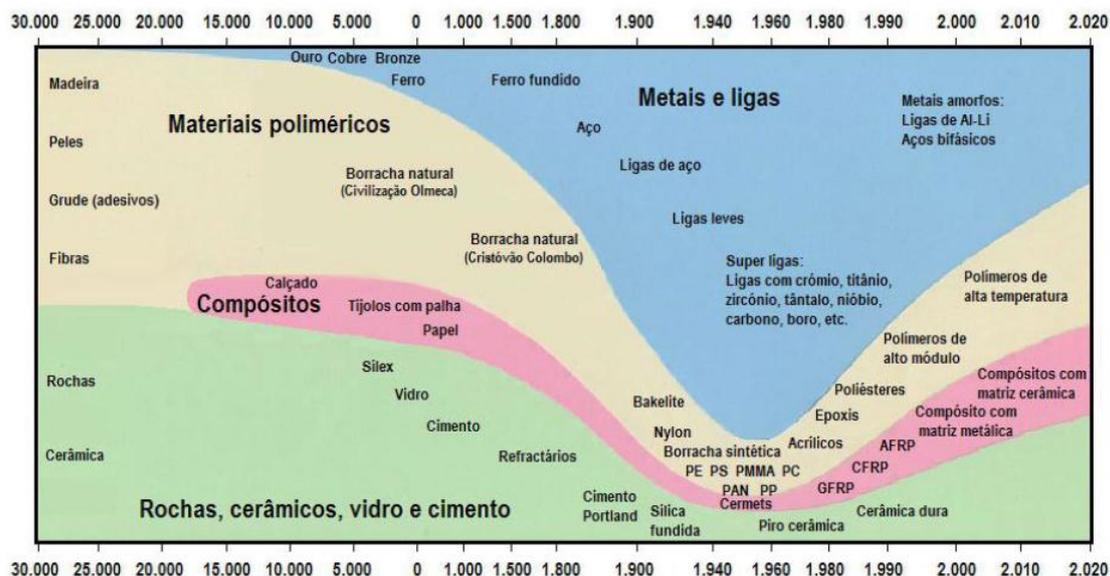
➤ O custo elevado. em relação às ligas de aço ou alumínio, o preço por kg poderá ser de 5 a 20 vezes mais caro.

➤ Escassez em métodos de produção de grande escala, o que favorece o alto custo.

➤ Limitação em termos de temperatura, devido a influencia das propriedades térmicas da matriz polimérica utilizada.

Conforme o crescimento e aprimoramento de novas tecnologias pode-se notar uma evolução deste tipo de material, conforme a figura 4. Percebe-se a tendência ao equilíbrio na indústria de materiais, com um aumento crescente do uso de polímeros, compósitos e cerâmicos.

Figura 4: Linha cronológica da evolução dos materiais na indústria.



Fonte: CAETANO (2010).

Na tabela 2 está evidenciada as propriedades mecânicas e a massa específica dos materiais compósitos em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra

de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, e na mesma tabela encontra-se também as propriedades do aço, material mais utilizado em funções estruturais.

Tabela 2: Comparação de propriedades mecânicas.

Material	Massa específica $\rho(g/cm^3)$	Módulo de Young $E(GPa)$	Resistência $\sigma(MPa)$
Fibras			
Carbono	1,95	390	2200
Vidro	2,56	76	1400 - 2500
Kevlar	1,45	125	2760
Matrizes			
Epóxi	1,2 – 1,4	2,1 – 5,5	40 - 85
Poliéster	1,1 – 1,4	1,3 – 4,5	45 - 85
Compósitos			
CFRP em Epóxi	1,5	189	1050
GFRP em Poliéster	2,0	48	1240
Metais			
Aço	7,8	207	1000
Liga de alumínio	2,8	71	500

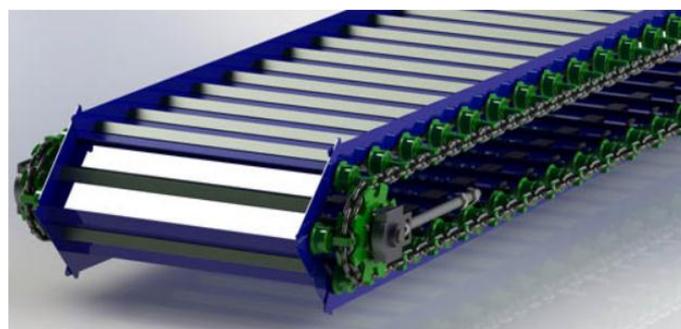
Fonte: MARQUES (2015).

3.4- Transportador de Corrente

O transportador de corrente é uma categoria das esteiras transportadoras. Neste caso, o transportador de corrente trata de um sistema fechado de circulação contínua que pode suportar peças com peso elevado ou não.

O transportador de corrente é utilizado para casos de transporte de peças sólidas onde a geometria de determinada peça não permite que outro tipo de esteira transportadora atenda às condições de transporte.

Figura 5: Desenho de um transportador industrial tipo talisca.



Fonte: RUD TRANSPORTADORES (2018). Disponível em <http://www.rud.com.br/-produtos/sistemas-transportadores/transportadores-arraste/>. Acessado em 20 ago. 2018

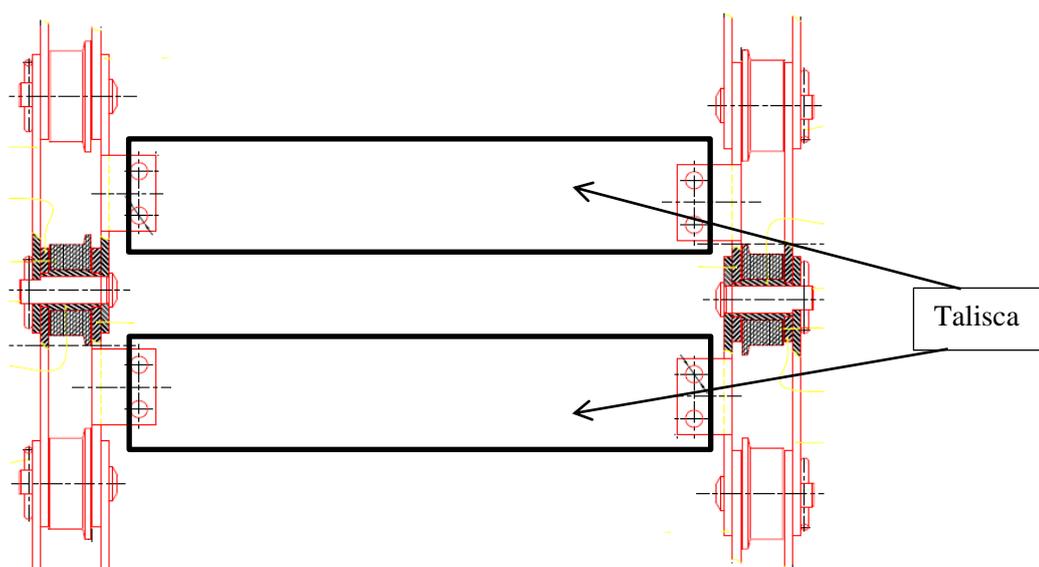
Segundo GRUPO RUD (2018) os sistemas são projetados considerando cálculos críticos. Correntes e componentes são selecionados para otimizar as tarefas de transporte, possibilitar eficaz estratégia de manutenção e prolongar a vida útil do equipamento, resultando em alta performance dos equipamentos que continuamente atuam em aplicações que exigem alta resistência ao desgaste e força de arraste.

É comum nos ambientes industriais a utilização de transportadores de corrente tipo talisca para transportar objetos sólidos dos mais variáveis tamanhos e pesos de um ponto a outro, sendo relativamente frequente na área da mecânica o profissional se deparar com a montagem, desmontagem e manutenção destes transportadores.

A talisca é um elemento ligante entre duas linhas de corrente, conforme mostra a figura 6, funcionando como uma mesa fragmentada em seções iguais que promovem o transporte de peças assim como o giro nas extremidades do transportador, o que possibilita a realimentação contínua das mesmas.

O que muda de um transportador tipo talisca para outro, é a capacidade de carga por metro; quanto maior a capacidade do transportador, maior deve ser a robustez de cada elemento pertencente a este, incluindo obviamente a talisca.

Figura 6: Desenho esquemático em vista superior de duas taliscas montadas na corrente.

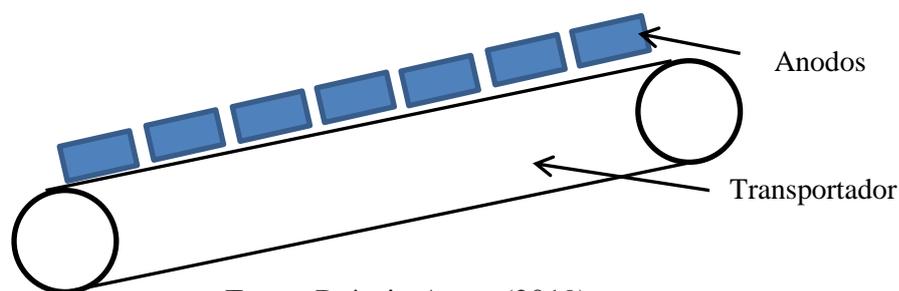


Fonte: Próprio Autor (2019).

Para especificação e compra de um transportador de taliscas, é necessário

especificar: peso e quantidade de peças a serem transportadas, a distância, ou melhor, o comprimento que o transportador deve possuir, a largura do transportador que é demandada pela geometria da peça, temperatura que os objetos possuirão no momento do transporte, a velocidade máxima de transporte e o ramo fabril, informação esta fundamental principalmente quando se trata de empresas do ramo alimentício.

Figura 7: Desenho esquemático de um transportado de corrente tipo talisca para transporte de anodos.



Fonte: Próprio Autor (2019).

3.5- O Processo de Infusão de Resina

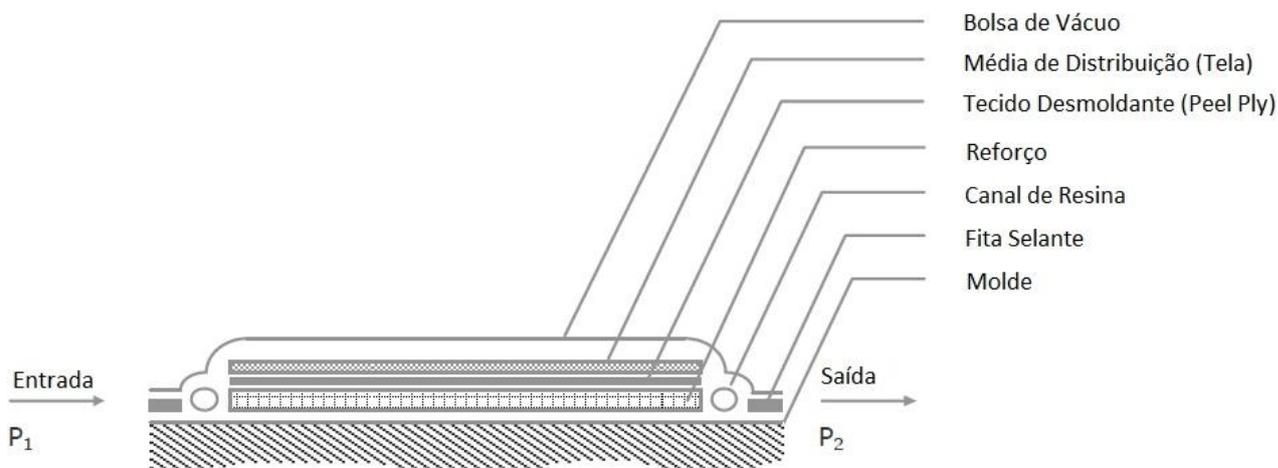
O processo de infusão a vácuo (VIP) é um processo de moldagem utilizado para a fabricação de grandes estruturas compósitas. A sua popularidade se deve em parte ao baixo custo do conjunto de ferramental e a segurança ambiental, o processo elimina mais do que 90% dos compostos orgânicos voláteis emitidos por resinas de poliéster insaturadas, além disso, o baixo envolvimento do operador aumenta a reprodutibilidade do processo em comparação com as técnicas de molde aberto como "hand-lay-up" ou "spray-up" e os componentes são de alto teor de fibras, com até 60% em volume (RAGONDET, 2005).

Tradicionalmente, a laminação manual assistida por autoclave, não satisfazem mais as vertentes de custos e as leis ambientais. Assim, novos processos como a moldagem por infusão estão em constante desenvolvimento. (RODRIGUEZ *et al*, 2004).

A técnica de infusão de polímero é um processo que se utiliza de uma bomba de vácuo, em que condutos flexíveis são acoplados e que são inicialmente afixados por adesivo apropriado no entorno do molde, de modo a fazer saturar as fibras depositadas no molde, pela resina líquida em solução. (RODRIGUES, 2014).

Segundo RODRIGUES (2014) o processo de fabricação por infusão é parte de uma família de técnicas de moldagem chamadas de moldagem líquida de compósitos (MLC). Ele envolve a infusão de uma resina de baixa viscosidade, numa pré-forma fibrosa, seca, colocada num molde rígido e coberta por uma membrana flexível. O processo baseia-se num gradiente de pressão para conduzir a resina para dentro do molde e impregnar a preforma. A entrada no molde é à pressão atmosférica e a saída é sob vácuo. A configuração típica para VIP está ilustrada na Figura 8.

Figura 8: Desenho esquemático do processo de infusão.

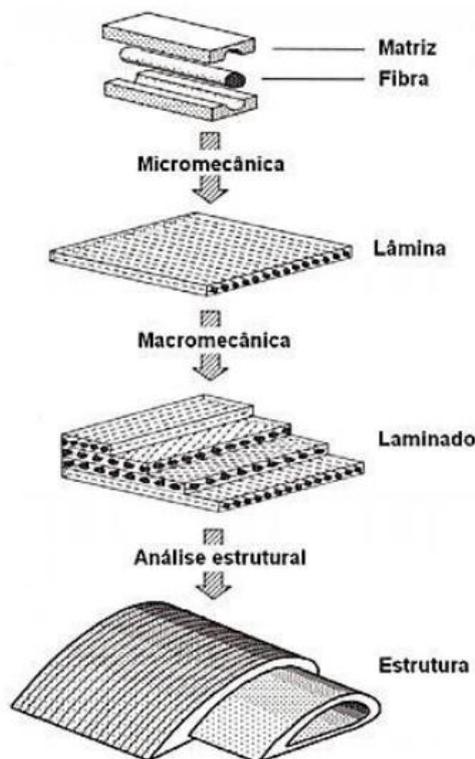


Fonte: RAGONDET (2005).

3.6- O Estudo de Materiais Compósitos

O estudo em materiais compósitos pode ser abordado em vários níveis e escalas, isso fica bem claro ao visualizarmos a figura 9. Cada nível será abordado de forma separada e em uma secção específica.

Figura 9: Níveis de estudo em compósitos.



Fonte: GUAMÁ (2012).

3.6.1- Micromecânica da Camada

O objetivo principal da Micromecânica é prever as propriedades da camada a partir do teor e propriedades dos constituintes. A camada é constituída por uma infinidade de fibras, logo, se recorre a modelos do tipo “célula elementar”, assumindo que seu comportamento represente toda a camada.

Neste tópico, o modelo apresentado trata apenas de camadas unidirecionais, ou seja, as expressões não se aplicam a compósitos reforçados por tecidos bidirecionais. O seguinte conjunto de hipóteses é utilizado:

- Fibra e matriz como únicos constituintes, excluindo vazios e bolhas.
- Comportamento linear elástico para a fibra
- Admite-se a matriz como material isotrópico
- Perfeita adesão interfacial fibra/matriz.

Em análise mais simples, verifica-se uma célula elementar bidimensional, constituída por uma região de fibras envolvida por duas camadas de matriz conforme a

figura 10. As suas dimensões reproduzem a fração volumétrica de fibra do compósito,

$$V_f = \frac{h_f}{(h_f + h_m)} \quad (1)$$

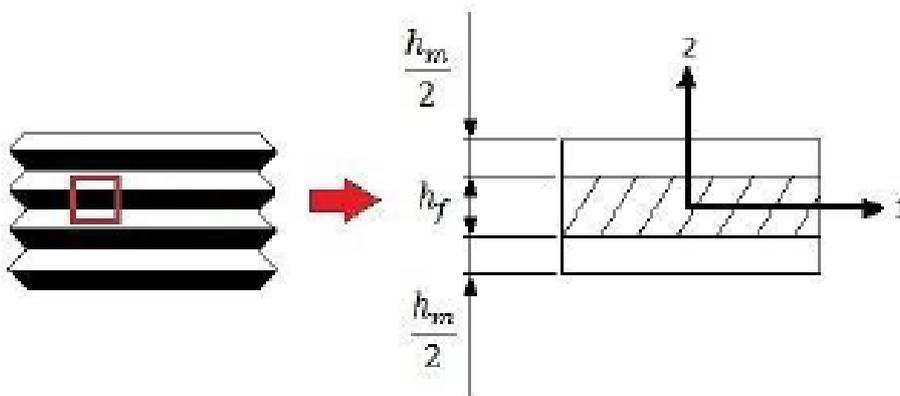
Onde:

V_f = Fração volumétrica da fibra

h_f = Altura da fibra

h_m = Altura da matriz

Figura 10: Detalhamento da célula elementar das leis das misturas.



Fonte: SANTOS e BICHARA (2015).

As propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade e a resistência a tração, são fortemente influenciadas pelo conceito fração volumétricas. O caso mais simples é o compósito constituído por duas fases, por meio de fibras contínuas, representadas pela Lei das Misturas, e aplicado as constantes de engenharia:

$$E_1 = V_f E_{f1} + (1 - V_f) E_m \quad (2)$$

$$v_{12} = V_f v_{12} + (1 - V_f) v_m \quad (3)$$

$$\frac{1}{E_1} = \frac{v_f}{E_{f2}} + \frac{(1 - v_f)}{E_m} \quad (4)$$

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_f}{G_f} + \frac{(1 - v_f)}{G_m} \quad (5)$$

Onde:

E_1 = Módulo de elasticidade do compósito no sentido longitudinal a fibra

V_f = Fração volumétrica da fibra

E_{f1} = Módulo de elasticidade da fibra no sentido longitudinal a fibra

E_m = Módulo de elasticidade da matriz

ν_{12} = Coeficiente de poisson maior

v_m = Volume da matriz

Onde E e V são o módulo de elasticidade e a fração em volume, respectivamente, e f e m são os índices correspondentes à fibra e matriz. De acordo com PINHEIRO (2010), obtemos através da eq. 2.6:

$$G_f = \frac{E_2}{2(1 + \nu_f)} \quad (6)$$

Onde:

G_f = Módulo de cisalhamento da fibra

E_2 = Módulo de elasticidade no sentido transversal a fibra

ν_f = Volume da fibra

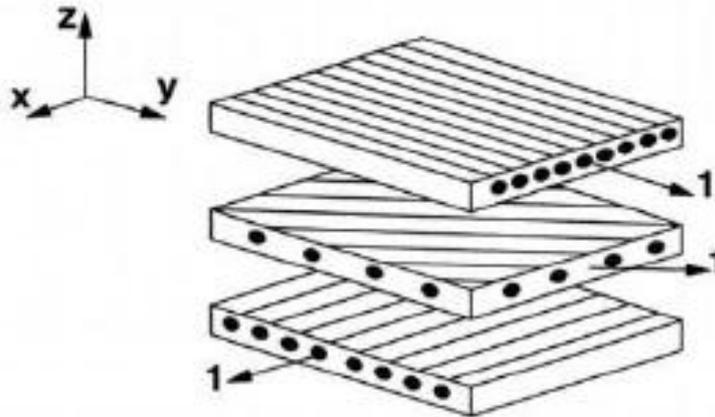
Fica evidente a importância do processo de fabricação para a maximização de V_f , uma vez que este caracteriza o compósito. Isso também explica a preferência de fibras contínuas para aplicações estruturais em relação a fibras curtas, que, tipicamente, apresentam frações volumétricas de reforço de 20%, enquanto que os reforços em fibras contínuas têm, em média, aproximadamente 65% (MOURA, 2009).

3.6.2- Macromecânica da Camada

O estudo das relações tensão-deformação da camada unidirecional dos compósitos de fibra contínua, é definido como Macromecânica. Como citado anteriormente, essas matérias possuem geralmente uma estrutura laminada, isto é, são

constituídos por varias camadas, cada uma com a sua orientação, nas quais as fibras estão todas alinhadas na mesma direção, ver figura 11.

Figura 11: Laminado multidirecional com cada uma das camadas em uma orientação diferente.

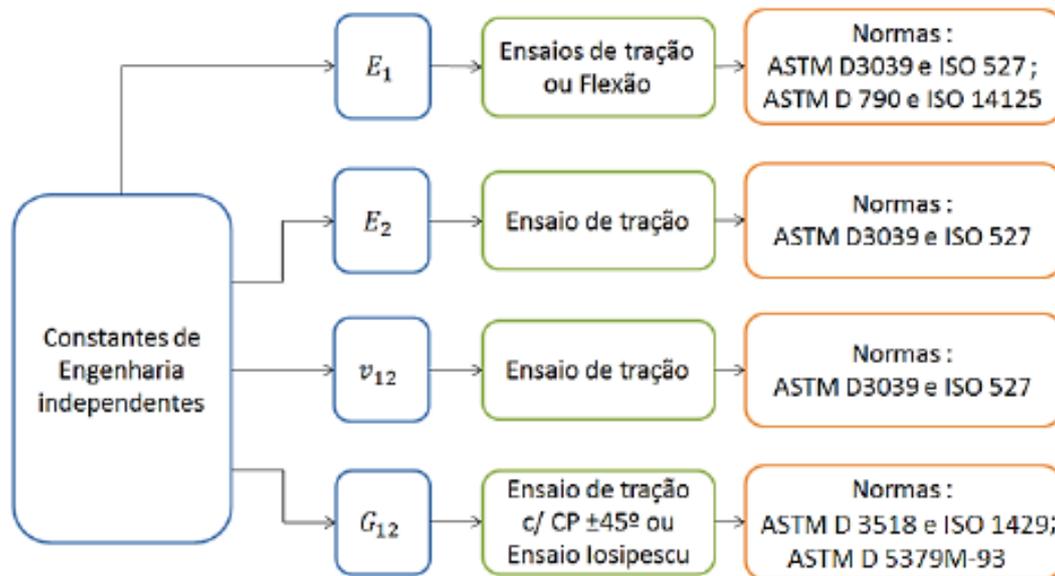


Fonte: SANTOS e BICHARA (2015).

A camada possui uma enorme quantidade de fibras, dessa forma, o mais conveniente é trata-la como um sólido para descrever o seu comportamento mecânico. Que pode ser isotrópico, que as propriedades são independentes ao sentido de aplicação de cargas externas, ortotrópico que suas propriedades variam perpendicularmente em função do sentido de aplicação da carga externas, e anisotrópico que as propriedades variam em vários ângulos de orientação da carga externa. Em função do comportamento do compósito, ou seja, tendências à anisotropia são adotados modelos mais sofisticados em termos de resistências de materiais. As relações de tensões e deformações podem ser representadas na forma de matricial.

Diretrizes experimentais para constantes de engenharia, conteúdo abordado nesta seção pode ser visualizado no fluxograma da figura 12. Estas informações são de suma importância e servirão de diretriz para esta obra, uma vez que são verificadas, para cada constante, quais ensaios e normas são aplicáveis.

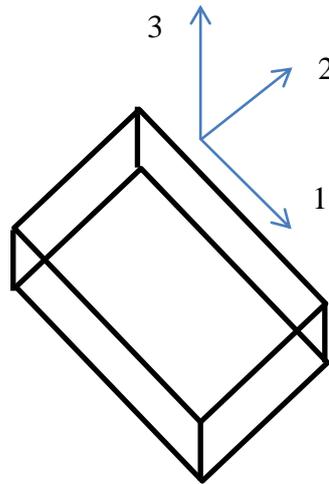
Figura 12: Diretrizes experimentais para as constantes de engenharia independentes.



Fonte: SANTOS e BICHARA (2015).

A ortotropia está associada à consideração de três planos de simetria mutuamente perpendiculares. O encontro das retas de interseção destes planos compõem os eixos principais de ortotropia 1, 2 e 3 (figura 13). Na prática, este é um artifício matemático para se reduzir o número de constantes elásticas independentes.

Um material é dito transversalmente isotrópico quando um dos planos principais é isotrópico, isto é, todo ponto no plano tem as mesmas propriedades mecânicas em todas as direções. Essa condição é justificada pelo fato da disposição das fibras serem consideradas aleatórias no plano transversal (MOURA *et al*, 2009). Isso se reflete no plano da figura 13. Utilizando-se da hipótese da isotropia transversal da camada, temos definidas as relações das equações:

Figura 13: Representação da isotropia transversal no plano

Fonte: Próprio autor (2019).

$$E_3 = E_2 \quad (7)$$

$$\nu_{13} = \nu_{12} \quad (8)$$

$$G_{13} = G_{12} \quad (9)$$

$$G_{23} = \frac{E_2}{2(1 + \nu_{23})} \quad (10)$$

Onde:

E_2 = Módulo de elasticidade no sentido 2

E_3 = Módulo de elasticidade no sentido 3

ν_{12} = Coeficiente de poisson maior plano 12

ν_{13} = Coeficiente de poisson maior plano 13

ν_{23} = Coeficiente de poisson maior plano 23

G_{23} = Módulo de cisalhamento no plano 23

Resumindo, a camada apresenta cinco constantes elásticas independentes e o seu comportamento é mais complexo do que o dos materiais isotrópicos, que possuem apenas duas constantes elásticas. No entanto, para o estado plano de tensões, o número

de constantes elásticas cai para quatro. Estas constantes estão definidas na seção de micromecânica.

$$v_{21} = \frac{v_{12}E_2}{E_1} \quad (11)$$

Onde:

v_{21} = Coeficiente de poisson menor no plano 12

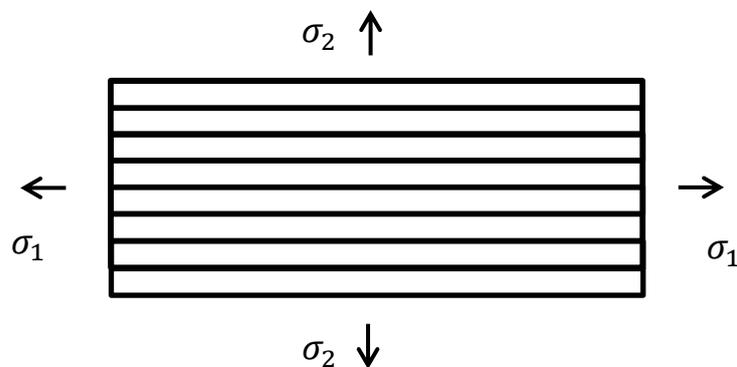
v_{12} = Coeficiente de poisson maior plano 12

E_1 = Módulo de elasticidade no sentido longitudinal a fibra

E_2 = Módulo de elasticidade no sentido transversal a fibra

Além destas variáveis, é preciso entender para o estudo de compósitos o coeficiente de Poisson. Quando se exerce um esforço de tração sobre uma região de um material qualquer este vai sofrer uma deformação longitudinal, proporcional ao esforço aplicado, e determinada pelo seu módulo de Young. O módulo de Young, só considera a deformação longitudinal, no entanto, qualquer material elástico ao ser “esticado” sofre também uma deformação transversal que é proporcional à deformação longitudinal aplicada. A razão entre a deformação transversal associada a uma deformação longitudinal na direção do esforço de tração, chama-se coeficiente (ou razão) de Poisson.

Figura 14: Tensões σ_1 tensões longitudinais geram Poisson γ_{12} maior e as tensões σ_2 geram Poisson γ_{21} menor.



Fonte: próprio autor (2019).

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1 \Rightarrow \varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} \quad (13)$$

$$(\text{Poisson maior}) v_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (14)$$

$$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2 \Rightarrow \varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} \quad (15)$$

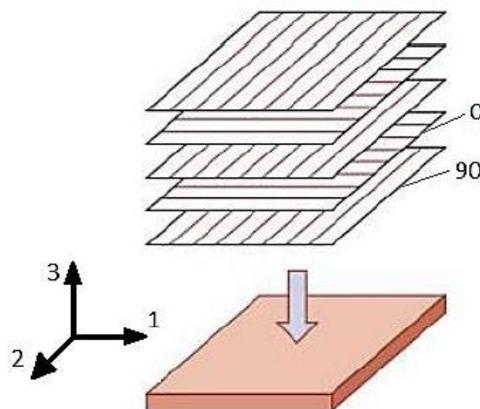
$$(\text{Poisson menor}) v_{12} = -\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (16)$$

3.6- Compósitos Multidirecionais

Um laminado é constituído por uma sequência de lâminas (ou camadas), nas quais as fibras podem estar em diferentes alinhamentos e configurações (curtas, longas ou contínuas), podendo cada lâmina apresentar uma orientação diferente das camadas adjacentes. Quando isso ocorre, definimos este compósito como multidirecional. Ao contrário do que ocorre em laminados unidirecionais em que ocorre uma diminuição da resistência mecânica na direção perpendicular ao reforço, as variações na orientação e na sequência de empilhamento tornam os laminados multidirecionais mais versáteis as necessidades de projeto.

As orientações mais usuais e citadas em diversas normas são $0^\circ/90^\circ$ e $+45^\circ/-45^\circ$. Na figura 15, podemos observar uma sequência de empilhamento: as camadas orientadas a 0° e 90° .

Figura 15: Macromecânica em laminados a 0° e 90° .

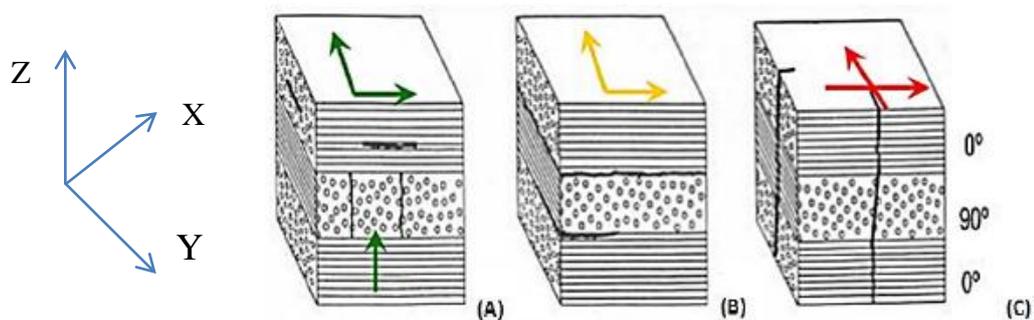


Fonte: SANTOS e BICHARA (2015).

Pode-se prever o comportamento dos laminados a partir do estudo do comportamento de cada uma das camadas, tratadas como sólidos homogêneos e anisotrópicos. Existem modelos que abordam este assunto de forma mais detalhada, como a teoria clássica dos laminados.

É comum ocorrerem diversos tipos de falhas quando um laminado é solicitado. A figura 16 ilustra a vista em corte de um laminado $0^\circ/90^\circ$ e os principais tipos de falha, que se dividem em: simples dentro da camada (intralaminar); separação das camadas do laminado ou delaminação (interlaminar); ou uma falha generalizada em todas as camadas do laminado (fratura translaminar).

Figura 16: Tipos de falha: Fratura intralaminar (a); fratura interlaminar (b); fratura translaminar (c)



Fonte: ALMEIDA (2010).

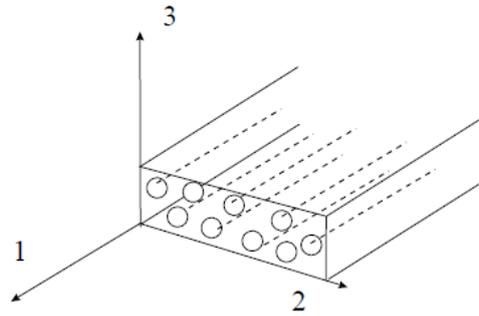
3.7- Desenvolvimento Analítico pela Micro e Macromecânica

3.7.1- Propriedades Mecânicas Determinadas pela Regra das Misturas

Para a análise de tensões, considera-se que a tração ou compressão aplicada paralelamente à fibra fornece as mesmas deformações para a matriz e para a fibra. Se a adesão entre as duas fases é perfeita então as tensões são dadas por:

Observando a figura 17, é possível visualizar as direções principais 1, 2 e 3. Sendo que a direção 1 está alinhada com a fibra, a direção 2 é perpendicular a fibra e pertence ao plano do laminado, a direção 3 é perpendicular ao plano do laminado.

Figura 17: O laminado e suas direções principais.



Fonte: HULL (1981).

$$\sigma_f = \varepsilon_1 \cdot E_f \quad (17)$$

$$\sigma_m = \varepsilon_1 \cdot E_m \quad (18)$$

Onde:

σ_m = Tensão aplicada na matriz

σ_f = Tensão aplicada na fibra

ε_1 = Deformação relativa na direção principal 1 (longitudinal à fibra)

E_f = Módulo de elasticidade da fibra

E_m = Módulo de elasticidade da matriz

A tensão média é dada por:

$$P = \sigma_1 \cdot A \quad (19)$$

Onde:

P = Força aplicada

σ_1 = Tensão aplicada na direção principal (1)

A = Área da seção transversal

Tem-se que:

$$P = P_f + P_m \quad (20)$$

Onde:

$P_f = \text{Força aplicada na fibra}$

$P_m = \text{Força aplicada na matriz}$

Sendo assim:

$$P_f = \sigma_f \times A_f \quad (21)$$

$$P_m = \sigma_m \times A_m \quad (22)$$

Então:

$$P = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m \quad (23)$$

Onde:

$A_f = \text{Área da seção transversal da fibra}$

$A_m = \text{Área da seção transversal da matriz}$

Dada as relações:

$$\sigma_1 = \varepsilon_1 \cdot E_1 \quad (24)$$

$$V_i = \frac{A_i}{A}, i = m \text{ ou } f \quad (25)$$

Onde:

$V_i = \text{Fração volumétrica de fibra ou matriz}$

$E_1 = \text{Módulo de elasticidade do compósito na direção principal}$

Substituindo as equações 18 e 19 e as relações acima na equação 18 tem-se:

$$E_1 = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (26)$$

Como,

$$V_f + V_m = 1 \quad (27)$$

Então,

$$E_1 = E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \quad (28)$$

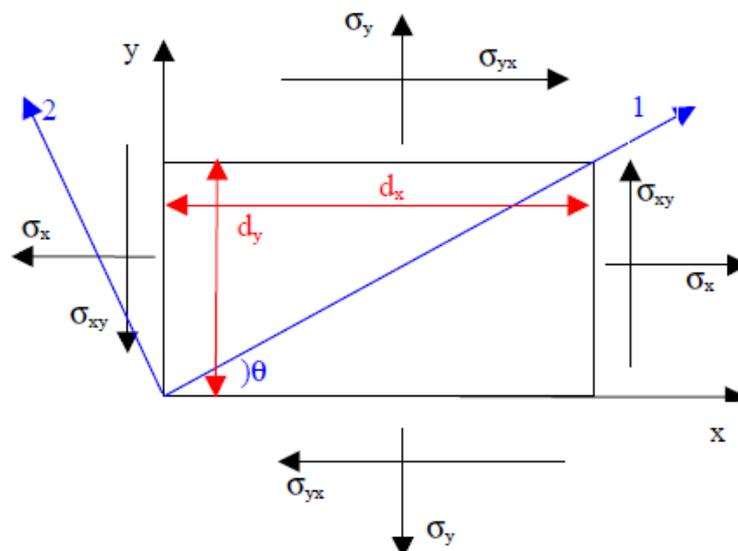
Onde:

E_1 = Módulo de elasticidade do compósito na direção principal

3.7.2- Determinação das Tensões Principais

Após a determinação das propriedades elásticas de uma lâmina, seja através da Regra das Misturas ou de ensaios, utiliza-se a Teoria Clássica de Laminados para assim obter a rigidez à flexão estrutural do laminado. Seguindo este raciocínio considera-se então, um pequeno elemento de uma lâmina de espessura constante, onde os eixos principais são designados por 1 e 2, sendo que a direção 1 é paralela às fibras e a direção 2 é normal a elas, conforme evidenciado na figura 18.

Figura 18: Lâmina de material compósito.



Fonte: VINSON e SIERAKOWSKI (1986).

3.7.3- Macromecânica de Lâminas Ortotrópicas

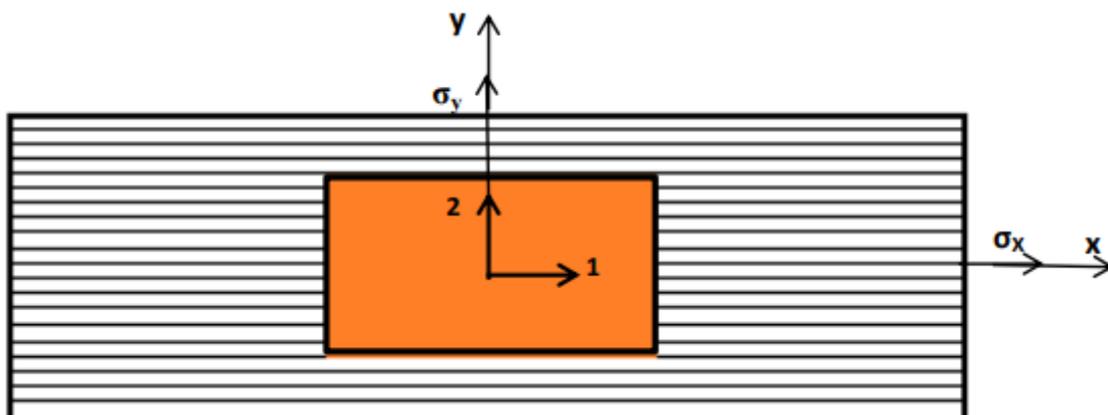
De acordo com Mendonça (2005) o termo comportamento macromecânico refere-se ao comportamento de uma lâmina apenas quando as propriedades mecânicas aparentes médias, em sua forma macroscópicas, são consideradas.

A análise macromecânica trata das propriedades média da lâmina para caracterizar o laminado, onde se considera que a lâmina é homogênea e ortotrópica (ARAGÃO FILHO, 2001)

De acordo com LEVY NETO e PARDINNI (2006) ao se analisar uma lâmina que apresente alguns centímetros ou mais de largura ou comprimento, tendo com reforço uma camada de tecido fino, pode-se adotar a análise 2D, na qual é assumido o estado plano de tensão.

De acordo com LEITÃO (2007) para uma lâmina unidirecional ortotrópica no estado plano de tensão, conforme apresentado na figura 19, as deformações longitudinal e transversal no eixo global X-Y são dependentes das propriedades mecânicas locais e das tensões aplicadas nesta direção. Conforme apresentado na figura os eixos principais locais (1-2) da lâmina estão alinhados com os eixo de referência globais (X-Y).

Figura 19: Lâmina com eixo local 1-2 das fibras coincidentes com eixo global X-Y.



Fonte: LEITÃO (2007).

3.7.3.1- Matriz de Flexibilidade de uma Lâmina Ortotrópica no Estado Plano de Tensão

A matriz de flexibilidade, é a matriz que contempla as equações para o estado plano de tensão de um compósito com lâmina ortotrópica, onde o resultado são as deformações nas direções principais, fruto do produto das propriedades elásticas do compósito com as tensões principais, conforme mostra as matrizes na equação 24.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (29)$$

A outra forma na qual esta equação é comumente demonstrada, é denominando-se a matriz com as propriedades elásticas tal qual exposto na equação 29, só que agora representada por uma matriz codificada $[S]$, desta forma a equação pode ser escrita da seguinte forma.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = [S] \times \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (30)$$

3.7.3.2- Matriz de Rigidez de uma Lâmina Ortotrópica no Estado Plano de Tensão

A matriz de rigidez, é a matriz que contempla as equações para o estado plano de tensão de um compósito com lâmina ortotrópica, onde o resultado são as tensões nas direções principais, fruto do produto das propriedades elásticas do compósito com as deformações principais, conforme mostra as matrizes na equação 31.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & \frac{-\nu_{21}E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ \frac{-\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (31)$$

A outra forma na qual esta equação é comumente demonstrada, é denominando-se a matriz com as propriedades elásticas tal qual exposto na equação 31, só que agora representada por uma matriz codificada $[Q]$, desta forma a equação pode ser escrita da seguinte forma.

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = [Q] \times \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} \quad (32)$$

3.7.4- Macromecânica de Lâminas Anisotrópicas

Após a tratativa do dimensionamento do compósito ter sido tratado como um material onde o plano principal 1-2 coincide com o plano global X-Y, agora será visto como dimensionar o compósito quando o eixo de coordenadas é diferente ao plano de 0° e 90° , ou seja, o eixo principal X-Y com um determinado grau em relação ao plano principal 1-2.

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & -2\cos\theta.\sin\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & 2\cos\theta.\sin\theta \\ \cos\theta.\sin\theta & -\cos\theta.\sin\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} \quad (33)$$

Na matriz da equação 33 são determinadas as tensões globais fruto do produto entre as tensões principais com uma matriz de correção trigonométrica determinada inversa da matriz de rotação $[T]^{-1}$, também conhecida como inversa da matriz de correção.

As equações seguintes mostram as seguintes matrizes: matriz rotacional ou de correção $[T]$, a matriz inversa de rotação $[T]^{-1}$, a matriz transposta da matriz rotacional $[T]^t$ e a inversa da matriz transposta rotacional $[T]^{-t}$.

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & 2\cos\theta.\sin\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & -2\cos\theta.\sin\theta \\ -\cos\theta.\sin\theta & \cos\theta.\sin\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & -2\cos\theta.\sin\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & 2\cos\theta.\sin\theta \\ \cos\theta.\sin\theta & -\cos\theta.\sin\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \quad (35)$$

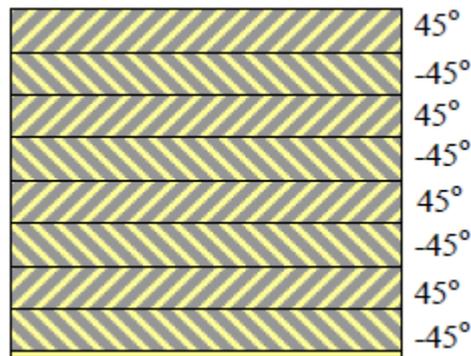
$$[T]^t = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & -\cos\theta.\sin\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & \cos\theta.\sin\theta \\ 2\cos\theta.\sin\theta & -2\cos\theta.\sin\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$[T]^{-t} = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & \cos\theta.\sin\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & -\cos\theta.\sin\theta \\ -2\cos\theta.\sin\theta & 2\cos\theta.\sin\theta & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix} \quad (37)$$

3.7.4.1- Matriz de Rigidez de uma Lâmina Anisotrópica

Para se determinar a rigidez para uma lâmina anisotrópica, é preciso que a matriz de rigidez seja fruto dos produtos entre a matriz inversa de rotação $[T]^{-1}$ com a matriz de rigidez ortotrópica $[Q]$ com a matriz inversa da transposta rotacional $[T]^{-t}$ com as deformações principais. A figura 20 demonstra lâmina anisotrópicas a 45° e 45° .

Figura 20: Demonstração de lâmina anisotrópica a 45° e -45°



Fonte: TITA (1999).

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [T]^{-1} \times [Q] \times [T]^{-t} \times \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (38)$$

Esta equação também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [\bar{Q}] \times \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (39)$$

3.7.4.2- Matriz de Flexibilidade de uma Lâmina Anisotrópica

Para se determinar a flexibilidade para uma lâmina anisotrópica, é preciso que a matriz de rigidez seja fruto dos produtos entre a matriz transposta de rotação $[T]^t$ com a matriz de flexibilidade ortotrópica $[S]$ com a matriz rotacional $[T]$ com as tensões principais.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = [T]^t \times [S] \times [T] \times \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (40)$$

Esta equação também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = [\bar{S}] \times \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (41)$$

3.7.4.3- Critérios de Resistência

Segundo Marinucci (2011) um critério de resistência pode ser apoiado por modelos matemáticos que estabelecem condições para prever a ruptura de um material sob qualquer tipo de combinação de tensões. Esses modelos seriam dispensáveis em uma situação em que fossem realizados ensaios em todas as componentes tridimensionais de tensão de tensões. Os ensaios demandariam tempo e custo e por isso a formulação de um modelo traz benefícios como o de poder antecipar condições de falha com um número reduzido de ensaios.

3.7.4.3.1- Critério da Tensão Máxima

Esse critério estabelece que o compósito não falhará desde que, a tensão em nenhuma das lâminas ultrapasse o valor da tensão máxima, seja tensão de tração como de compressão, tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal da fibra, assim como não ultrapassar o módulo de cisalhamento, tudo avaliado lâmina a lâmina (MENDONÇA, 2005).

$$\begin{aligned}
 -X_c &< \sigma_1 < X_t \\
 -Y_c &< \sigma_2 < Y_t \\
 |\tau_{12}| &< |S_{12}|
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

Onde:

σ_1 = representa a tensão norma aplicada na direção da fibra

σ_2 = representa a tensão norma aplicada na direção transversal à fibra

τ_{12} = representa a tensão de cisalhamento no plano da lâmina

X_t = representa a resistência à tração longitudinal

X_c = representa a resistência a compressão lomgitudinal

Y_t = representa a resistência à tração longitudinal

Y_c = representa a resistência à compressão transversal

S_{12} = representa a resistência ao cisalhamento no plano da lâmina

3.7.4.3.2- Critério Azzi- Tsai- Hill

Segundo MENDONÇA (2005) a partir do critério de Von Mises, que estabelece a predição do comportamento dúctil de materiais isotrópicos, conhecida como teoria de von Mises e Hencky, que Rodney Hill formulou uma teoria mais ampla que contemplasse também materiais anisotrópicos.

Também segundo MENSONÇA (2005), o critério de Azzi- Tsai- Hill estabelece que a falha em uma das camadas de um material anisotrópico no estado plano de tensão ocorrerá quando a desigualdade estabelecida pela inequação 43 for violada, isto é, quando a porção esquerda for igual ou menor que a unidade.

$$\left(\frac{\sigma_1}{X}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_1}{X}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_2}{X}\right) + \left(\frac{\sigma_2}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 < 1
 \tag{43}$$

Onde:

σ_1 = representa a tensão norma aplicada na direção da fibra

σ_2 = representa a tensão norma aplicada na direção transversal à fibra

τ_{12} = representa a tensão de cisalhamento no plano da lâmina

X = representa a resistência longitudinal

Y = representa a resistência transversal

S_{12} = representa a resistência ao cisalhamento no plano da lâmina

3.8- Ensaio Mecânicos

As respostas obtidas/dados coletados através de ensaios mecânicos são aplicadas na elaboração de especificações de matéria-prima, pesquisa e desenvolvimento, controle de qualidade, design, e análise estrutural. Dentre os fatores que influenciam de forma direta os ensaios mecânicos em materiais compósitos, destacam-se:

- Material do corpo de prova
- Tipo de preparação do material
- Meio de ensaio
- Alinhamento do sistema
- Encaixe nas garras da máquina
- Velocidade do ensaio
- Tempo de ensaio
- Temperatura
- Vazios existentes na estrutura do material
- Fração volumétrica do reforço

4.0- METODOLOGIA ENVOLVIDA NO PROJETO DA TALISCA

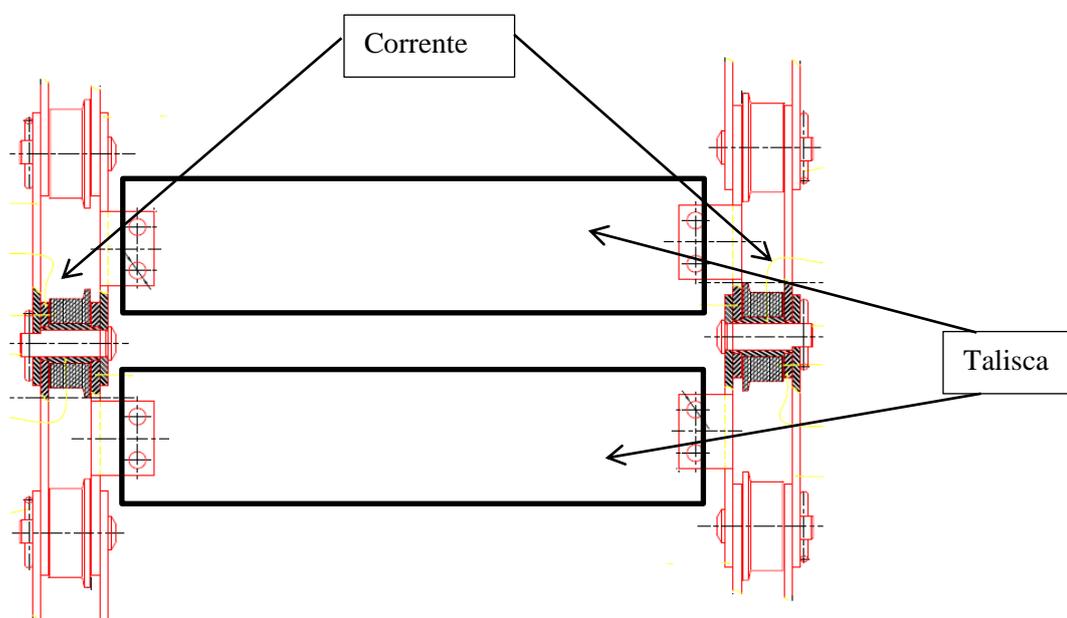
Com o intuito de se ter um comparativo das propriedades de um transportador industrial de corrente tipo talisca tradicional, com taliscas em aço carbono em relação a um mesmo transportador industrial com corrente de talisca em material compósito com matriz epóxi e fibra de vidro, matriz epóxi e kevlar e matriz epóxi e fibra de carbono, que foi feito um estudo de caso, com projeto e dimensionamento de um transportador real para transporte de anodos, comumente usados em fábrica de produção de alumínio.

4.1- Desenvolvimento Analítico

4.1.1- Dados de Projeto para Estudo de Caso

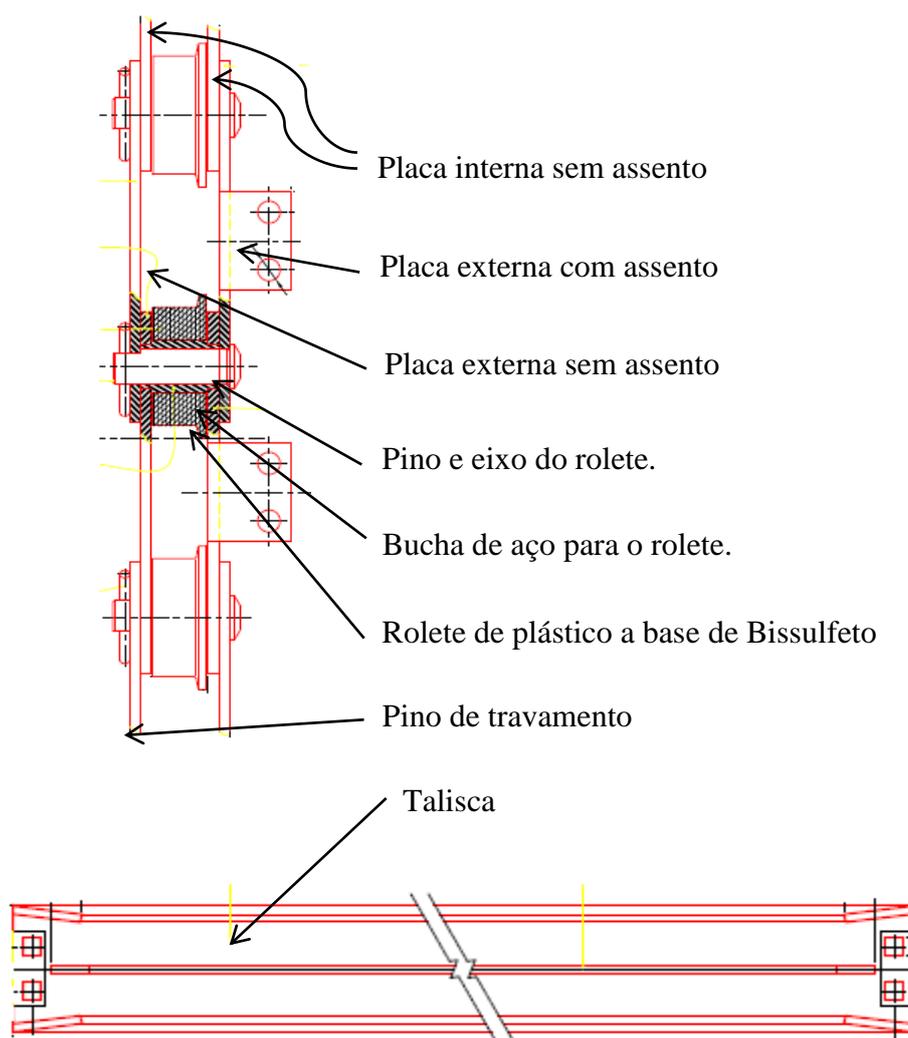
A corrente industrial tipo talisca de passo longo amplamente utilizado no meio industrial nos mais diversos processos fabris é composto de corrente e taliscas, esta composta de várias peças conforme mostrado nas figuras 21 e 22.

Figura 21: Figura evidenciando duas linhas de correntes montadas com as taliscas.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 22: Figura evidenciando cada componente da corrente e talisca.



Fonte: Próprio Autor (2019).

O transportador deste estudo de caso possui 32000mm (trinta e dois mil milímetro) de comprimento, 980mm (novecentos e oitenta milímetros) de largura, 1600mm (mil e seiscentos mil milímetros) de elevação superior na entrada do transportador, 1000mm (mil milímetros) de elevação inferior na saída do transportador, velocidade de 6m/min (seis metros por minuto) e capacidade de transportar 19 (dezenove) anodos de 1080Kg (mil cento e oitenta quilos cada) de uma vez só.

4.1.1- Transportador

Os dados do transportador do estudo de caso são:

- Comprimento _ 32000 mm.
- Largura _ 980 mm.
- Elevação superior _ 1600 mm.
- Elevação inferior _ 1000 mm.
- Velocidade _ 6 m/mm.

4.1.2- Corrente do Transportador Tipo Talisca em Aço

A quantidade dos componentes que a corrente possui são:

- Placa externa sem assento _ 1688 peças
- Placa externa com assento _ 1688 peças
- Placa interna sem assento _ 1688 peças
- Placa interna com assento _ 1688 peças
- Barra redonda para travamento _ 844 peças
- Bucha de aço para o rolete _ 844 peças
- Pino eixo de aço _ 844 peças
- Rolete de plástico _ 844 peças
- Talisca _ 422 peças

4.1.3- Peso dos Componentes da Corrente Tipo Talisca

Para o referido transportador de trinta e dois metros de comprimento, composto de duas linhas de corrente, gera-se um quantitativo de peças considerável e que somados os pesos individuais de cada componente resultam nos dados mostrados na tabela 3.

Tabela 3: Tabela com o quantitativo de peças da corrente de taliscas e seu peso.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE (peça)	PESO (Kg)
Placa externa sem assento	1688	982,42
Placa externa com assento	1688	1245,74
Placa interna sem assento	1688	943,60
Placa interna com assento	1688	1242,37
Barra redonda para travamento	844	7,60
Bucha de aço para o rolete	844	128,29
Pino eixo de aço	844	177,24
Rolete de plástico	844	160,36
Talisca	844	4642,00
Anodos (carga a ser transportada)	19	20520,00

Fonte: Próprio Autor (2019)

De acordo com os resultados encontrados, verifica-se que a corrente tipo talisca do referido transportador possui uma massa total de 9529,62Kg (nove mil quinhentos e vinte e nove vírgula sessenta e dois quilos) sendo 48,7% (quarenta e oito vírgula sete porcentos) desse valor a massa da talisca, representando 4642Kg (quatro mil seiscentos e quarenta e dois quilos).

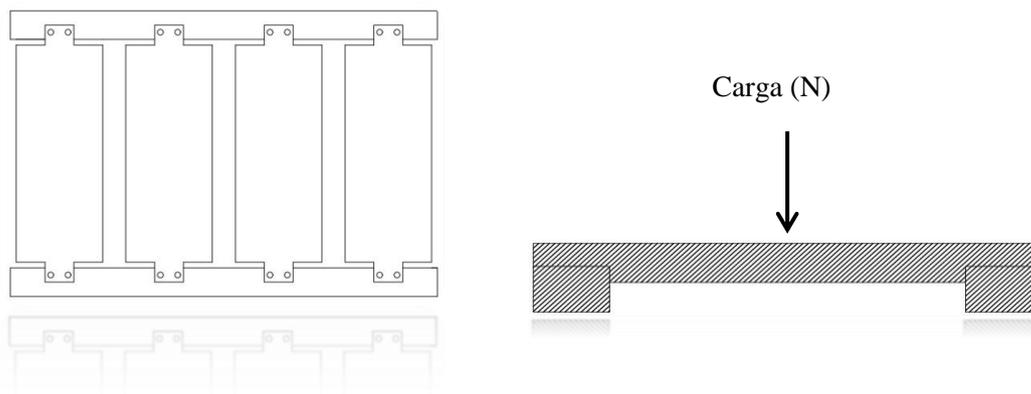
Desta forma tem-se um parâmetro de projeto passível de estudo e desenvolvimento, para redução da massa total do conjunto. Neste sentido, a talisca torna-se o ponto escolhido neste trabalho para redução de peso, viabilizando alcançar os objetivos propostos por este trabalho.

4.2- Cálculo do Esforço na Talisca em Aço

A talisca é o ponto de sustentação da carga a ser transportada e como tal seja ela de aço ou de qualquer outro tipo de material, deve-se ter garantias de que a mesmas

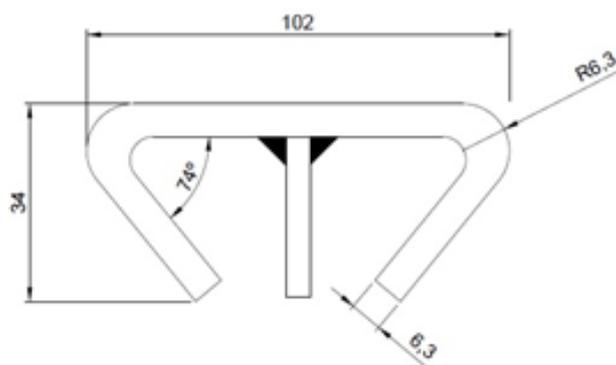
apresente condição estrutural para trabalhar de forma contínua em qualquer condição de transporte, conforme figura 23 e 24.

Figura 23: Figura (a) taliscas montadas, (b) figura esquemática da carga concentrada no meio da talisca.



Fonte: Próprio Autor (2019).

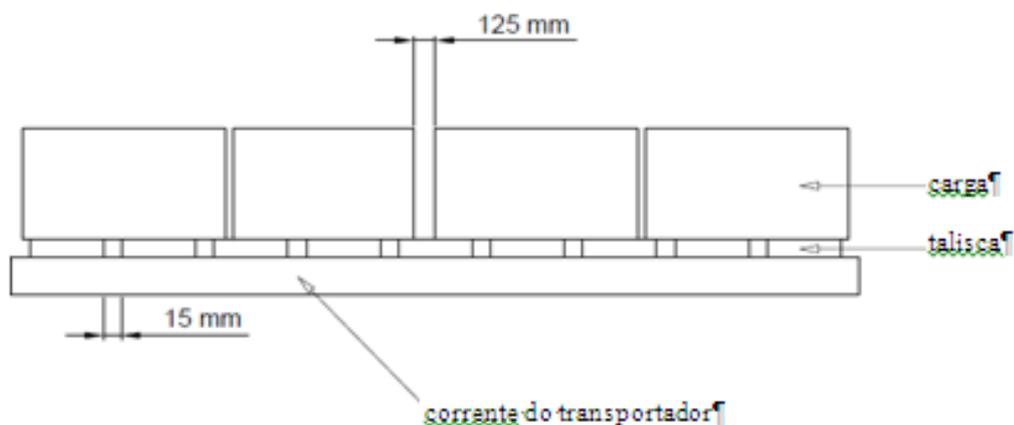
Figura 24: Desenho esquemático da talisca em aço.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Sendo as taliscas tradicionais feitas em aço SAE 1020 com tensão admissível de 68,6Mpa, o transportador funciona de forma intermitente com 19 anodos, tendo cada anodo 1080Kg, conforme desenho esquemático da figura 25.

Figura 25: Desenho esquemático do transportador industrial de corrente tipo talisca carregado com anodos (sem escala).



Fonte: Próprio Autor (2019).

Este transportador para ser capaz de transportar 19 anodos com 1080Kg cada, necessita ter uma capacidade de 641,25Kg/m (6290,66N/m). desta forma cada talisca deverá suportar uma massa de 102,15Kg (1002,10N), já que cada anodo fica sustentado por 8 taliscas. Os resultados encontrados para a talisca em aço SAE 1020 são mostrados na tabela 4.

Tabela 4: Tabela demonstrativa dos resultados do projeto da talisca de aço

DESCRIÇÃO	FÓRMULA	RESULTADO
Capacidade requerida para este transportador.	$\frac{(N^{\circ}_{anodos} \times P)}{L}$	6290,66 N/m
Carga que cada talisca tem que suportar.	$\frac{P_{anodo} + P_{tal}}{N^{\circ}_{taliscas}}$	1002 N
Momento fletor em que cada talisca está sujeita.	$M_f = \frac{P \times L}{4}$	342,02 N.m
Módulo de resistência da seção transversal	$W_{talisca}$	10 882 mm ³
Cálculo da tensão de trabalho.	$\sigma_a = \frac{Mf}{W}$	34,41 MPa
Percentual da tensão máxima em que estas taliscas estão sujeitas.	$\% = \frac{\sigma_t}{\sigma_a}$	8,35%
Cálculo da tensão de cisalhamento	$\sigma_s = \frac{P_s}{A}$	1,11 MPa
Percentual da tensão de cisalhamento máxima em que estas taliscas estão sujeitas.	$\% = \frac{\sigma_{st}}{\sigma_{sa}}$	0,35%

Fonte: Próprio Autor (2019).

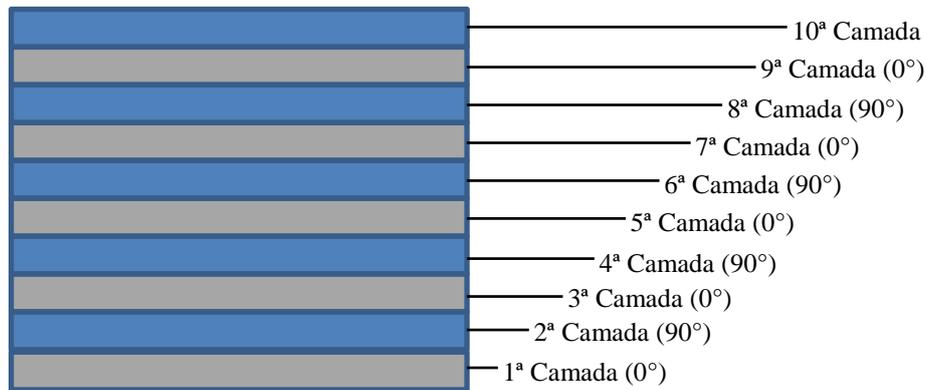
4.3- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibras Sintéticas

Considera-se agora o mesmo projeto da talisca, mas o dimensionamento passa a ser para taliscas em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar. Serão gerados através do dimensionamento as propriedades mecânicas necessárias e massa de cada talisca com os diferentes tipos de compósito estudados. Todos os resultados de tensão encontrados serão comparados através do critério de aceitação de 30% da tensão máxima conforme norma ABNT 14574, do critério de falha da Tensão Máxima e do critério de Tsai Hill.

Tanto a talisca em aço, que é predominantemente usada nos transportadores industriais, como a talisca proposta neste trabalho, obedecem o critério de suportaçã de uma carga por talisca de 1002N para um vão de 960mm, com carga em flexão.

Foi realizado o dimensionamento de placas de compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar, estas placas são composta de dez lâminas que alternam entre 0° e 90° .

Figura 25: Desenho esquemático de uma placa com dez lâminas.



Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3.1- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Vidro

As tabelas 5, 6 e 7 mostram respectivamente as propriedades da fibra de vidro utilizados no dimensionamento, os valores das propriedades da resina epóxi utilizados no dimensionamento e os valores das propriedades do compósito feito com matriz epóxi e reforço em fibra de vidro, estes valores foram extraídos do livro materiais compostos de estrutura sanduíche.

Tabela 5: Valores das propriedades da fibra de vidro utilizados no dimensionamento

Densidade	2540Kg/m ³
Módulo de elasticidade	70GPa
Resistência a tração	2,4GPa
Elongamento	4,8%

Fonte: MENDONÇA (2005).

Tabela 6: Valores das propriedades da resina epóxi utilizados no dimensionamento

Densidade	1213Kg/m ³
Módulo de elasticidade	2,7 a 3,38GPa
Resistência a tração	300 a 1300MPa

Fonte: MENDONÇA (2005).

Tabela 7: Dados do compósito feito em matriz epóxi e reforço em fibra de vidro.

Fração volumétrica da fibra	45%
Densidade	1800Kg/m ³
Módulo de elasticidade no sentido da fibra	38,6GPa
Módulo de elasticidade no sentido transversal a fibra	8,27GPa
Coefficiente de Poisson maior	0,26
Módulo de cisalhamento	4,14GPa
Resistência tração no sentido da fibra	1062Mpa
Resistência a compressão no sentido da fibra	610Mpa
Resistência a tração no sentido transversal a fibra	31Mpa
Resistência a compressão no sentido transversal a fibra	118Mpa
Resistência ao cisalhamento	72MPa

Fonte: MENDONÇA (2005).

As referidas propriedades elásticas do compósito de matriz epóxi e fibra de vidro geraram as seguintes matriz de rigidez $[Q]$ e de flexibilidade $[S]$.

$$[Q] = \begin{bmatrix} 39,17 & 2,18 & 0 \\ 2,18 & 8,27 & 0 \\ 0 & 0 & 4,14 \end{bmatrix} [GPa] \quad (44)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0,025912 & -0,006836 & 0 \\ -0,006836 & 0,122723 & 0 \\ 0 & 0 & 0,241546 \end{bmatrix} [1/GPa] \quad (45)$$

A tabela 8 demonstra os valores de tensão que cada lâmina está sujeita, durante a aplicação de uma carga de 1002N, que corresponde a mesma carga na qual foi dimensionado a talisca feita em aço.

Tabela 8: Valores das tensões por lâmina para a talisca em epóxi com fibra de vidro.

Camada (Lâmina)	Orientação Fibra(°)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Cisalhamento XY (MPa)
1	0	15,71	0,57	0,00
2	90	3,25	-0,57	0,00
3	0	15,66	0,57	0,00
4	90	3,24	-0,57	0,00
5	0	15,61	0,57	0,00
6	90	3,23	-0,57	0,00
7	0	15,55	0,57	0,00
8	90	3,22	-0,57	0,00
9	0	15,50	0,57	0,00
10	90	3,20	-0,57	0,00

Fonte: Próprio autor (2019).

A tabela 9 trata do critério de aceitação segundo a norma ABNT 14574, que propõe que toda a tensão em que as lâminas estejam sujeitas, não ultrapassem de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento.

Tabela 9: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra vidro.

Material	0,3 x Tensão Máx. X (MPa)	0,3 x Tensão Máx. Y (MPa)	0,3x Cisalhamento XY (MPa)
Epóxi/ Vidro	318,6 (tração) 183,0 (compressão)	9,3 (tração) 35,4 (compressão)	21,6

.Fonte: Próprio autor (2019).

Comparando os valores da tabela 10, critério de aceitação, com os valores da tabela 8, tensão a que estão sujeitas cada lâmina da talisca em compósito proposta, constata-se que nenhuma das lâminas está ultrapassando os valores de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento, isto torna o projeto viável.

A tabela 10 trata do critério da Tensão Máxima e evidencia os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito, comparando as tensões máximas de tração, compressão e cisalhamento.

Tabela 10: Critério da tensão máxima para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Máx.X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Máx.Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Tensão Máx.XY (MPa)
1	15,71	1062	0,57	610	0,00	72
2	3,25	1062	-0,57	610	0,00	72
3	15,66	1062	0,57	610	0,00	72
4	3,24	1062	-0,57	610	0,00	72
5	15,61	1062	0,57	610	0,00	72
6	3,23	1062	-0,57	610	0,00	72
7	15,55	1062	0,57	610	0,00	72
8	3,22	1062	-0,57	610	0,00	72
9	15,50	1062	0,57	610	0,00	72
10	3,20	1062	-0,57	610	0,00	72

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 10, verifica-se que também pelo critério de falha da tensão máxima nenhuma das 10 lâminas apresentam falha nas condições de carga que estão sujeitas, conforme estudo de caso.

A tabela 11 trata do critério de Azzi- Tsai Hill e evidência os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito, comparando com o critério de Azzi-Tsai Hill.

Tabela 11: Critério Azzi-Tsai Hill para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Critério Tsai Hill (<1)
1	15,71	0,57	0,00	0,005496
2	3,25	-0,57	0,00	0,004815
3	15,66	0,57	0,00	0,005475
4	3,24	-0,57	0,00	0,004799
5	15,61	0,57	0,00	0,005455
6	3,23	-0,57	0,00	0,004783
7	15,55	0,57	0,00	0,005434
8	3,22	-0,57	0,00	0,004766
9	15,50	0,57	0,00	0,005413
10	3,20	-0,57	0,00	0,004750

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 11, verifica-se que nenhuma das 10 lâminas falhará pelo critério de Azzi- Tsai Hill. Desta forma através dos três critérios, ABNT 14574, critério da Tensão Máxima e critério de Azzi- Tsai Hill desta forma verifica-se que a talisca feita em material compósito em matriz epóxi e fibra de vidro suporta a carga a que está sujeita.

4.3.2- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Carbono

Na tabela 12 estão os valores das propriedades da fibra de carbono utilizados no dimensionamento, na tabela 7 valores das propriedades da resina epóxi utilizados no dimensionamento, na tabela 13 estão os valores das propriedades do compósito feito com matriz epóxi e reforço em fibra de carbono, estes valores foram extraídos do livro materiais compostos de estrutura sanduíche.

Tabela 12: Valores das propriedades da fibra de carbono utilizados no dimensionamento

Densidade	1800Kg/m ³
Módulo de elasticidade	270GPa
Resistência a tração	2,7GPa
Elongamento	1,2%

Fonte: MENDONÇA (2005).

Tabela 13: Dados do compósito feito em matriz epóxi e reforço em fibra de carbono.

Fração volumétrica da fibra	66%
Densidade	1600Kg/m ³
Módulo de elasticidade no sentido da fibra	138GPa
Módulo de elasticidade no sentido transversal a fibra	8,96GPa
Coefficiente de Poisson maior	0,30
Módulo de cisalhamento	7,10GPa
Resistência tração no sentido da fibra	1447Mpa
Resistência a compressão no sentido da fibra	1447Mpa
Resistência a tração no sentido transversal a fibra	51,7Mpa
Resistência a compressão no sentido transversal a fibra	206Mpa
Resistência ao cisalhamento	93MPa

Fonte: MENDONÇA (2005).

As referidas propriedades elásticas do compósito de matriz epóxi e fibra de carbono geraram a seguinte matriz de rigidez $[Q]$ e de flexibilidade $[S]$.

$$[Q] = \begin{bmatrix} 138,81 & 2,70 & 0 \\ 2,70 & 8,96 & 0 \\ 0 & 0 & 7,10 \end{bmatrix} [GPa] \quad (46)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0,007247 & -0,002187 & 0 \\ -0,002187 & 0,112267 & 0 \\ 0 & 0 & 0,140845 \end{bmatrix} [1/GPa] \quad (47)$$

A tabela 14 é o demonstrativo dos valores de tensão que cada lâmina está sujeita, durante a aplicação de uma carga de 1002N, que corresponde a mesma carga na qual foi dimensionado a talisca feita em aço, nos conformes do estudo de caso que vem sendo apresentado neste trabalho.

Tabela 14: Valores das tensões por lâmina da talisca em epóxi com fibra de carbono.

Camada (Lâmina)	Orientação Fibra (°)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Cisalhamento XY (MPa)
1	0	7,13	0,12	0,00
2	90	0,45	-0,12	0,00
3	0	7,11	0,12	0,00
4	90	0,45	-0,12	0,00
5	0	7,08	0,12	0,00
6	90	0,45	-0,12	0,00
7	0	7,06	0,12	0,00
8	90	0,45	-0,12	0,00
9	0	7,04	0,12	0,00
10	90	0,45	-0,12	0,00

Fonte: Próprio autor (2019).

A tabela 15 trata do critério de aceitação segundo a norma ABNT 14574, que propõe que toda a tensão em que as lâminas estejam sujeitas, não ultrapassem de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento.

Tabela 15: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra de carbono.

Material	0,3 x Tensão Máx. X (MPa)	0,3 x Tensão Máx. Y (MPa)	0,3x Cisalhamento XY (MPa)
Epóxi/ Carbono	434,10 (tração) 434,10 (compressão)	15,51 (tração) 61,8(compressão)	27,9

.Fonte: Próprio autor (2019).

Comparando os valores da tabela 14, critério de aceitação, com os valores da tabela 15, tensão a que estão sujeitas cada lâmina da talisca em compósito proposta, constata-se que nenhuma das lâminas está ultrapassando os valores de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento, isto torna o projeto viável.

A tabela 16 trata do critério da tensão máxima, esta tabela evidencia os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito e compara as tensões máximas de tração, compressão e cisalhamento.

Tabela 16: Critério da tensão máxima para cada lâmina para talisca em epóxi com fibra de carbono.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Máx.X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Máx.Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Tensão Máx.XY (MPa)
1	7,13	1447	0,12	51,70	0,00	93
2	0,45	1447	-0,12	51,70	0,00	93
3	7,11	1447	0,12	51,70	0,00	93
4	0,45	1447	-0,12	51,70	0,00	93
5	7,08	1447	0,12	51,70	0,00	93
6	0,45	1447	-0,12	51,70	0,00	93
7	7,06	1447	0,12	51,70	0,00	93
8	0,45	1447	-0,12	51,70	0,00	93
9	7,04	1447	0,12	51,70	0,00	93
10	0,45	1447	-0,12	51,70	0,00	93

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 16, verifica-se que também pelo critério de falha da tensão máxima nenhuma das 10 lâminas apresentam falha nas condições de carga que estão sujeitas, conforme estudo de caso.

A tabela 17 trata do critério de Azzi- Tsai Hill, esta tabela evidencia os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito e compara com o critério de Tsai Hill.

Tabela 17: Critério Azzi- Tsai Hill para cada lâmina epóxi/ carbono.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Critério Tsai Hill (<1)
1	7,13	0,12	0,00	0,002387
2	0,45	-0,12	0,00	0,002359
3	7,11	0,12	0,00	0,002378
4	0,45	-0,12	0,00	0,002351
5	7,08	0,12	0,00	0,002370
6	0,45	-0,12	0,00	0,002343
7	7,06	0,12	0,00	0,002362
8	0,45	-0,12	0,00	0,002335
9	7,04	0,12	0,00	0,002354
10	0,45	-0,12	0,00	0,002327

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 17, verifica-se que nenhuma das 10 lâminas falhará pelo critério de Tsai Hill. Desta forma através dos três critérios, ABNT 14574, critério da tensão máxima e critério de Tsai Hill verifica-se que a talisca feita em material compósito em matriz epóxi e fibra de carbono suporta a carga a que está sujeita.

4.3.3- Dimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Kevlar

Na tabela 18 estão os valores das propriedades da fibra de kevlar utilizados no dimensionamento, na tabela 7 valores das propriedades da resina epóxi utilizados no dimensionamento, na tabela 19 estão os valores das propriedades do compósito feito com matriz epóxi e reforço em fibra de kevlar, estes valores foram extraídos do livro materiais compostos de estrutura sanduíche.

Tabela 18: Valores das propriedades da fibra de kevlar utilizados no dimensionamento

Densidade	1440Kg/m ³
Módulo de elasticidade	62GPa
Resistência a tração	2,7GPa
Elongamento	4,4%

Fonte: MENDONÇA (2005).

Tabela 19: Dados do compósito feito em matriz epóxi e reforço em fibra de kevlar.

Fração volumétrica da fibra	60%
Densidade	1460Kg/m ³
Módulo de elasticidade no sentido da fibra	76GPa
Módulo de elasticidade no sentido transversal a fibra	5,5GPa
Coefficiente de Poisson maior	0,34
Módulo de cisalhamento	2,30GPa
Resistência tração no sentido da fibra	1400MPa
Resistência a compressão no sentido da fibra	235MPa
Resistência a tração no sentido transversal a fibra	12MPa
Resistência a compressão no sentido transversal a fibra	53MPa
Resistência ao cisalhamento	34MPa

Fonte: MENDONÇA (2005).

As referidas propriedades elásticas do compósito de matriz epóxi e fibra de kevlar geraram a seguinte matriz de rigidez $[Q]$ e de flexibilidade $[S]$.

$$[Q] = \begin{bmatrix} 76,64 & 1,89 & 0 \\ 1,89 & 5,50 & 0 \\ 0 & 0 & 2,30 \end{bmatrix} [GPa] \quad (48)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0,013159 & -0,004512 & 0 \\ -0,004512 & 0,183365 & 0 \\ 0 & 0 & 0,434783 \end{bmatrix} [1/GPa] \quad (49)$$

A tabela 20 é o demonstrativo dos valores de tensão que cada lâmina está sujeita, durante a aplicação de uma carga de 1002N, que corresponde a mesma carga na qual foi dimensionado a talisca feita em aço, nos conformes do estudo de caso que vem sendo apresentado neste trabalho.

Tabela 20: Valores das tensões por lâmina para a talisca em epóxi com fibra de kevlar.

Camada (Lâmina)	Orientação Fibra (°)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Cisalhamento XY (MPa)
1	0	8,86	0,19	0,00
2	90	0,63	-0,19	0,00
3	0	8,83	0,19	0,00
4	90	0,62	-0,19	0,00
5	0	8,80	0,19	0,00
6	90	0,62	-0,19	0,00
7	0	8,77	0,19	0,00
8	90	0,62	-0,19	0,00
9	0	8,74	0,19	0,00
10	90	0,62	-0,19	0,00

Fonte: Próprio autor (2019).

A tabela 21 trata do critério de aceitação segundo a norma ABNT 14574, que propõe que toda a tensão em que as lâminas estejam sujeitas, não ultrapassem de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento.

Tabela 21: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra de kevlar.

Material	0,3 x Tensão Máx. X (MPa)	0,3 x Tensão Máx. Y (MPa)	0,3x Cisalhamento XY (MPa)
Epóxi/	420,0 (tração)	3,6 (tração)	10,2
Kevlar	70,5 (compressão)	15,9(compressão)	

.Fonte: Próprio autor (2019).

Comparando os valores da tabela 20, critério de aceitação, com os valores da tabela 21, tensão a que estão sujeitas cada lâmina da talisca em compósito proposta, constata-se que nenhuma das lâminas está ultrapassando os valores de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento, isto torna o projeto viável.

A tabela 22 trata do critério da tensão máxima, esta tabela evidencia os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito e compara as tensões máximas de tração, compressão e cisalhamento.

Tabela 22: Critério da tensão máxima para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de kevlar.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Máx.X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Máx.Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Tensão Máx.XY (MPa)
1	8,86	1400	0,19	235	0,00	34
2	0,63	1400	-0,19	235	0,00	34
3	8,83	1400	0,19	235	0,00	34
4	0,62	1400	-0,19	235	0,00	34
5	8,80	1400	0,19	235	0,00	34
6	0,62	1400	-0,19	235	0,00	34
7	8,77	1400	0,19	235	0,00	34
8	0,62	1400	-0,19	235	0,00	34
9	8,74	1400	0,19	235	0,00	34
10	0,62	1400	-0,19	235	0,00	34

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 22, verifica-se que também pelo critério de falha da tensão máxima nenhuma das 10 lâminas apresentam falha nas condições de carga que estão sujeitas, conforme estudo de caso.

A tabela 23 trata do critério de Azzi- Tsai Hill, esta tabela evidência os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito e compara com o critério de Tsai Hill.

Tabela 23: Critério Azzi- Tsai Hill para cada lâmina para talisca em epóxi com fibra de kevlar.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Critério Tsai Hill (<1)
1	8,86	0,19	0,00	0,003605
2	0,63	-0,19	0,00	0,003559
3	8,83	0,19	0,00	0,003592
4	0,62	-0,19	0,00	0,003547
5	8,80	0,19	0,00	0,003580
6	0,62	-0,19	0,00	0,003535
7	8,77	0,19	0,00	0,003568
8	0,62	-0,19	0,00	0,003523
9	8,74	0,19	0,00	0,003556
10	0,62	-0,19	0,00	0,003511

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 23, verifica-se que nenhuma das 10 lâminas falhará pelo critério de Azzi- Tsai Hill. Desta forma através dos três critérios, ABNT 14574, critério da tensão máxima e critério de Azzi- Tsai Hill verifica-se que a talisca feita em material compósito em matriz epóxi e fibra de kevlar suporta a carga a que está sujeita.

4.3.4- Validação da Estrutura de Cálculo da Talisca em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro

Tanto o compósito em epóxi com fibra de vidro, o compósito epóxi com fibra de carbono e o compósito epóxi com fibra de aramida, foram dimensionados com base nas propriedades mecânicas retiradas do livro Materiais Compostos de Estrutura Sanduíche, MENDONÇA (2005). Como validação foi fabricada uma placa de material compósito em matriz epóxi e fibra de vidro, para a verificação via ensaio de tração das propriedades calculadas.

4.3.4.1- Fabricação da Placa em Epóxi com Fibra de Vidro

A placa de compósito em matriz epóxi com fibra de vidro foi fabricada conforme figura 26, por meio do processo de infusão de resina no laboratório de mecânica do Instituto Federal do Pará, Campus Belém. A referida placa foi fabricada com uma largura de 350mm, comprimento de 460mm e espessura de 1,6mm.

Figura 26: Foto da placa de compósito logo após a infusão da resina epóxi.



Fonte: Próprio Autor (2019).

A placa foi fabricada com 45% de fração mássica de fibra de vidro e 55% de fração mássica de resina epóxi. Foram utilizadas cinco camadas de tecido de fibra de vidro de gramatura 330g/cm². A massa das cinco camadas de tecido foi de 257g, e a

massa de resina epóxi 314,11g. Conforme orientação do fabricante da resina, foram utilizados 50% de agente de cura. A massa específica da resina é de $1,17\text{g/cm}^3$. O nível de vácuo foi de 101,3KPa.

4.3.4.2- Ensaio de Tração

Foram produzidos oito corpos de prova para ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D 3039, para ensaio de tração em compósitos com matriz polimérica.

Figura 27: Corpos de prova gerados a partir da placa evidenciada na figura 26.



Fonte: Próprio Autor (2019).

O ensaio de tração foi realizado em na máquina de ensaio de tração Arotec WDW-100E, na velocidade de 5mm/min, pertencente ao laboratório de metalografia do Instituto Federal do Pará, Campus Belém.

Figura 28: Foto do corpo de prova na máquina utilizada no ensaio de tração.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 29: Foto dos corpos de prova pós ruptura pelo ensaio de tração.

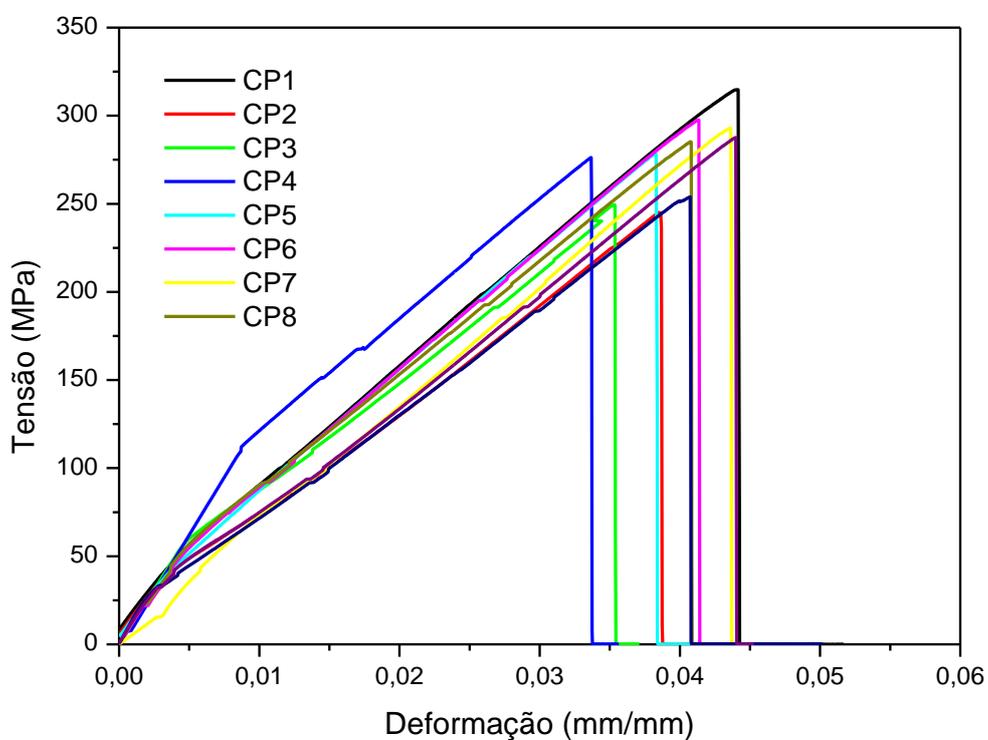


Fonte: Próprio Autor (2019).

4.3.4.3- Resultados da validação do compósito com fibra de vidro

A figura 30 ilustra os resultados obtidos pelo ensaio de tração para os compósitos de matriz epóxi com fibra de vidro.

Figura 30: Gráfico com o resultado dos 8 corpos de prova via ensaio de tração.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Os corpos de prova apresentam resultados próximos tanto nos limites de resistência tração como em deformação. O corpo de prova um foi o que apresentou o melhor resultado de tensão, 314,80MPa, e o corpo de prova dois foi o que apresentou o menor resultado 244,82MPa, a média dos resultados dos oito corpos de prova foi de aproximadamente 280MPa, $280\text{MPa} \pm 8,02$ (erro padrão).

4.3.4.4- Redimensionamento da Talisca em Matriz Epóxi e Fibra de Vidro Pós Ensaio de Tração.

De posse dos valores obtidos experimentalmente, realizou-se o redimensionamento do compósito em matriz epóxi com fibra de vidro. Na tabela 24 estão os valores a que cada uma das dez lâminas, agora as propriedades a partir do ensaio de tração.

Tabela 24: Valores das tensões por lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.

Camada (Lâmina)	Orientação Fibra (°)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Cisalhamento XY (MPa)
1	0	62,92	2,29	0,00
2	90	12,93	-2,28	0,00
3	0	62,70	2,28	0,00
4	90	12,89	-2,28	0,00
5	0	62,49	2,27	0,00
6	90	12,85	-2,27	0,00
7	0	62,28	2,26	0,00
8	90	12,80	-2,26	0,00
9	0	62,07	2,26	0,00
10	90	12,76	-2,25	0,00

Fonte: Próprio autor (2019).

A tabela 25 trata do critério de aceitação segundo a norma ABNT 14574, que propõe que toda a tensão em que as lâminas estejam sujeitas, não ultrapassem de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento.

Tabela 25: Critério de aceitação de 30% conforme norma ABNT 14574 para talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.

Material	0,3 x Tensão Máx. X (MPa)	0,3 x Tensão Máx. Y (MPa)	0,3x Cisalhamento XY (MPa)
Epóxi/ Vidro	83,84 (tração)	2,45 (tração)	5,6
	48,15 (compressão)	9,3(compressão)	

.Fonte: Próprio autor (2019).

Comparando os valores da tabela 24, critério de aceitação, com os valores da tabela 25, tensão a que estão sujeitas cada lâmina da talisca em compósito proposta, constata-se que nenhuma das lâminas está ultrapassando os valores de 30% dos valores de tensão máxima de tração e compressão no sentido da fibra, de tração e compressão no sentido transversal a fibra e também da tensão de cisalhamento, isto torna o projeto viável.

A tabela 26 trata do critério da tensão máxima, esta tabela evidencia os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito e compara as tensões máximas de tração, compressão e cisalhamento.

Tabela 26: Critério da tensão máxima para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Máx.X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Máx.Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Tensão Máx.XY (MPa)
1	78,40	280	2,88	160	0,00	18,98
2	78,13	280	-2,88	160	0,00	18,98
3	16,36	280	2,87	160	0,00	18,98
4	77,87	280	-2,87	160	0,00	18,98
5	16,30	280	2,86	160	0,00	18,98
6	77,60	280	-2,86	160	0,00	18,98
7	16,25	280	2,85	160	0,00	18,98
8	77,34	280	-2,85	160	0,00	18,98
9	3,25	280	2,84	160	0,00	18,98
10	16,19	280	-2,84	160	0,00	18,98

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 26, verifica-se que também pelo critério de falha da tensão máxima nenhuma das 10 lâminas apresentam falha nas condições de carga que estão sujeitas, conforme estudo de caso.

A tabela 27 trata do critério de Azzi- Tsai Hill, esta tabela evidência os valores de tensão a que estão sujeitas cada lâmina do referido compósito e compara com o critério de Azzi- Tsai Hill.

Tabela 27: Critério Azzi- Tsai Hill para cada lâmina da talisca em epóxi com fibra de vidro pós-caracterização.

Camada (Lâmina)	Tensão X (MPa)	Tensão Y (MPa)	Tensão Cis.XY (MPa)	Critério Tsai Hill (<1)
1	62,92	2,29	0,00	0,04
2	12,93	-2,28	0,00	0,02
3	62,7	2,28	0,00	0,04
4	12,89	-2,28	0,00	0,02
5	62,49	2,27	0,00	0,04
6	12,85	-2,27	0,00	0,02
7	62,28	2,26	0,00	0,04
8	12,8	-2,26	0,00	0,02
9	62,07	2,26	0,00	0,04
10	12,76	-2,25	0,00	0,02

Fonte: Próprio autor (2019).

Conforme a tabela 27, verifica-se que nenhuma das 10 lâminas falhará pelo critério de Azzi- Tsai Hill. Desta forma através dos três critérios, ABNT 14574, critério da tensão máxima e critério de Azzi- Tsai Hill verifica-se que a talisca feita em material compósito em matriz epóxi e fibra de vidro suporta a carga a que está sujeita.

4.4 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em epóxi e comparação com transportador com talisca de aço.

Com intuito de se verificar o ganho no consumo de energia elétrica em função de se utilizar taliscas em material compósito em matriz polimérica com fibra sintética, é que se fez o dimensionamento do acionamento do referido transportador que é objeto de estudo deste trabalho, para comparar as taliscas em compósito com as taliscas em aço.

4.4.1 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Epóxi e Fibra de Vidro

Para um transportador que possui 422 taliscas em aço, totalizando 4642Kg, em comparação a um mesmo transportador com as mesmas 422 taliscas em compósito com fibra de vidro, com massa total de 818,68Kg, gera-se uma redução de massa de 3823,32Kg, o que em termos de potência de acionamento causou uma redução de um motorreductor de 7,5CV (5,5KW), para um motorreductor de 5,5CV (4,0KW), equivalendo a uma economia de 26,7% no consumo de energia elétrica. (Fazer para os demais)

Em valor, se considerado que este transportador opera 24h por dia, 365 dias ao ano com um valor de energia 0,671KWh (valor da tarifa em 17/01/2019 de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica), gera-se uma despesa em energia elétrica por ano, para o transportador com taliscas em aço de R\$ 44.083,58; enquanto que para o mesmo transportador com taliscas em material compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de vidro, gera-se uma despesa com energia elétrica por ano de R\$ 32.328,78, representando uma economia de R\$ 11.754,58.

4.4.2 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Epóxi e Fibra de Carbono

Para um transportador que possui 422 taliscas em aço, totalizando 4642Kg, em comparação a um mesmo transportador com as mesmas 422 taliscas em compósito com fibra de carbono, com massa total de 742,72Kg, gera-se uma redução de massa de 3899,28Kg, o que em termos de potência de acionamento causou uma redução de um motorreductor de 7,5CV (5,5KW), para um motorreductor de 5,5CV (4,0KW),

equivalendo a uma economia de 26,7% no consumo de energia elétrica. (Fazer para os demais)

Em valor, se considerado que este transportador opera 24h por dia, 365 dias ao ano com um valor de energia 0,671KWh (valor da tarifa em 17/01/2019 de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica), gera-se uma despesa em energia elétrica por ano, para o transportador com taliscas em aço de R\$ 44.083,58; enquanto que para o mesmo transportador com taliscas em material compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de carbono, gera-se uma despesa com energia elétrica por ano de R\$ 32.328,78, representando uma economia de R\$ 11.754,58.

4.4.3 Dimensionamento do Acionamento para Transportador com Talisca em Epóxi e Fibra de Kevlar

Para um transportador que possui 422 taliscas em aço, totalizando 4642Kg, em comparação a um mesmo transportador com as mesmas 422 taliscas em compósito com fibra de kevlar, com massa total de 679,42Kg, gera-se uma redução de massa de 3962,58Kg, o que em termos de potência de acionamento causou uma redução de um motorreductor de 7,5CV (5,5KW), para um motorreductor de 5,5CV (4,0KW), equivalendo a uma economia de 26,7% no consumo de energia elétrica.

Em valor, se considerado que este transportador opera 24h por dia, 365 dias ao ano com um valor de energia 0,671KWh (valor da tarifa em 17/01/2019 de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica), gera-se uma despesa em energia elétrica por ano, para o transportador com taliscas em aço de R\$ 44.083,58; enquanto que para o mesmo transportador com taliscas em material compósito em matriz epóxi e reforço em fibra de kevlar, gera-se uma despesa com energia elétrica por ano de R\$ 32.328,78, representando uma economia de R\$ 11.754,80.

5.0- ANÁLISE DE RESULTADOS

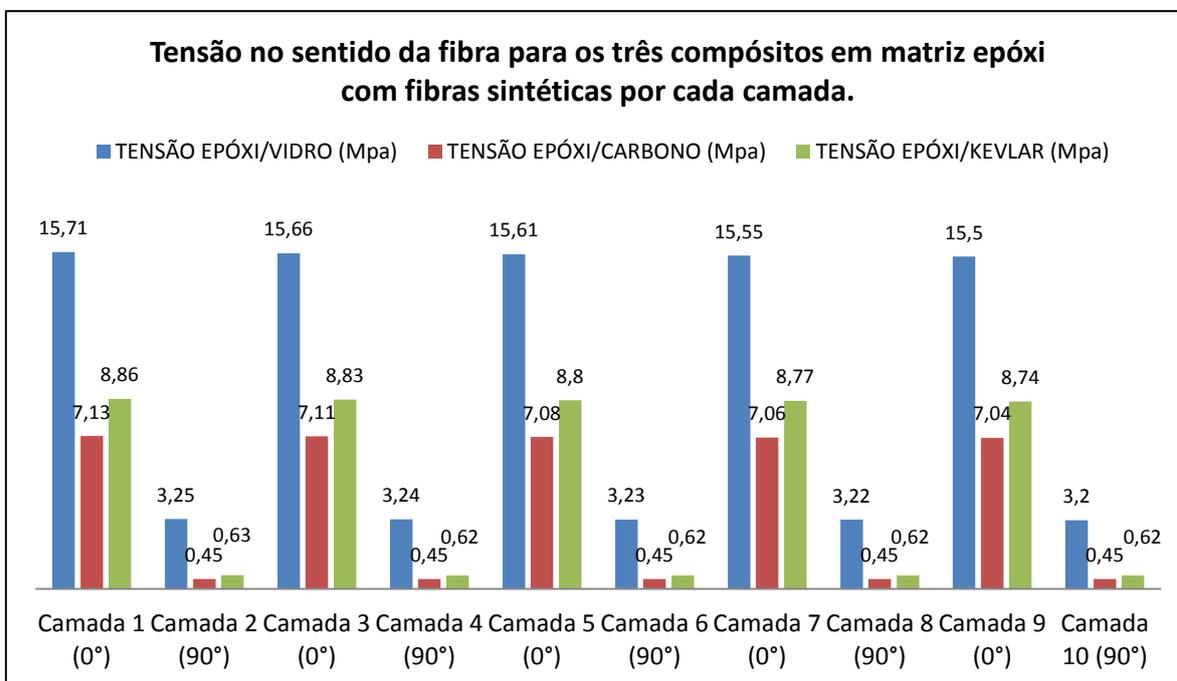
Neste capítulo será apresentada a análise dos resultados obtidos quanto ao dimensionamento das taliscas em material compósito, matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, sempre em

comparação com as taliscas tradicionalmente fabricadas em aço.

5.1- Tensão no Sentido da Fibra para os Três Compósitos em Matriz Epóxi com Fibras Sintéticas por Camada

A figura 31 trata do gráfico que demonstra a tensão a que está sujeita cada camada no sentido da fibra, discriminado por camada e por tipo de compósito. Verifica-se que a talisca em compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, é a que está sujeita a maiores tensões, seguida da talisca em epóxi com fibra de kevlar e por fim a talisca em epóxi com fibra de carbono. A talisca em epóxi com fibra de carbono foi a que apresentou melhores resultados, com níveis de tensão (falar os porcentos em relação as demais. Em relação a fibra de carbono, a fibra de kevlar está com um resultado 24% inferior e a fibra de vidro 120% inferior.

Figura 31: Gráfico dos valores de tensão em “X” por camada e por tipo de compósito.

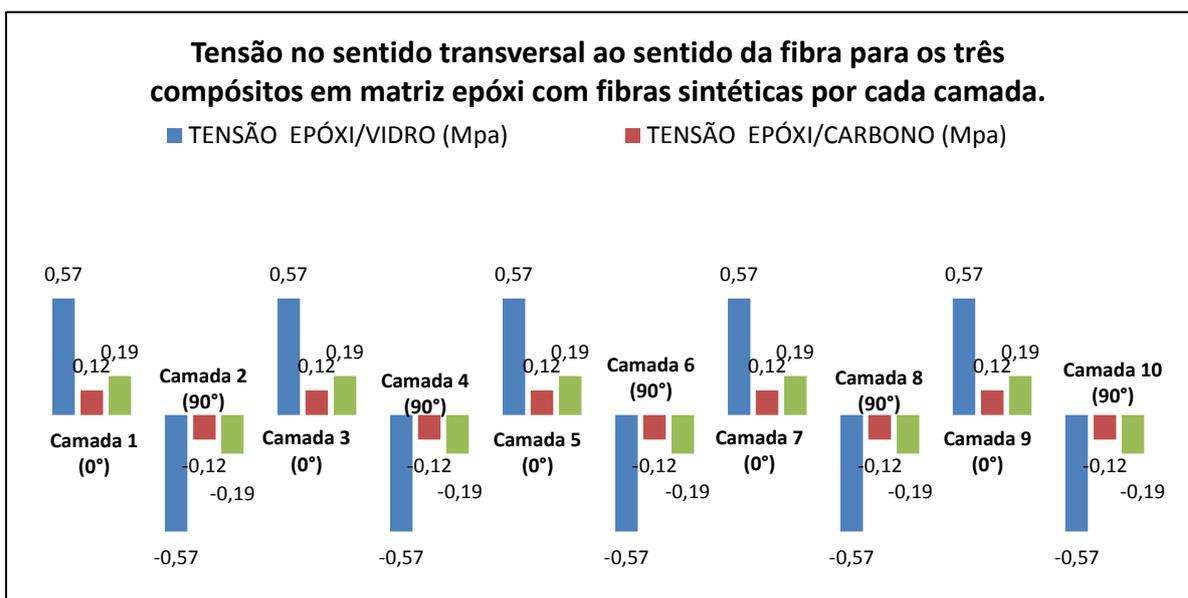


Fonte: Próprio Autor (2019).

5.2- Tensão no Sentido Transversal ao Sentido da Fibra para os Três Compósitos em Matriz Epóxi com Fibras Sintéticas por Camada

A figura 32 trata do gráfico que demonstra a tensão a que está sujeita cada camada no sentido transversal ao sentido da fibra, discriminado por camada e por tipo de compósito, verifica-se que a talisca em compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, é o que está sujeito a maiores tensões, depois vem a talisca em epóxi com fibra de kevlar e por último a talisca em epóxi com fibra de carbono. A talisca em epóxi com fibra de carbono foi a que apresentou melhores resultados, ou seja, para taliscas com a mesma condição de carregamento, mesma geometria, com o mesmo número e mesma orientação de camadas, a talisca em carbono é a que apresenta melhor desempenho. Em relação a fibra de carbono, a fibra de kevlar está com um resultado 58% inferior e a fibra de vidro 375% inferior.

Figura 32: Gráfico dos valores de tensão em “Y” por camada e por tipo de compósito.



Fonte: Próprio Autor (2019).

5.3- Critério de Resistência

Foram utilizados três critérios para validar a condição de cada uma das dez camadas ou lâminas das quais as taliscas foram projetadas. Consta como critérios utilizados, a ABNT 14574 (norma de embarcações de recreio em plástico reforçado com fibra de vidro), foi utilizado também o critério de tensão máxima e o critério de

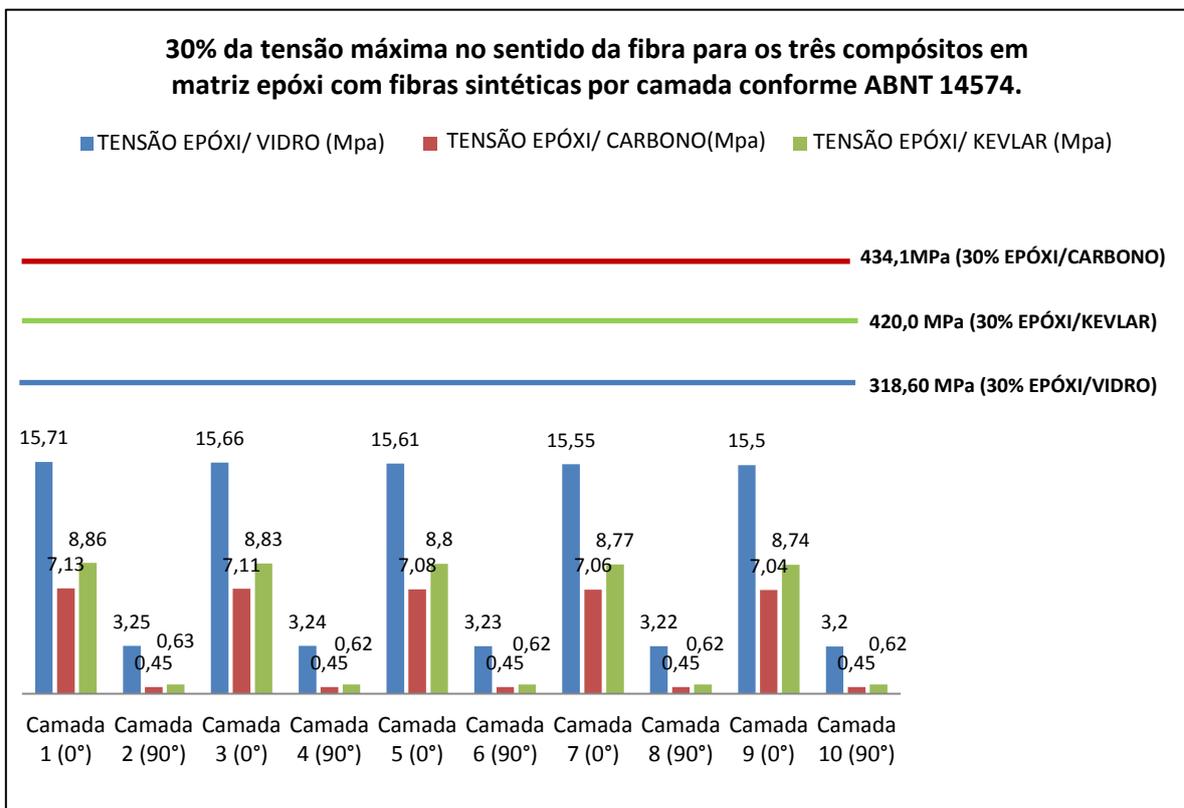
Azzi- Tsai- Hill, estes comumente usados na literatura de materiais compósitos.

5.3.1- Critério de Resistência Segundo a Norma ABNT 14574 para os Três Tipos de Compósito

A análise de resultados dos compósitos em matriz epóxi com fibra de vidro, fibra de carbono e fibra de kevlar, por camada, referenciando aos valores máximos de tensão admissíveis conforme a ABNT 14574, é apresentada na figura 33.

O compósito em matriz epóxi com fibra de vidro é o que possui entre os três compósitos o menor valor, mas que mesmo esse, encontra-se distante dos valores a que cada lâmina está sujeita na condição de carga a que estas taliscas estão sujeitas, está 5% do valor máximo de 318,60MPa exigido por esta norma.

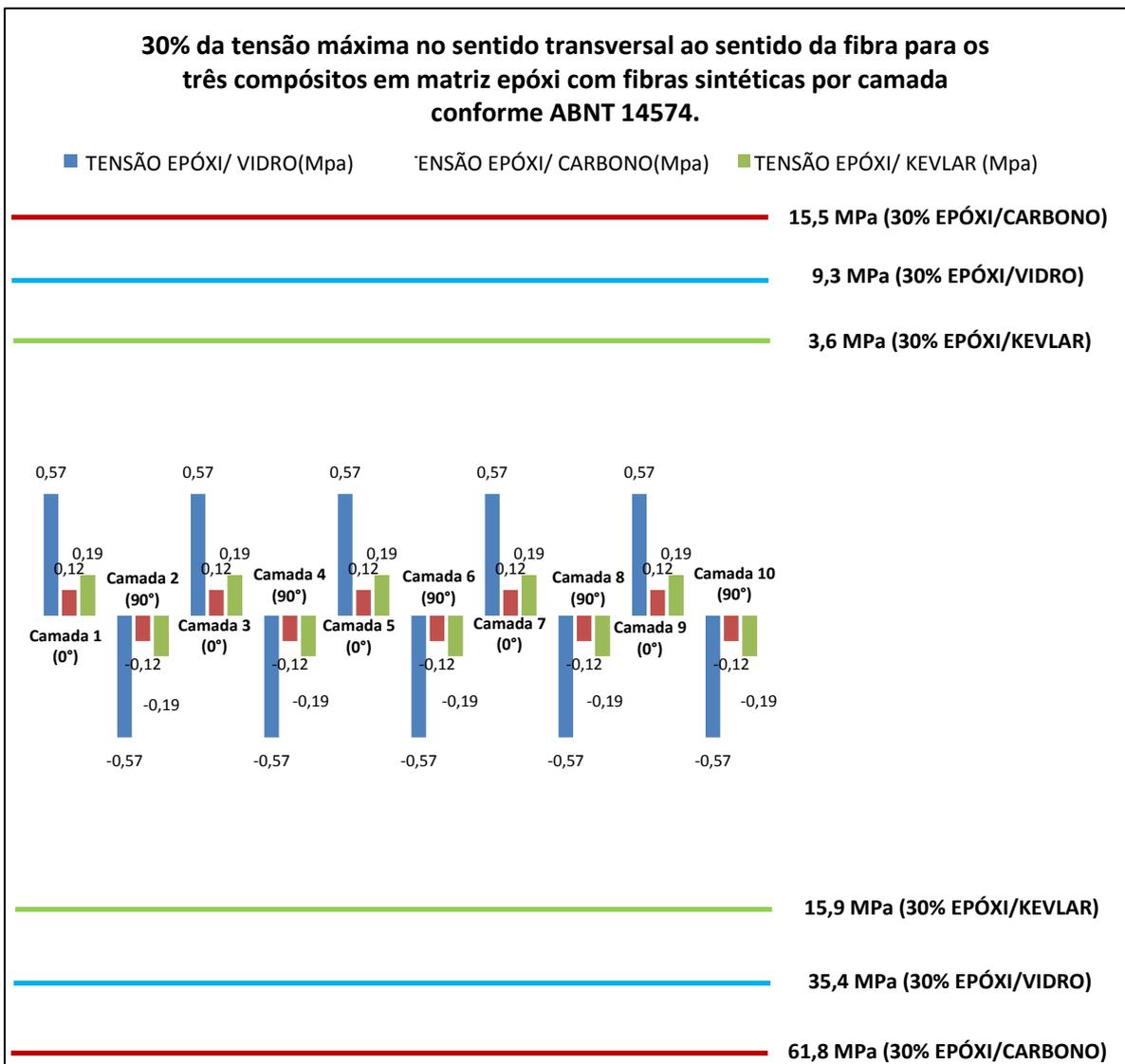
Figura 33: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando a 30% dos valores de tensão máxima conforme ABNT 14574.



Fonte: Próprio Autor (2019).

A figura 34 demonstra as tensões no sentido transversal ao sentido da fibra para cada camada, em cada um dos três compósitos, visualizando com o valor de trinta por cento da tensão máxima de cada tipo de compósito, conforme a ABNT 14574. O compósito em matriz epóxi com fibra de kevlar é o que possui entre os três compósitos o menor valor, mas que mesmo esse, encontra-se 5,3% do valor de 3,6MPa exigido por esta norma.

Figura 34: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando a 30% dos valores de tensão máxima conforme ABNT 14574.

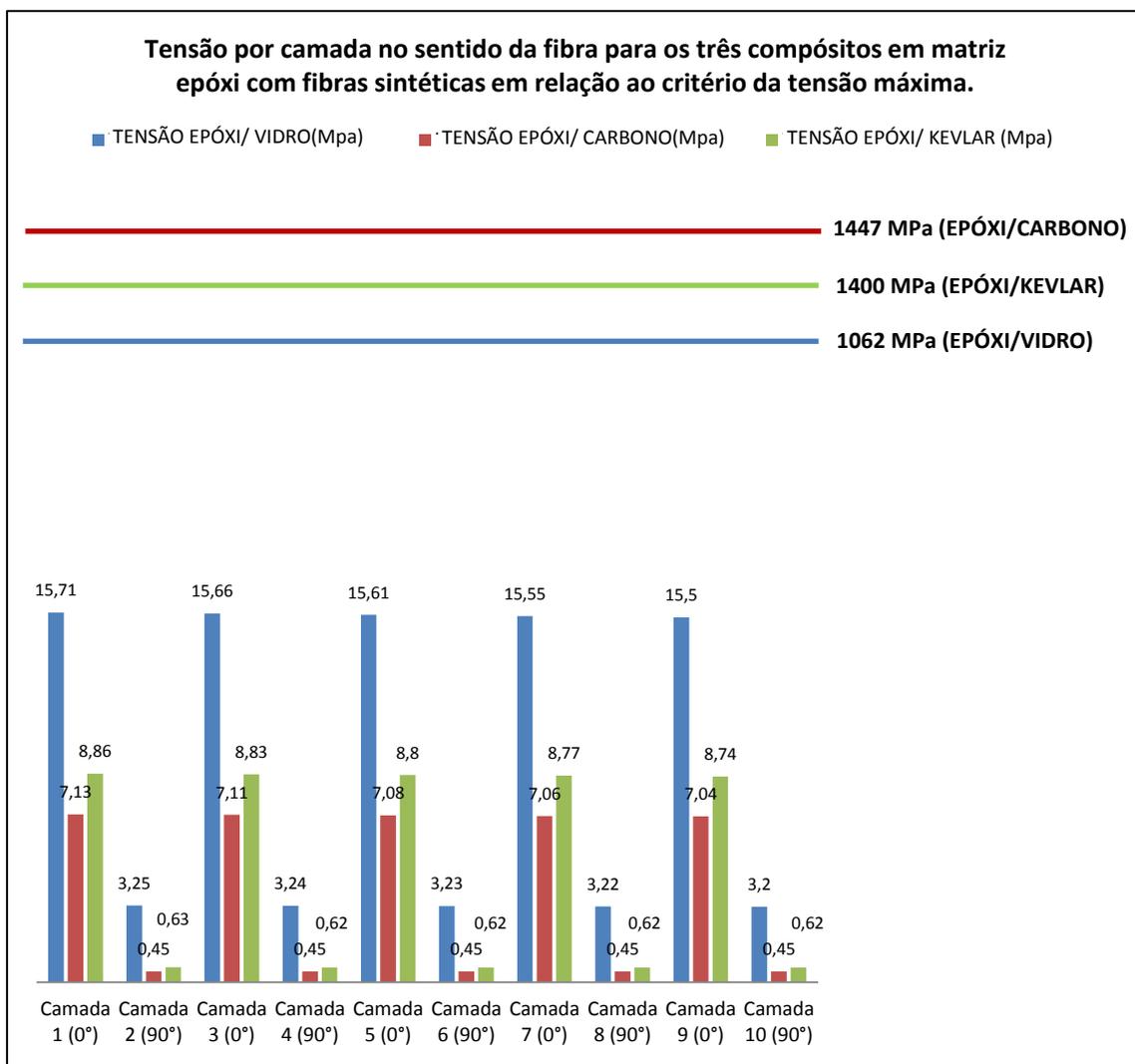


Fonte: Próprio Autor (2019).

5.3.2- Critério de Resistência de Tensão Máxima

O gráfico das tensões por camada do compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, mostrado na figura 35, compara as tensões máximas de cada compósito, conforme critério de resistência por Tensão Máxima no sentido da fibra. Também por este critério nenhuma das camadas apresenta falha. A talisca em epóxi com fibra de vidro é que apresenta os valores menos favoráveis, 15,7% da tensão máxima.

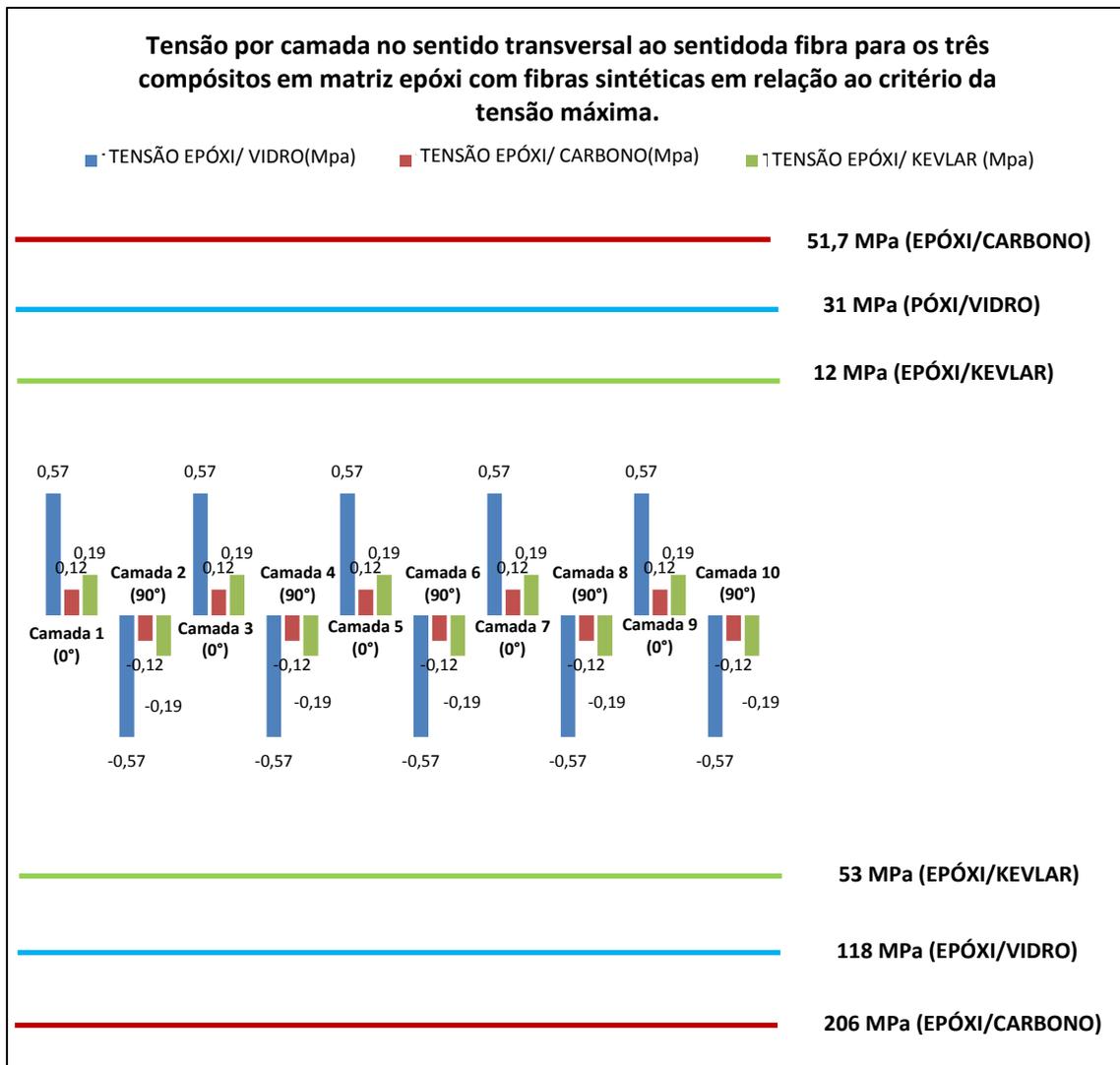
Figura 35: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando com critério de tensão máxima



Fonte: Próprio Autor (2019).

As tensões por camada do compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, comparados com as tensões máximas de cada compósito, conforme critério de resistência por tensão máxima no sentido transversal ao sentido da fibra são mostradas na figura 36. Para as tensões no sentido transversal a fibra, o compósito em matriz epóxi com fibra de kevlar apresenta os menores valores, 1,6% da tensão máxima. Também por este critério nenhuma das camadas apresentará falha.

Figura 36: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando com critério de tensão máxima

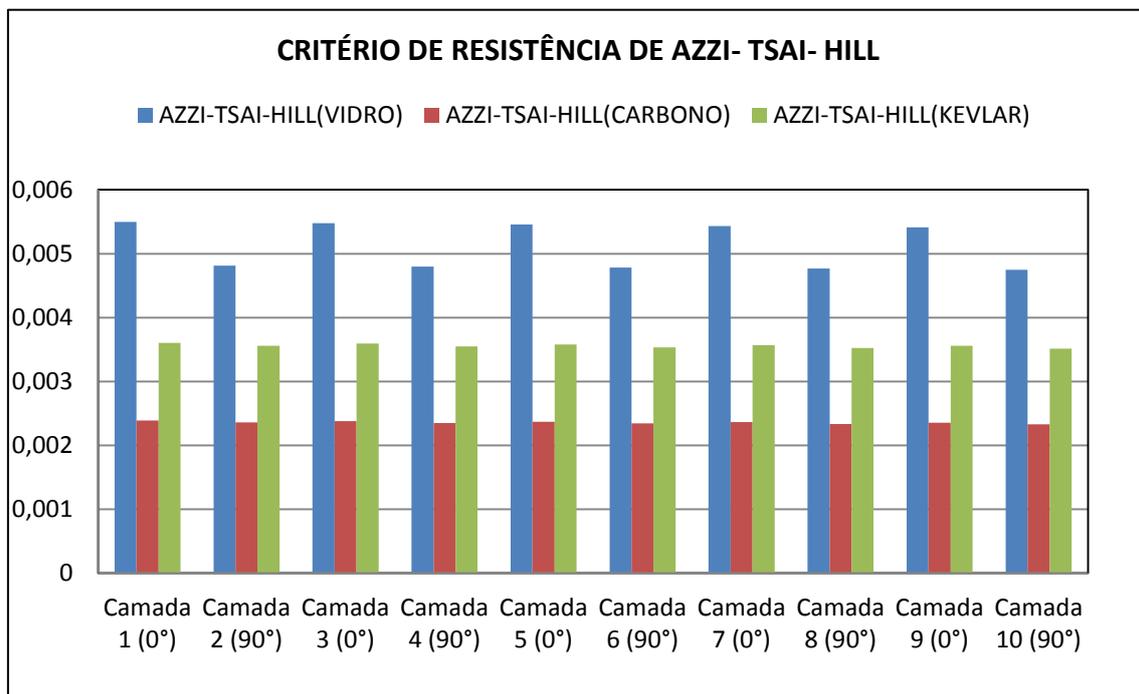


Fonte: Próprio Autor (2019).

5.3.3- Critério de Resistência de Azzi- Tsai- Hill

O gráfico por camada do compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, comparados com o critério de Azzi- Tsai- Hill, conforme mostra figura 37, também por este critério nenhuma das camadas apresentará falha, pois pelo critério de Azzi-Tsai- Hill, para que o compósito não falhe, todas as lâminas devem apresentar valor inferior a 1, conforme equação 43, sendo a talisca em epóxi com fibra de vidro a que apresentou o valor menos favorável, 0,0055.

Figura 37: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando com critério de Azzi- Tsai- Hill.



Fonte: Próprio Autor (2019).

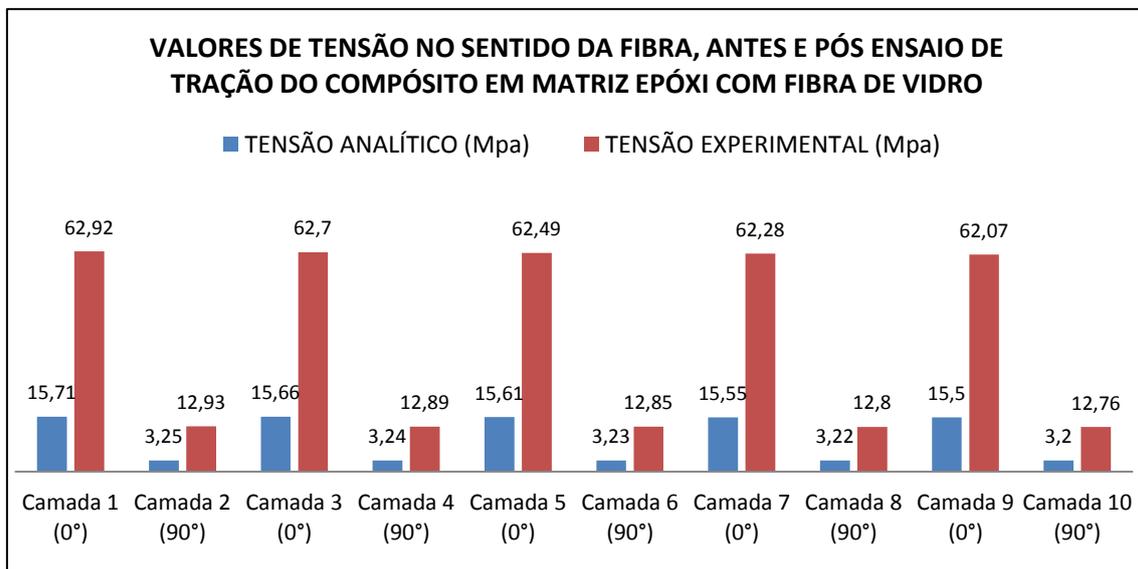
5.4- Análise dos Resultados Pós- Caracterização do Compósito Epóxi com Fibra de Vidro

A análise dos resultados obtidos após o ensaio de tração em corpos de prova de matriz epóxi com fibra de vidro, foi comparado aos valores de tensão por camada, experimental em relação aos valores analíticos.

5.4.1- Compósito Epóxi com Fibra de Vidro Antes e Pós- Caracterização

A figura 38 mostra o gráfico de tensão por camada no sentido da orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro antes e pós a caracterização por ensaio de tração. O compósito em matriz epóxi com fibra de vidro pós- caracterização apresentou uma tensão 24,97% ao analítico, o que significa que está sujeito a uma tensão maior que na forma analítica em função de sua resistência mecânica ser menor.

Figura 38: Gráfico dos valores de tensão em “X ” por camada comparando os valores de tensão antes e pós caracterização mecânica via ensaio de tração.

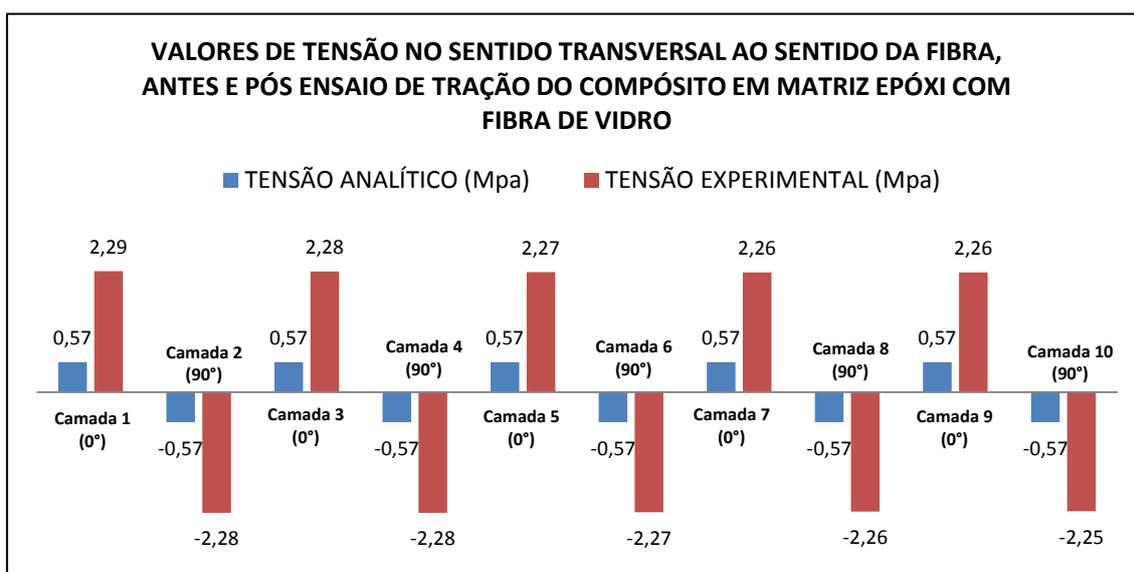


Fonte: Próprio Autor (2019).

A figura 39 evidencia os valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro antes e pós a caracterização por ensaio de tração. O compósito em matriz epóxi com fibra de vidro pós- caracterização apresentou uma tensão 24,89% ao analítico, o que significa

que está sujeito a uma tensão maior que na forma analítica em função de sua resistência mecânica ser menor.

Figura 39: Gráfico dos valores de tensão em “Y ” por camada comparando os valores de tensão antes e pós caracterização mecânica via ensaio de tração.

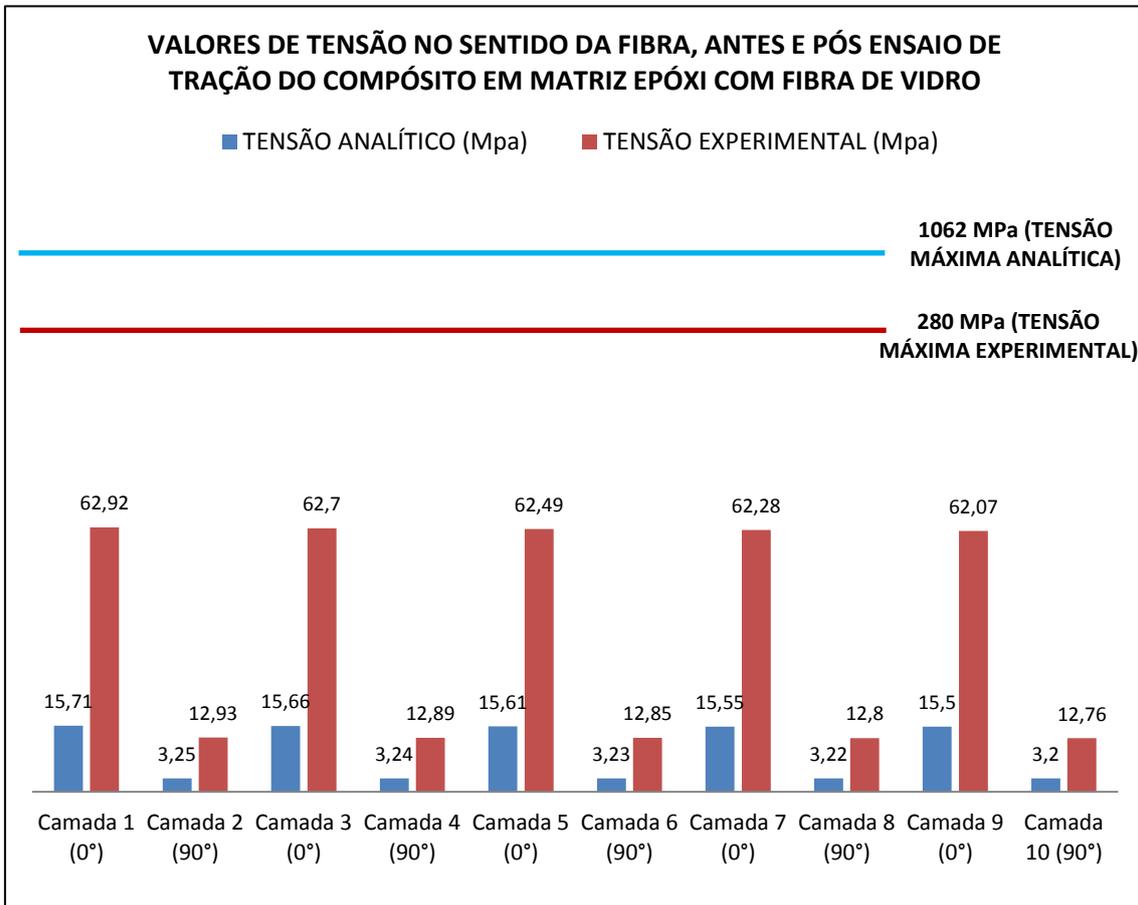


Fonte: Próprio Autor (2019).

5.4.2- Comparação pelo Critério de Tensão Máxima da Resistência por Camadas do Compósito em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro.

A figura 40 mostra os valores de tensão por camada no sentido de orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro em relação ao critério de tensão máxima, comparando valores analíticos com os valores pós caracterização. A talisca pós- caracterização está 22,5% da tensão máxima experimental.

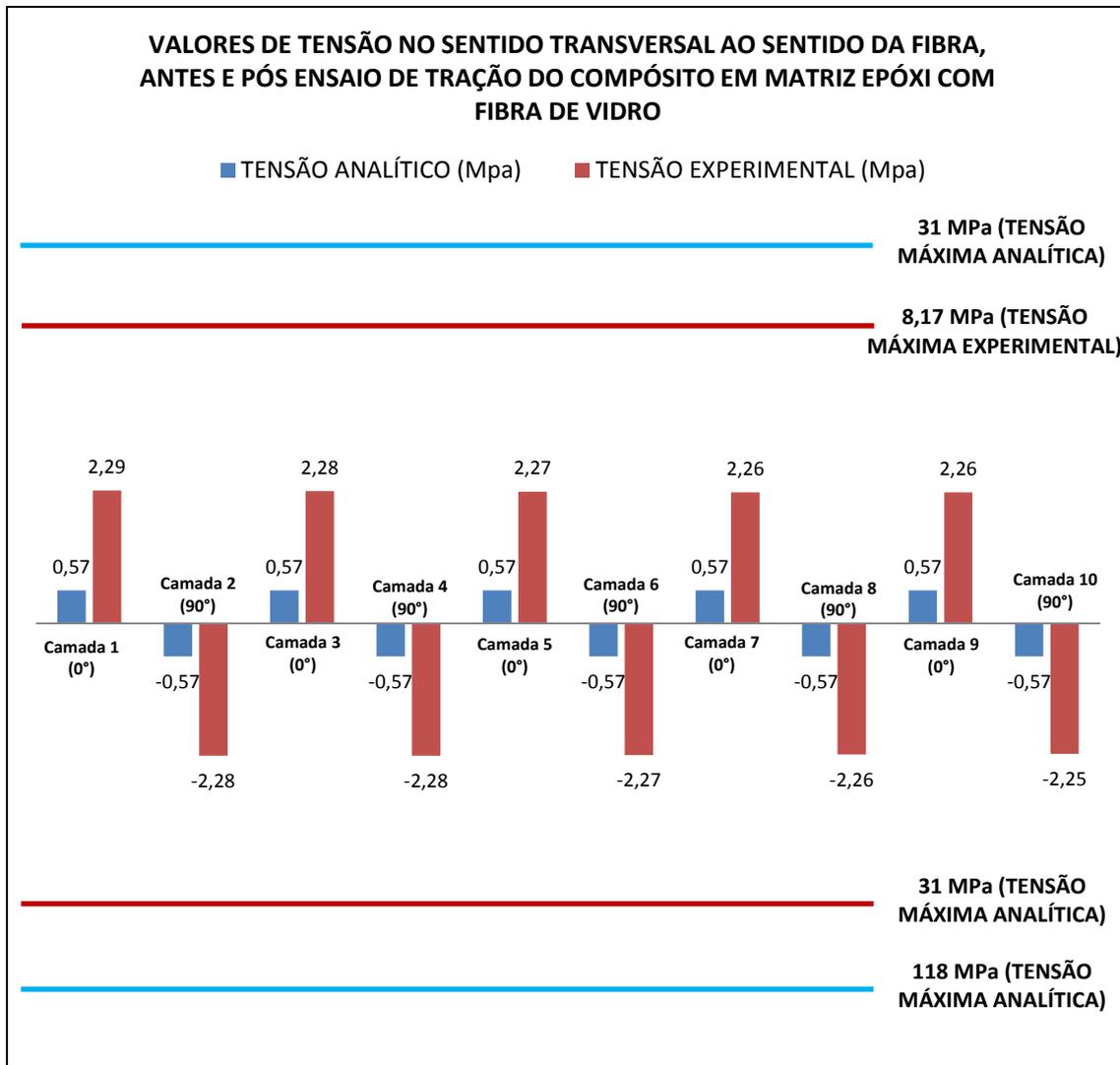
Figura 40: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido de orientação da fibra em relação ao critério de tensão máxima.



Fonte: Próprio Autor (2019).

A figura 41 ilustra os valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro em relação ao critério de tensão máxima, comparando os valores analíticos com os valores pós-caracterização. A talisca pós- caracterização está 27,5% da tensão máxima experimental.

Figura 41: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação da fibra em relação a tensão máxima.

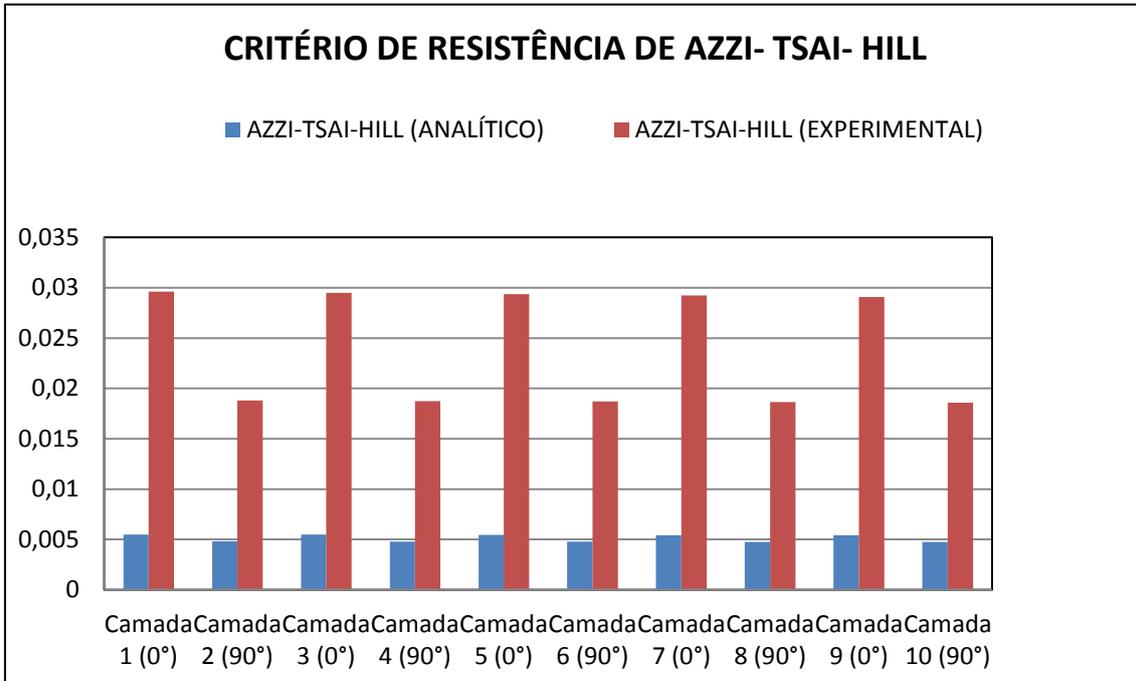


Fonte: Próprio Autor (2019).

5.4.3- Análise da Resistência do Compósito em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro, com os Valores Obtidos pelo Ensaio de Tração, Utilizando Critério de Azzi- Tsai- Hill

A figura 42 evidencia via gráfico os valores de tensão por camada no sentido de orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro em relação através dos critérios de Azzi- Tsai- Hill que conforme equação 43 tem que ser menor que 1, pós ensaio de tração.

Figura 42: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido de orientação da fibra em relação ao critério de Azzi- Tsai- Hill.

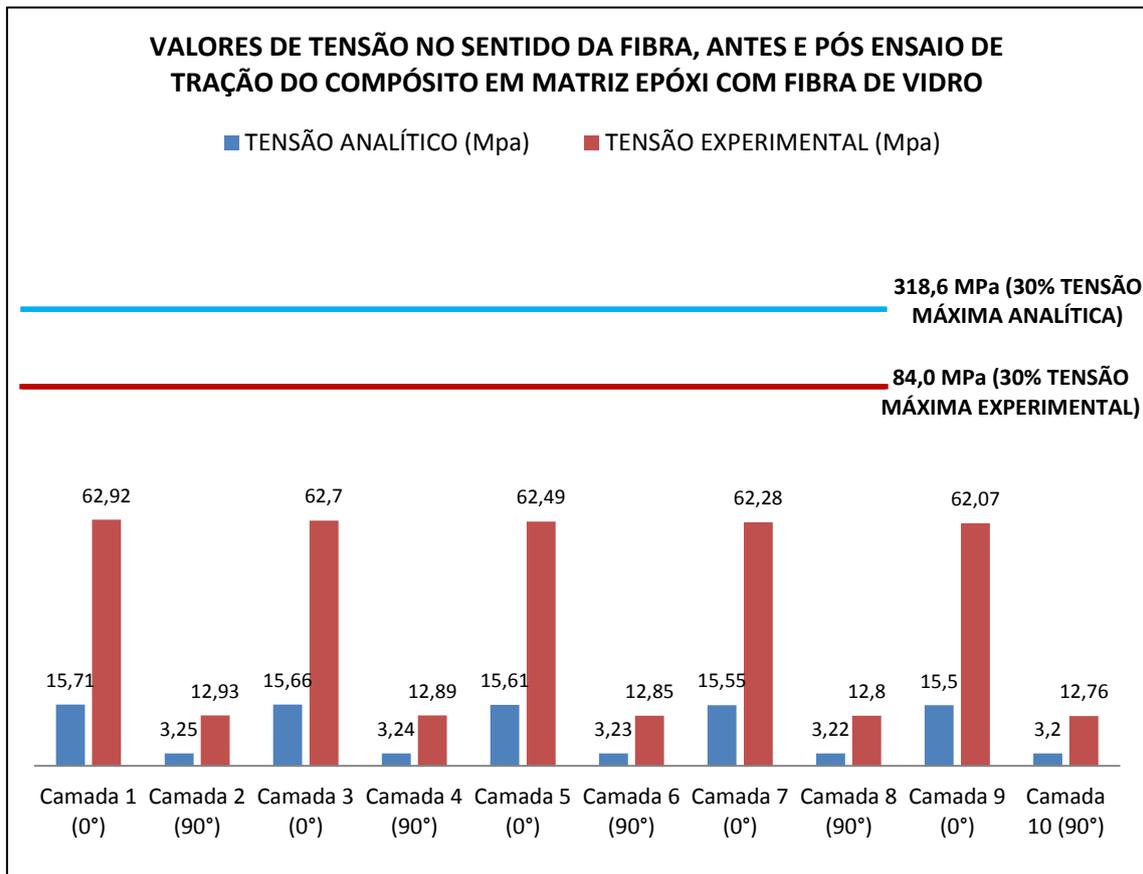


Fonte: Próprio Autor (2019).

5.4.4- Análise da Resistência do Compósito em Matriz Epóxi com Fibra de Vidro, com os Valores Obtidos pelo Ensaio de Tração, Utilizando Critério da ABNT 14574

A figura 43 mostra via gráfico os valores de tensão por camada no sentido de orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro, dos valores analíticos com os valores pós caracterização, nos conformes da ABNT 14574. A talisca pós- caracterização está 74,64% da tensão máxima exigida por esta norma.

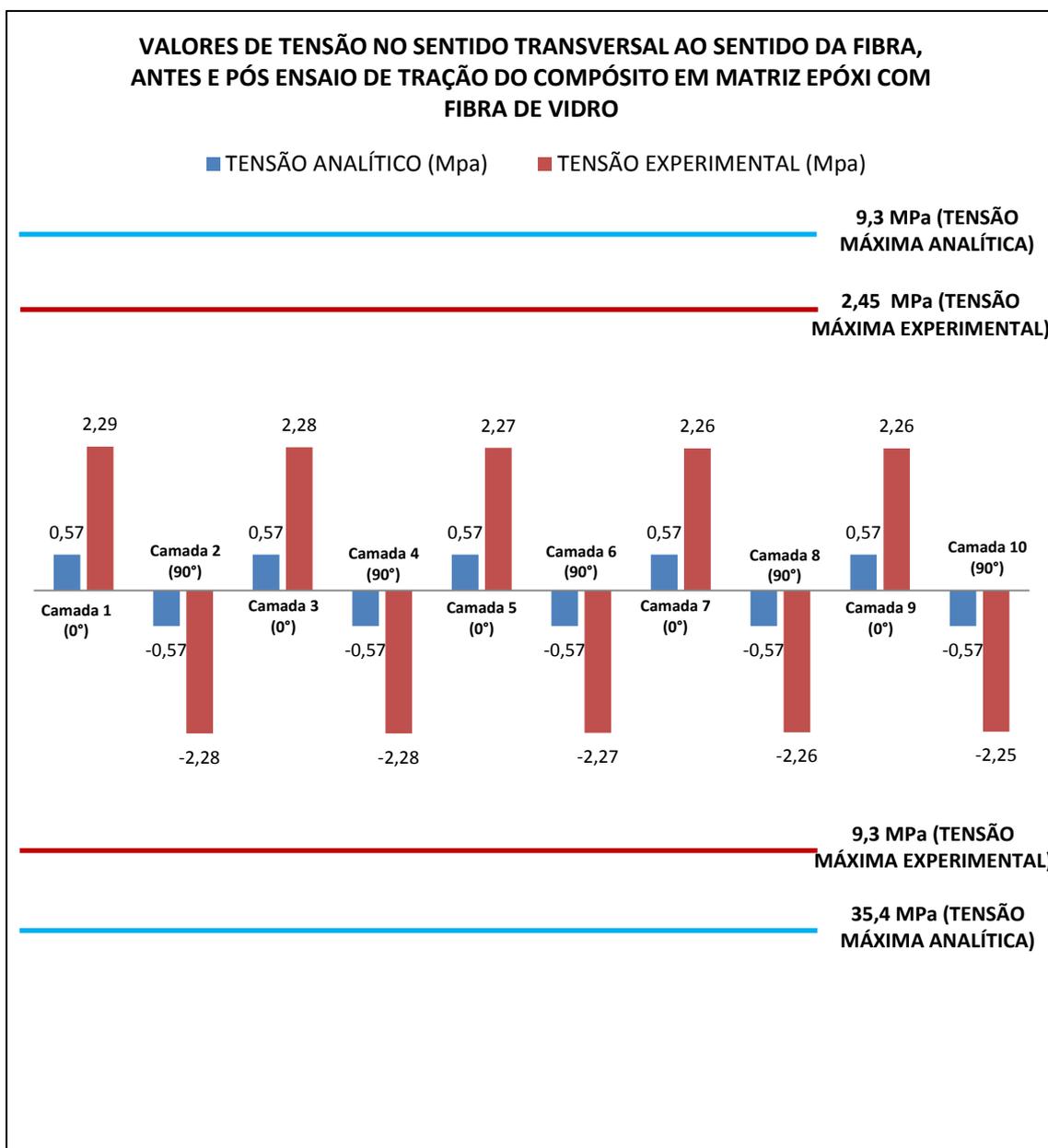
Figura 43: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido de orientação da fibra em relação ao critério ABNT 14574.



Fonte: Próprio Autor (2019).

A figura 44 evidencia os valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação das fibras para o compósito em epóxi com fibra de vidro em relação ao critério da ABNT 14574. A talisca pós- caracterização está 93,06% da tensão máxima exigida por esta norma.

Figura 44: Gráfico dos valores de tensão por camada no sentido transversal ao sentido de orientação da fibra em relação ao critério da ABNT 14574.



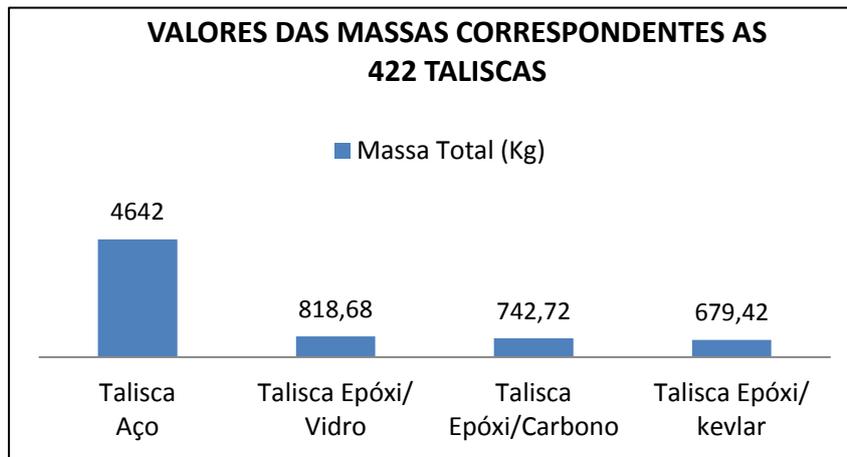
Fonte: Próprio Autor (2019).

5.4.5- Análise dos Resultados da Potência e Valor Gasto Anualmente em Energia Elétrica em Função da Redução da Massa das Taliscas

A figura 45 mostra as massas correspondente a 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar. Na figura

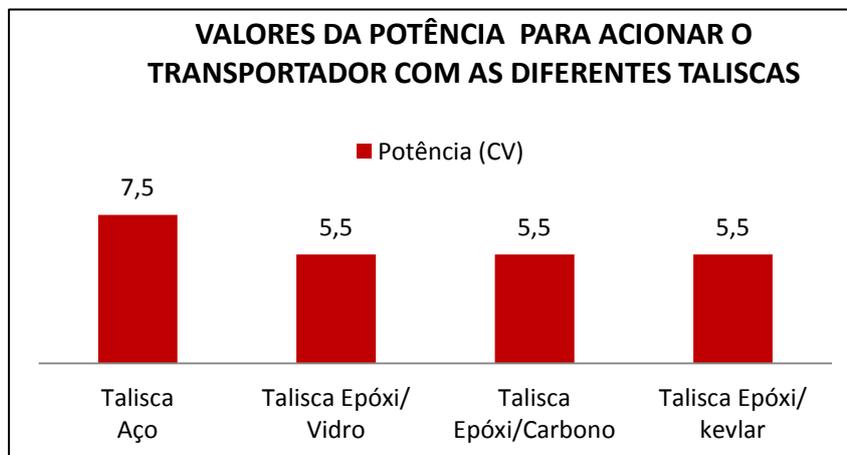
46 está o gráfico das potências necessárias para o acionamento deste transportador para 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar. Na figura 47 está o valor gasto anualmente em energia elétrica para 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.

Figura 45: Gráfico das massas correspondente a 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.



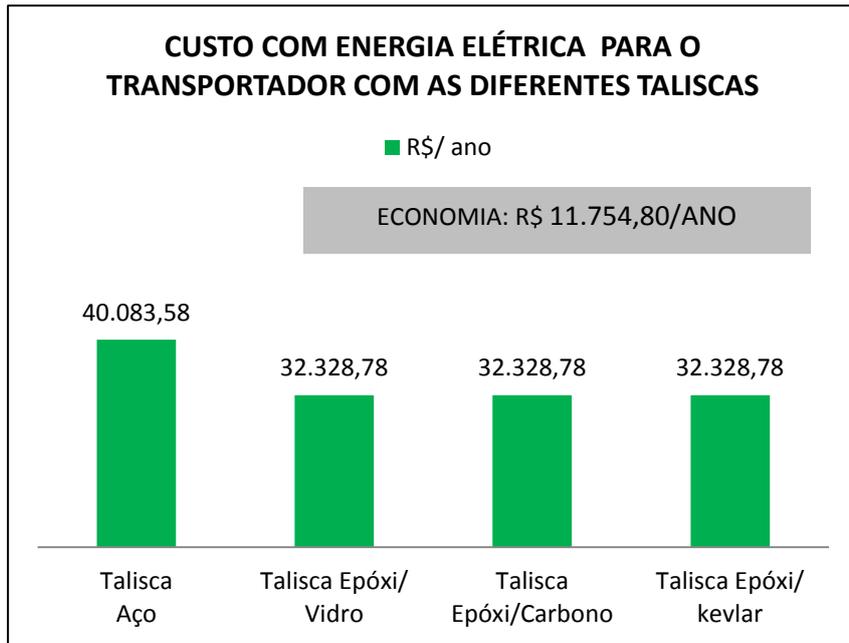
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 46: Gráfico das potências necessárias para acionar o transportador com as 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 47: Gráfico do gasto financeiro do com o consumo de energia elétrica do transportador de acordo com a potências necessárias para acionar o transportador com as 422 taliscas feitas em aço, epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar.



Fonte: Próprio Autor (2019).

6.0- CONCLUSÕES

Este trabalho propôs-se a dimensionar taliscas em compósito de matriz epóxi com reforço em fibra de vidro, carbono e kevlar, comparando-os com o transportador de taliscas convencional em aço.

O estudo das tensões do transportador convencional com taliscas em aço mostrou que para o transportador de 32m de comprimento com 422 taliscas e com capacidade para transportar 19 anodos, este transportador suporta 641,25Kg/m. Cada talisca em aço está sujeita a uma tensão de flexão 34,41Mpa, 8,35% da tensão de trabalho admissível à tração, e a uma tensão de cisalhamento de 1,11Mpa, 0,35% da tensão de trabalho admissível ao cisalhamento.

O projeto das taliscas de compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar, demonstraram total viabilidade em propriedades mecânicas de substituir as taliscas em aço. Nenhuma das dez camadas das taliscas em epóxi com fibra de vidro, epóxi com fibra de carbono e epóxi com fibra de kevlar apresentaram falha, conforme critério de resistência da ABNT 14574, critério da Tensão Máxima e critério Azzi- Tsai- Hill. Sendo a talisca em epóxi com fibra de carbono a que apresentou os melhores valores, 7,13MPa, estando 24% acima da talisca em epóxi com fibra de kevlar, 120% em relação a talisca em epóxi com fibra de vidro e 382% em relação a talisca em aço. Dentre as três talisca em material compósito, a talisca em epóxi com fibra de vidro foi a que apresentou os resultados menos favoráveis, mas que em relação a talisca em aço apresenta 119% melhor.

O transportador com taliscas em aço tem uma massa total 9529,62Kg, e precisa de um motorreductor de 7,5CV (5,5KW). O transportador com taliscas em matriz epóxi com fibra de vidro ocasionou uma redução de massa de 59,9%, com taliscas em epóxi com fibra de carbono uma redução de 58,4% e a talisca em epóxi com fibra de kevlar uma redução de 59,1%, sendo que a partir do momento que o transportador passar a possuir qualquer uma das taliscas em material compósito objeto deste trabalho, o acionamento necessário passa a ser de um motorreductor de 5,5CV (4KW). Esta mudança de 7,5CV para 5,5CV, ocasiona uma redução de 26,7% no consumo de energia.

A caracterização mecânica dos corpos de prova fabricados em matriz epóxi com dez lâminas em fibra de vidro, apresentou 280MPa de limite de resistência a tração em

média, que é 26,4% do valor analítico de 1062MPa. O redimensionamento feito a partir dos dados do ensaio de tração, também não apresentou falha em nenhuma das dez camadas da talisca em compósito de matriz epóxi com fibra de vidro. A tensão na talisca que era 15,71MPa para o valor de tensão analítica, passou a ser 62,49MPa, que é 22,31% da tensão máxima de trabalho.

Assim, mostra-se totalmente viável a fabricação de taliscas em compósito em matriz epóxi com fibra de vidro, matriz epóxi com fibra de carbono e matriz epóxi com fibra de kevlar em substituição as taliscas até então fabricadas apenas em aço. O uso destas taliscas em material compósito objeto deste trabalho, apresentam resistência mecânica superior as taliscas em aço, assim como uma redução de massa de mais 3000Kg, com uma viabilidade energética superior a 26%, também proporcionando maior facilidade na montagem e manutenção.

7.0- PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

_ Fabricar taliscas em epóxi com fibra de vidro, em epóxi com fibra de kevlar e em epóxi com fibra de carbono e submetê-las a ensaios mecânicos.

_ Fazer a valoração deste trabalho, determinando os valores envolvidos para fabricação de taliscas em epóxi com fibra de vidro, em epóxi com fibra de kevlar e em epóxi com fibra de carbono.

_ Realizar dimensionamento similar a este trabalho, só que agora para as correntes do transportador, dimensionando passos de corrente em epóxi com fibra de vidro, em epóxi com fibra de kevlar e em epóxi com fibra de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3039**: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. United States, 2000.

AMORIM JÚNIOR, W. F. **Processamento de placa espessa de compósitos através de moldagem por transferência de resina**. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ANGÉLICO, R. A. **Avaliação de modelos de falhas progressivas para estruturas em material compósito**. 26 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 14574**: Embarcações de recreio em plástico reforçado com fibra de vidro, 2012.

BITENCOURT JR., Antonio H.S. Resistência dos Materiais Aplicado a Mecânica Industrial, ed. Brasil: IFPA/ Campus Belém, 2017, 66.

BRITISH STANDARD. **BS EN ISO 14125**: Fibre-reinforced plastic composites - Determination of flexural properties. Uk, 2011. 26 p.

BRITISH STANDARD. **BS EN ISO 527-5**: Plastics - Determination of tensile properties. Uk, 2009. 20 p.

CAETANO, Mario J. L.. **Importância Relativa dos Materiais**. 2010. Disponível em: <http://ctborracha.com/?page_id=442>. Acesso em: 11 nov. 2014.

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais - uma introdução**. Utah: LTC, 2002. 602 p.

CARDOSO, R. L. B. **Capacete de motocicleta de poliéster e fibras de juta produzido pelo método de infusão**. 02 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

DESIGN INSITE (Denmark). **Composite materials processes, 2015**. Disponível em: <<http://www.designinsite.dk/htmsider/inspproc.htm>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

FERREIRA, L. B. M. **Análise de critérios de falhas em lâminas reforçadas com tecidos unidirecionais**. 21 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

FONSECA, D. J.; UPPAL, G.; GREENE, T. J. **A knowledge-based system for conveyor equipment selection**, Expert Systems with Applications, n. 4, v. 26, 2004.

FRANCO, R. A. V. S. **Produção de componentes em materiais compósitos por infusão de resina.** 24 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

81

GAMA, D. P. N. **Análise das propriedades de tensão e flexão de compósitos sanduíche.** 29 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, 2017.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais.** Rio de Janeiro: LTC, 2008.

GENERAL CHAINS SITE. **Correntes transportadoras.** Disponível em: <<http://www.generalchains.com/?pg=produtos&lg=pt>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

GRUPO RUD TRANSPORTADORES. **Correntes transportadoras de arraste.** Disponível em <http://www.rud.com.br/produtos/sistemas-transportadores/transportadores-arraste/>. Acesso em 20 ago. 2018

GUAMÁ, Fernando F. M. C. de. **Análise estrutural de cilindros revestidos de compósitos para armazenamento de GNV.** 2012. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

HERNANDÉZ, V. B. **Análise estrutural de elementos compósitos com a utilização do método de elementos finitos** 7 f. Monografia (Engenharia Naval) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

HIBBELER, Russel C.. **Resistência dos Materiais.** 7. ed. Brasil: Prentice Hall Brasil, 2010. 69

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia.** São Paulo: Artliber, 2011.

MARQUES, Francisco Adson. **Análise experimental de reparos de compósitos.** 2015. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Cefet/RJ, Rio de Janeiro, 2015.

MASAKI, M. S.; ZHANG, L.; XIA, X. **A design approach for multiple drive belt conveyors minimizing life cycle costs,** n. 526- 541, v. 201, 2018.

MENDONÇA, P. T. R. **Materiais compostos e estruturas sanduíche projeto e análise.** São Paulo: Manole, 2005.

MONDAL, D.; GHOSH, N. **Study on filling factor of short length screw conveyor with flood-feeding condition ,** n. 1, v. 5, 2018.

MONTEIRO, Estevão Freire Elisabeth E. C.; CYRINO, Julio C. R.. Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, p.25-32, jul. 94.

MOURA, Marcelo F. S. F. de et al. **Materiais compósitos: Materiais, fabrico e comportamento mecânico**. 2. ed. Porto: Publindústria, 2009. 382 p. Resistência dos Materiais, R.C. Hibbeler.

OLIVEIRA, J. V. S. **Caracterização mecânica de compósitos estruturais com aplicações automotivas e aeroespaciais**. 34 f. Monografia (Engenharia Automotiva) – Universidade de Brasília, 2015.

82

PRETO, R. A. M. **Estudo experimental do comportamental do comportamento mecânico de compósitos em fibra de basalto**. 12 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, 2013.

RAGONDET, A., **Experimental characterization of the vacuum infusion process**, Tese de D. Sc., University of Nottingham, Nottingham, 2005

RODRÍGUEZ, E.; GIACOMELLI, F.; VÁZQUEZ, A. **Permeability-porosity relationship in RTM for diferente fiberglass and natural reinforcements**. Journal of Composites Materials, v. 38, n. 3, 2004.

RODRIGUES, J. S. **Estudo da técnica de infusão de resina aplicada à fabricação de compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras naturais da Amazônia**. 56 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

RODRIGUES, J.; SOUZA, J. A.; FUJIYAMA, R. **Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão**, Matéria: n. 946- 960, v. 11664, 2015.

SANTOS E BICHARA, C. P. S e J. R. R. **Estudo experimental das propriedades mecânicas para compósito em fibra de carbono e matriz epóxi pipefix (CFRP- Carbon Fiber Reinforced Polymer)**. 33 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, G. P. **Avaliação de critério de falhas de compósitos poliméricos reforçados aplicados a vigas sob carregamento de flexão**. 03 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, 2003.

TEXGLASS SITE. **Tecidos fibra de vidro- carbo- aramida**. Disponível em: < http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2013/cobertura_paineis/automotivo_pecas/apresentacoes/texiglass.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.

TILLMANN, N. L. P. **Estudo e avaliação do laser CO2 na produção de resina epóxi em microreatores**. 25 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, 2010.

TITA, V. **Análise dinâmica teórica e experimental de vigas fabricadas apartir de materiais compósitos poliméricos reforçados.** 12 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, 1999.

TOLEDO, M. W. E.; NALLIM, L. G, LUCCIONI, B. M. **The micro-macromechanical approach for composite laminates,** Mechanics of Materials, n. 40, p. 885-906, 2008.