

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

JULIANA BARREIRA NOGUEIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE
EMBARCAÇÕES DE RECREIO EM COMPÓSITOS, BASEADO NA
ISO 12215:2008(E)**

Joinville

2018

JULIANA BARREIRA NOGUEIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE
EMBARCAÇÕES DE RECREIO EM COMPÓSITOS, BASEADO NA
ISO 12215:2008(E)**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto.

Joinville

2018

JULIANA BARREIRA NOGUEIRA

**AUTOMATIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE
EMBARCAÇÕES DE RECREIO EM COMPÓSITOS, BASEADO NA
ISO 12215:2008(E)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval no Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville, 15 de junho de 2018.

Banca Examinadora:

Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Orientador
Presidente

Dr. André Luís Condino Fugarra
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Thiago Pontin Tancredi
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha querida irmã Vivian, que nos deixou cedo demais, porém eu adoraria que partilhasse da realização deste sonho.

In memoriam.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela dádiva da vida e por me amparar nos momentos difíceis.

Com muito carinho, agradeço ao meu professor orientador, Ricardo Aurélio, por toda atenção dedicada a mim e à realização deste trabalho. Agradeço pela sugestão do tema pelo qual me apaixonei ao longo deste percurso.

À minha família, principalmente pais, irmãos e sobrinha, agradeço por todo apoio e compreensão. Muitas foram as oportunidades que eu gostaria de estar com vocês, mas estive distante com o foco na realização deste trabalho. Vocês acreditaram em mim e aceitaram minha ausência.

Agradeço ao meu namorado, Lucas Keller, por se dedicar a mim enquanto eu me dedicava a este trabalho de conclusão de curso. Obrigada por ser tão presente em minha vida e em meus estudos. Obrigada por me ajudar a entender conceitos e expressões técnicas.

Às minhas amigas Bruna Nunes, Eduarda Camerini, Giovana Bolonhezi, Andressa Bacca, Ana Carolina Ferreira e Tainá Palma, agradeço com imenso amor por estarem comigo neste período turbulento. Com vocês certamente foi mais fácil.

Muito obrigada.

Don't wait for extraordinary opportunities. Seize common occasions and make them great. Weak persons wait for opportunities; strong persons make them.

Orison Swett Marden

RESUMO

O crescimento da indústria náutica no Brasil ocasionou a proliferação de pequenos estaleiros deste segmento. Muitos deles constroem suas embarcações tendo o dimensionamento da estrutura em compósito feito com base na experiência pessoal dos técnicos, sem rigor científico. Tal medida compromete o desenvolvimento de projetos inovadores e pode elevar o custo das embarcações devido à falta de otimização. Em contrapartida as normas orientadoras de dimensionamento são longas e com complexidade que demandam longo tempo de consulta. A proposta deste trabalho é facilitar o processo desse dimensionamento, com a elaboração de uma planilha eletrônica tendo como referência a ISO 12215-5:2008 (E) de tal forma a facilitar sua aplicação, agilizando, conferindo precisão, e reduzindo custos destes dimensionamentos. Assim, os capítulos da norma foram traduzidos para planilhas do Microsoft Excel® que posteriormente foram validadas via comparações de resultados de mesmos projetos resolvidos por métodos analíticos.

Palavras-chave: Embarcação de recreio. ISO. Dimensionamento estrutural. PRFV.

ABSTRACT

The growth of the nautical industry in Brazil has caused the proliferation of small shipyards of this segment. Many of them build their vessels having the composite structure sizing done based on the personal experience of the technicians, without scientific rigor. Such measure compromises the development of innovative projects and may increase the cost of vessels due to lack of optimization. In contrast, the standard guidelines are long and complex, requiring a long consultation time. The proposal of this work is to facilitate the process of this design, with the elaboration of a spreadsheet based on the ISO 12215-5: 2008 (E) as reference to facilitate its application, speeding up the process, giving precision, and reducing costs of these measures. Therefore, the chapters of the standard were translated to Microsoft Excel® spreadsheets that were later validated through comparisons of the results of the same projects solved in analytical methods.

Keywords: Pleasure craft. ISO. Structural dimensioning. PRFV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - a) Embarcação a motor; b) Embarcação com propulsão à vela.	21
Figura 2 - Escala Beaufort	22
Figura 3 – Embarcações: a) com propulsão a motor navegando em modo de planeio; b) com propulsão a motor em modo deslocante.	23
Figura 4 – Fibras de a) carbono; b) vidro; c) aramida.	24
Figura 5 - Fluxograma simplificada e representativa do procedimento para obtenção das espessuras mínimas requeridas para a embarcação projetada.....	26
Figura 6 - Definição das áreas.	32
Figura 7 - Valores de k_{DC} de acordo com a categoria de projeto.	33
Figura 8 - Tipos de tecido.	40
Figura 9 - Geometria dos painéis.	41
Figura 10 - Hard Chines.	42
Figura 11 - Dimensões dos reforçadores.	43
Figura 12 - Medida da curvatura do painel.	45
Figura 13 - Chapeamento efetivo.	49
Figura 14 - Pressões de projeto calculadas pelas planilhas automatizadas.....	61
Figura 15 - Pressões resultantes.	62
Figura 16 - Dados de entrada em forma de listas.	63
Figura 17 - Tabela preenchida quando não há interesse em utilizar material de núcleo.	64
Figura 18 - Materiais e métodos de laminação	66
Figura 19 - Espessuras para laminação com material de volume, até a posição X1.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões principais da embarcação.....	51
Tabela 2 - Dimensões principais dos painéis e reforçadores.	52
Tabela 3 - Pressões de projeto correspondentes ao projeto 1, em kN/m ²	53
Tabela 4 - Pressões finais correspondentes ao projeto 1, em kN/m ²	53
Tabela 5 - Espessuras totais para o laminado sanduiche correspondentes ao projeto 1, em milímetros.....	54
Tabela 6 - Espessuras interna, externa e de núcleo para a laminação sanduiche referentes ao projeto 1, em milímetros.	54
Tabela 7 – Pressões finais referentes ao projeto 2, em kN/m ²	55
Tabela 8 - Espessuras totais para o laminado sanduiche correspondente ao projeto 2, em milímetros.....	55
Tabela 9 - Espessuras interna, externa e de núcleo para a laminação sanduiche dos costados referentes ao projeto 2, em milímetros.....	56
Tabela 10 - Espessuras interna, externa e de núcleo para a laminação sanduiche do fundo e convés referentes ao projeto 2, em milímetros.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de Projeto	21
Quadro 2 - Dimensões principais.	27
Quadro 3 - Características da embarcação.	28
Quadro 4 - Características requeridas dos materiais e métodos a serem utilizados.	28
Quadro 5 - Propriedades mecânicas dos materiais.	29
Quadro 6 - Características requeridas acerca dos painéis	30
Quadro 7 - características requeridas acerca dos reforçadores estruturais.	30
Quadro 8 - Distinção dos painéis da superestrutura e suas aplicações.	35

LISTA DE ABREVIATURAS

DNV – Det Norske Veritas

ISO - International Organization for Standardization

PRFV - Plástico Reforçado com Fibra de Vidro

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Altura do painel triangular [mm]
$A_{D,p}$	Área de projeto do painel [m ²]
$A_{D,r}$	Área de projeto do reforçador [m ²]
B	Base de um painel triangular [mm]
b	Menor dimensão de um painel [mm]
B_C	Boca no chine [m]
b_e	Largura do chapeamento efetivo [mm]
B_{WL}	Boca na linha d'água de projeto [m]
c	Curvatura do painel [mm]
D	Pontal [m]
GZ	Braço de endireitamento [m]
k_1	Fator de flexão para chapeamento em sanduiche
k_2	Fator de relação de aspecto do painel para resistência
k_3	Fator de relação de aspecto do painel para rigidez
k_4	Fator de localização do laminado em relação à embarcação
k_5	é relacionado à fibra que compõe o laminado (varia de acordo com o tipo de fibra, tipo de tecido utilizado e tipo de laminação)
k_6	Fator relacionado aos cuidados mínimos necessários ao laminado sanduiche.
k_{AR}	Fator de redução de área de pressão
$k_{AR,p}$	Fator de redução de área de pressão do painel
$k_{AR,r}$	Fator de redução de área de pressão do reforçador
k_C	Fator de correção de curvatura para curvados
k_{DC}	Fator de categoria de projeto
k_L	Fator de distribuição de pressão longitudinal

$k_{L, X1}$	Fator de distribuição de pressão longitudinal até a posição X1
$k_{L, X2}$	Fator de distribuição de pressão longitudinal até a posição X2
$k_{L, X3}$	Fator de distribuição de pressão longitudinal até a posição X3
k_R	Fator de componente estrutural e tipo de barco
k_{SCH}	Fator de razão de aspecto da força de cisalhamento
k_{SLS}	Fator de redução de pressão devido à slamming para veleiros leves e estáveis
k_{SUP}	Fator de redução de pressão da superestrutura e casarias do convés
k_Z	Fator de redução de pressão nos costados
l	Maior dimensão de um painel [mm]
l_1	Base de um painel trapezoidal [mm]
l_2	Topo de um painel trapezoidal [mm]
L_H	Comprimento da embarcação [m]
l_u	Comprimento não suportado de um reforço [mm]
L_{WL}	Comprimento da embarcação na linha d'água de projeto [m]
m_{LDC}	Massa de deslocamento da embarcação em condição de carga [kg]
n_{CG}	Fator de carga dinâmica
P_{conv}	Pressão no convés [kN/m ²]
P_{cost}	Pressão nos costados [kN/m ²]
P_{fundo}	Pressão no fundo [kN/m ²]
Ψ	Teor de fibra em massa [kg/m ²]
P_{super}	Pressão no superestrutura [kN/m ²]
ρ	Densidade [kg/m ³]
s	Espaçamento entre as linhas centrais dos reforçadores [mm]
t	Espessura total [mm]
T	Calado [m]
t_e	Espessura da face externa do laminado sanduiche [mm]
t_i	Espessura da face interna do laminado sanduiche [mm]

t_n	Espessura do núcleo do laminado sanduiche [mm]
t_s	Espessura total do laminado sanduiche [mm]
$t_{s, conv}$	Espessura total do laminado sanduiche do convés [mm]
$t_{s, cost}$	Espessura total do laminado sanduiche dos costados [mm]
$t_{s, fundo}$	Espessura total do laminado sanduiche do fundo [mm]
$t_{s, super}$	Espessura total do laminado sanduiche da superestrutura [mm]
V	Velocidade máxima [nós]
w_f	Massa de fibra seca do laminado [kg/m ²]
w_{is}	Massa de fibra da face interna do laminado [kg/m ²]
WL	Linha d'água de projeto [m]
w_{min}	Massa de fibra da face interna do laminado sanduiche [kg/m ²]
w_{os}	Massa de fibra da face externa do laminado sanduiche [kg/m ²]
X	Posição longitudinal [m]
Z	Altura do topo do casco ou ângulo do convés acima da linha d'água [m]
$\beta_{0,4}$	Ângulo de deadrise à popa [°]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMBARCAÇÃO.....	20
2.2 MATERIAIS DE LAMINAÇÃO.....	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 DADOS DE ENTRADA	27
3.2 ÁREAS ANALISADAS	31
3.3 FATORES PARA REDUÇÃO DE PRESSÃO	33
3.4 PRESSÃO DE PROJETO	36
3.4.1 Fundo	36
3.4.2 Costados.....	37
3.4.3 Anteparas	37
3.4.4 Componentes estruturais onde $k_{AR} \leq 0,25$.....	37
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS LAMINADOS.....	38
3.5.1 Obtenção.....	38
3.5.2 Tipo de Tecido.....	39
3.6 PAINÉIS	40
3.7 REFORÇADORES.....	41
3.8 ESPESSURA DE LAMINAÇÃO	43
3.8.1 Espessura do Chapeamento de Camada Single Skin	45
3.8.2 Materiais de Volume	46
3.8.3 Espessura do Chapeamento de Laminação Sanduíche	47

3.8.4 Espessura Requerida Para Suportar Cargas Cisalhantes	47
3.9 REQUERIMENTOS PARA ELEMENTOS DE REFORÇO	49
3.10 CHAPEMANETO EFETIVO	49
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	51
4.1 PROJETO ESTRUTURAL 1	51
4.2 PROJETO ESTRUTURAL 2	54
5 ANÁLISE DOS DADOS	57
6 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A International Organization for Standardization (ISO) é uma federação mundial que define padrões internacionais de normalização. É separada por comitês técnicos com a principal tarefa de formar tais padrões.

A base deste trabalho será a ISO 12215-5, que foi elaborada pelo Comitê Técnico ISO/TC 188 de pequenas embarcações (ISO, 2008). Determina as pressões e tensões de projeto atuantes em pequenas embarcações de recreio para serem usadas nos cálculos das espessuras de laminação mínimas para cada parte do casco e estruturas internas, e finaliza definindo o plano de laminação. Pode ser usada na etapa da fabricação ou, principalmente, durante o projeto da embarcação.

Apesar de muito úteis, essas normas são extensas e possuem difícil aplicação prática, motivo pelo qual frequentemente não são seguidas à risca. Comumente, modelos prontos e bem-sucedidos são replicados, mesmo que não representem a melhor situação entre custo e benefício (menor custo de fabricação associado a melhor desempenho), apenas economia aparente de tempo.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi criar uma pasta de trabalho com planilhas de cálculo no Excel® baseada na ISO 12215-5:2008(E) com o intuito de facilitar o entendimento e aplicação das recomendações desta norma na elaboração de projetos estruturais de embarcações de recreio. Este trabalho possibilitará que com apenas alguns dados de entrada, todos os cálculos das estruturas internas sejam feitos de maneira automatizada. Com isso obtém-se mais rigor no dimensionamento estrutural, enquanto seja possível reduzir-se custos, peso e mão de obra na construção de embarcações.

A planilha deve ser aplicada a monocascos com comprimentos entre 2,5 e 24 metros, fabricados em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), que naveguem à velocidade máxima de 50 nós, considerando a massa de deslocamento em condição carregada (m_{LDC}). Utilizá-la pode ser bastante útil em fase de projeto ou análise de embarcações prontas.

A metodologia deste trabalho é a pesquisa-ação com o uso do Excel®.

1.1 OBJETIVOS

A fim de combater a problemática que é o cumprimento total da norma ISO 12215-5:2008(E), propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é a criação de planilhas de cálculo automatizadas de simples manuseio para dimensionamento estrutural de embarcações de recreio segundo a ISO 12215-5:2008(E).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar a norma ISO 12215-5:2008 (E);
- Aprofundar conhecimentos relativos ao uso do Excel®;
- Caracterizar a embarcação a ser projetada;
- Definir dimensões, características geométricas e mecânicas das estruturas da embarcação;
- Determinar as pressões atuantes em cada parte do casco;
- Obter as espessuras requeridas para a construção do casco;
- Traduzir o conteúdo da norma às planilhas de forma coesa;
- Verificar as planilhas a partir de exemplos apresentados na própria ISO 12215-5:2008(E) e outros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Considerando a prática usual da construção náutica, o termo Rule of Thumbs (Regra de Dedão), conhecido internacionalmente por representar de maneira prática e aproximada o que a experiência provou que funciona (CAMBRIDGE, 2017), representa uma tradição.

As regras do dedão mais confiáveis e práticas são as ‘regras de escantilhamento’ formalizadas. Essas regras são baseadas em análises de engenharia cruzadas contra uma base de dados de navios de sucesso. Os resultados são então condensados e simplificados para aplicação rápida usando fatores facilmente determinados [...] Ela é consideravelmente mais rápida e fácil de aplicar; Contudo, a simples regra do dedão pode ser pouco confiável e limitante. [...] Tais regras formam um dos principais métodos de especificação da construção de barcos há mais de cem anos. (GERR, 2000, p. 18 tradução nossa).

Contudo, atualmente, condições econômicas exigem métodos mais precisos e rápidos. “Ninguém está interessado em adquirir um barco que custou mais caro do que o necessário.” (LARSSON; ELIASON, 2000, p. 13). De qualquer forma, deve-se seguir as normas previstas para a área, como a ISO 12215-5:2008(E). Nesta perspectiva, este trabalho propõe a elaboração de planilhas de cálculo automatizadas com base na ISO 12215-5:2008(E) para o dimensionamento estrutural de embarcações de recreio.

“Embarcação de recreio [...] é todo o engenho ou aparelho, de qualquer natureza, com comprimento entre 2,5 m e 24 m, utilizado ou susceptível de ser utilizado como meio de deslocação na água, aplicado nos desportos náuticos ou em simples lazer, sem fins lucrativos.”. (BRASIL, 1995).

Na prática, essa categoria náutica inclui lanchas, veleiros e semelhantes. São caracterizados por possuírem conforto e agilidade, atingindo velocidades superiores a navios de carga, por exemplo. São destinadas a lazer e esporte.

Este trabalho é composto por 6 capítulos. O presente capítulo foi criado a fim de familiarizar o leitor às notações e conceitos que serão abordados neste trabalho. No subcapítulo 2.1 serão apresentadas as principais caracterizações das embarcações de recreio segundo a ISO,

na sequência, em 2.2 será feita uma revisão sobre os materiais de construção pertinentes. O capítulo 3 METODOLOGIA, é o mais extenso e explica como as planilhas automatizadas foram criadas. Quais os principais conceitos seguidos e como foram organizadas. O subcapítulo 3.1 compreende os dados de entrada para a utilização das planilhas. O 3.2 apresenta as áreas do barco que são analisadas, e mostra como são determinadas segundo conceitos da ISO. Em seguida, em 3.3 e 3.4 aparecem os fatores de redução utilizados nos cálculos das pressões e como as pressões finais são determinadas, respectivamente. Em 3.5 são apresentados os métodos de obtenção das propriedades dos materiais, e uma visão geral dos tipos de tecido. Em 3.6, 3.7 e 3.8 aparecem dados e considerações acerca dos painéis, reforçadores internos e espessuras de laminação. Em 3.9 são apresentados os requisitos necessários aos elementos de reforços e em 3.10, é apresentado o conceito de chapeamento efetivo.

Em seguida no capítulo 4, são apresentadas comparações entre cálculos analíticos e automáticos de dois projetos simplificados a fim de validar as planilhas automatizadas. Tais resultados são analisados e discutidos no capítulo 5. Em 6, há uma breve conclusão deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Em respeito à ISO, este trabalho não irá expor fórmulas nem quaisquer detalhes que possam fornecer ao leitor o conhecimento necessário para replicar conceitos sem posse da norma.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMBARCAÇÃO

Para a Marinha do Brasil (2003), embarcações de grande porte ou iates são aquelas com comprimento igual ou superior a 24m, embarcações de médio porte possuem comprimento inferior a 24m e maior que 5m; e embarcações de propulsão mecânica designam qualquer embarcação movimentada por meio de máquinas ou motores. E embarcações de propulsão à vela, utilizam a força do vento como combustível. Exemplos podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1 - a) Embarcação a motor; b) Embarcação com propulsão à vela.



Fonte: a) Virtual Náutica (2018); b) Ilha Bela, (2018)

Muitos são os requisitos de projeto de uma embarcação, sendo o ambiente em que irá operar, um deles. Por exemplo, as solicitações que ocorrem em embarcações que navegam em águas abrigadas são consideravelmente diferentes daquelas usadas em alto mar durante uma tempestade. Por esse motivo, a ISO faz distinção do tipo de embarcação de acordo com as condições de mar e vento em navegação. Tais categorias são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias de Projeto

CATEGORIA	DEFINIÇÃO	FORÇA (ESCALA BEAUFORT)	ALTURA DAS ONDAS
A	Oceânica	Acima de 8, porém em condições normais	Acima de 4 metros
B	Offshore	Até 8	Até 4 metros
C	Costeira	Até 6	Até 2 metros
D	Águas abrigadas	Até 4	Até 0,3 metros com ondas ocasionais de até 0,5 metros.

Fonte: Adaptado de ISO, (2008).

As condições esperadas de vento e mar, são definidas segundo a Escala Beaufort, como pode ser visto na Figura 2. “Vagas” representam a agitação marítima e “caneiradas” são

conjunto de pequenas vagas espumosas que, formadas pelo vento, lembram rebanhos de carneiros.

Figura 2 - Escala Beaufort

Força	Velocidade do vento em nós	Descrição	Aspecto do mar
0	0 - 1	Calma	Mar de azeite, espelhado ou estanhado
1	1 - 3	Aragem	Rugas na água em forma de escamas, sem cristas de espuma
2	4 - 6	Fraco	Pequenas vagas curtas mas marcadas; cristas translúcidas, mas não rebentam
3	7 - 10	Bonançoso	Pequenas vagas mais alongadas, as cristas começam a rebentar, espuma vítrea; alguns carneiros
4	11 - 16	Moderado	Pequenas vagas alongadas, mais carneirada
5	17 - 21	V. Fresco	Vagas médias de forma alongada, aumenta a carneirada
6	22 - 27	Muito Fresco (Frescalhão)	Vagas grandes em formação; cristas espumantes com ronciana
7	28 - 33	Forte	As vagas acumulam-se a espuma alonga-se em fieiros esbranquiçados na direcção do vento
8	34 - 40	Muito Forte (Muito Rijo)	Vagas medianamente altas mas compridas; as cristas rebentam em turbilhão, a espuma estende-se em fieiros nítidos na direcção do vento
9	41 - 47	Tempestuoso	Vagas altas, fieiros densos, o mar enrola, a ronciana diminui, por vezes, a visibilidade
10	48 - 55	Temporal	Vagas muito altas, de cristas compridas e pendentes, ronciana em lençóis estirados em faixas brancas, superfície da água esbranquiçada, o rolo é violento e caótico, má visibilidade
11	56 - 63	Temporal Desfeito	Vagas excepcionalmente altas, mar coberto de faixas de espuma, os picos das cristas são poeira de água, má visibilidade
12	> 64	Furacão	O ar está saturado de espuma e ronciana, mar completamente branco, péssima visibilidade

Fonte: Boreste Náutica, (2018).

A embarcação também deve ser classificada como deslocante ou planante, assim como a navegação, podendo atuar apenas no modo deslocante ou ambos. Segundo Iervolino (2015), embarcações do tipo planante apresentam elevação da proa com o aumento da velocidade, o que acarreta diminuição da área de contato do casco com a superfície da água. O autor ainda cita embarcação deslocante como sendo aquela que mesmo com o aumento da velocidade não exhibe diminuição do volume submerso e nem da área molhada. Exemplos de embarcação em modo planante e deslocante são vistos na Figura 3.

Figura 3 – Embarcações: a) com propulsão a motor navegando em modo de planeio; b) com propulsão a motor em modo deslocante.



Fontes: a) Marine, (2016); b) Virtual Náutica (2018).

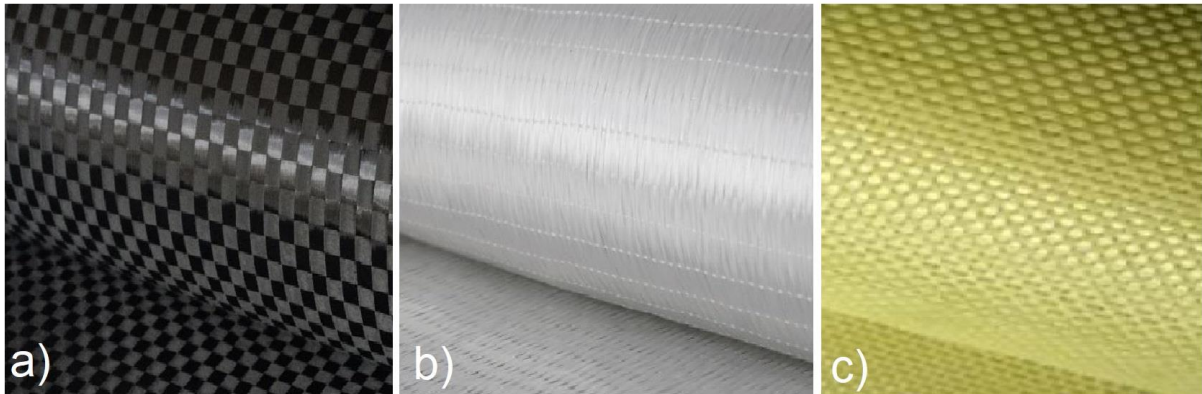
2.2 MATERIAIS DE LAMINAÇÃO

Medeiros (2018) faz colocação acerca da escolha do material, afirmando que essa depende de fatores que vão desde estética e tradição, até a viabilidade econômica e/ou tecnológica, porém tal escolha deve priorizar a relação entre resistência e peso, fundamental para o bom desempenho de uma embarcação de alta velocidade.

A ISO considera alternativas como materiais metálicos, madeiras e compósitos. Segundo Nasseh (2011), os compósitos têm se tornado importantes materiais de engenharia para diversas aplicações na indústria sendo a construção de barcos, uma das mais importantes. Ao contrário de materiais metálicos, suas propriedades mecânicas são diretamente influenciadas pelas técnicas de laminação ditando a qualidade final do laminado.

Muitos são os tipos de compósitos existentes na indústria. Os mais utilizados para a construção de embarcações são baseados na consideração de uma matriz plástica reforçada com fibras de vidro, carbono ou aramida. Na Figura 4 é possível identificar tais fibras.

Figura 4 – Fibras de a) carbono; b) vidro; c) aramida.



Fonte: E-composites, (2018)

Dentre as vantagens do uso de fibra de vidro em reforços de estruturas podem ser destacadas: baixo custo em relação às fibras de carbono e aramida, [...] alta resistência ao impacto e à corrosão (FIORELLI, 2002). Por esses motivos, o plástico reforçado com fibra de vidro é o material considerado para a elaboração das planilhas deste trabalho.

Os tecidos são classificados de acordo com estrutura, gramatura e padronagens. Podem ser estruturados nas formas unidirecionais, bidirecionais ou multiaxiais. Padronagem é a forma como os fios estão dispostos e entrelaçados de modo a compor o tecido e gramatura é o peso em gramas, encontrado em um metro quadrado de tecido.

Dentre os produtos derivados da fibra de vidro, os tecidos de fibras unidirecionais são os mais recomendados para reforço e recuperação de elementos estruturais. Dentre estes, os multiaxiais, formados pela superposição de fibras unidirecionais unidas por uma costura de fio poliéster, são os que apresentam melhores condições para manuseio, além de apresentar excelentes propriedades mecânicas (FIORELLI, 2002).

3 METODOLOGIA

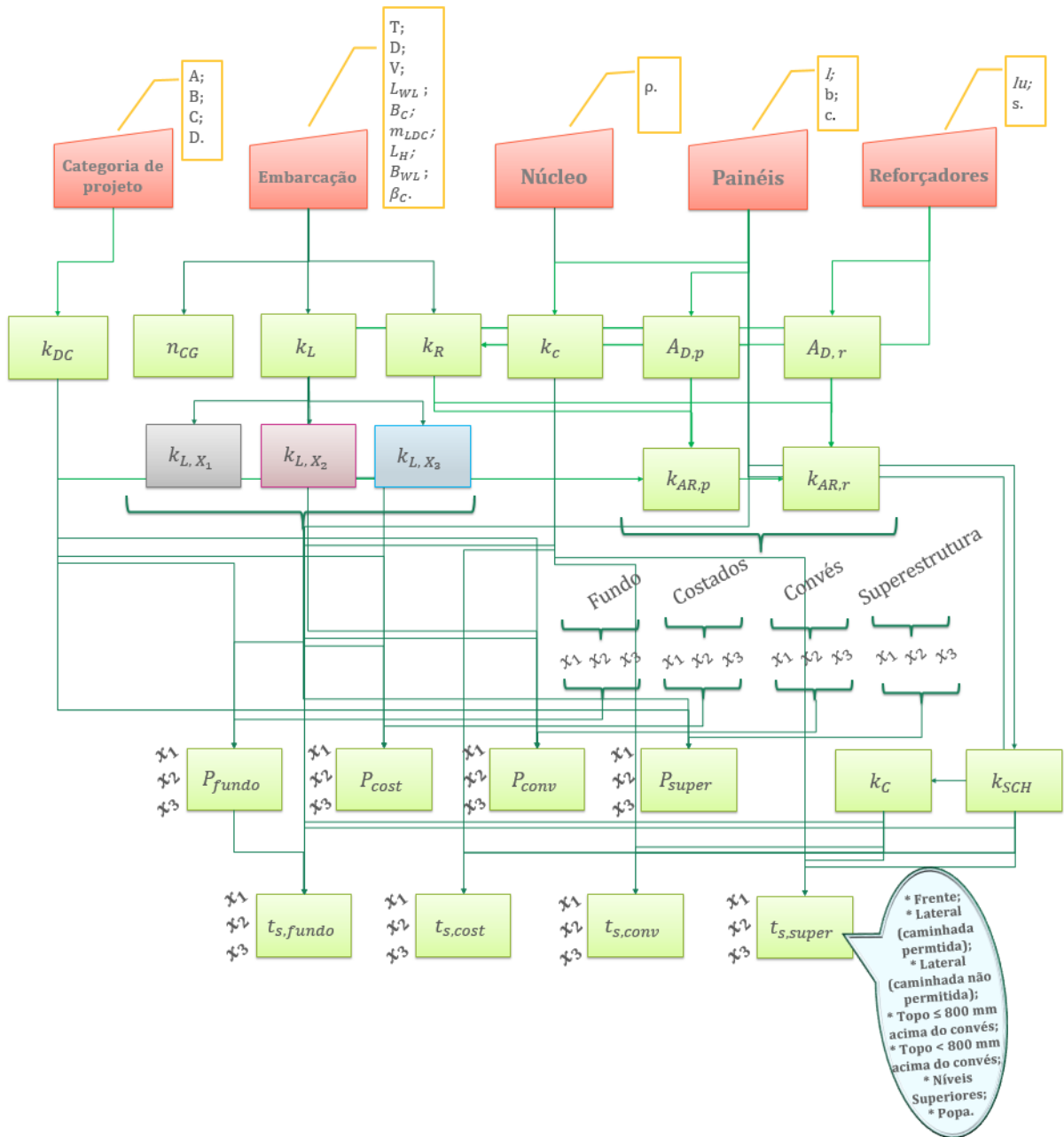
A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa-ação. Elliott (1994) sugere que os mais experientes não adotam uma teoria completamente pronta, mas que a problematizam pela aplicação. “Não se trata de pesquisa-a-ser-seguida-por-ação, ou pesquisa-em-ação, mas pesquisa-como-ação.” (COOKE, 2005, p.7)

A quinta parte da ISO 1225:2008 é composta por 12 capítulos e 8 anexos que foram repassados à diferentes planilhas compondo uma pasta de trabalho no Excel®, à medida que os assuntos eram lidos e compreendidos. Estruturando assim, uma rotina automatizada para facilitar o dimensionamento estrutural em estaleiros da indústria náutica em qualquer parte do mundo.

A primeira etapa prática deste trabalho foi o estudo das funções do Excel® para melhor utilizá-las e aproveitá-las, assim como as principais macros. A partir disso, o conteúdo da norma foi, aos poucos, repassado às planilhas de forma entrelaçada para que tudo estivesse diretamente conectado. Essa metodologia será melhor explicada nas subseções a seguir.

Os primeiros processamentos definem o tipo de embarcação podendo ser planante ou deslocante, a faixa de velocidade para operação que não deve ultrapassar 50 nós em condições de carga e a propulsão principal, motor ou vela. Também caracteriza a embarcação de acordo com seu objetivo de navegação. Os cálculos posteriores são estruturais para determinação da espessura do barco e das estruturas internas, assim como seu arranjo. Para projetar uma estrutura, é necessário realizar análise estrutural para estabelecer as forças internas e deslocamentos nos pontos de interesse, produzidos pelas cargas de projeto. Os projetistas identificam as forças internas nos membros importantes para dimensionar tanto os membros como as ligações entre eles (LEET; UANG; GILBERT, 2009). Um fluxograma simplificado apontando os principais cálculos é apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma simplificada e representativa do procedimento para obtenção das espessuras mínimas requeridas para a embarcação projetada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Definidas as espessuras necessárias dos laminados para cada região do casco (SCHMIDT, 2016), é necessário o definir as etapas da laminação. Segundo Nasseh (2007), a determinação das camadas que podem ser laminadas depende do peso do reforço e da quantidade de resina. Ziantonio (2016) completa dizendo que para a obtenção de laminação bem-sucedida a partir de materiais compósitos é necessário haver gerenciamento através de um

plano de laminação, onde devem constar as quantidades de material a serem utilizadas, de acordo com a espessura desejada e forma do molde.

3.1 DADOS DE ENTRADA

A primeira planilha da qual o usuário tem acesso, é responsável por coletar os dados da embarcação, informando se estão dentro dos parâmetros requeridos. Dados estes, conforme os Quadro 2 a

Quadro 6.

Quadro 2 - Dimensões principais.

DIMENSÕES PRINCIPAIS	RESTRICÇÕES:
ÂNGULO DE DEADRISE	Medido à 0,4 Lwl a partir da popa, o valor deve estar contido no intervalo de 10° a 30°.
BOCA NO CHINE¹	-
BRAÇO DE ENDIREITAMENTO - GZ	Medido a um ângulo máximo de 60°
CATEGORIA DE PROJETO	Escolher entre as categorias: A, B, C ou D
COMPRIMENTO NA LINHA D'ÁGUA	Valor entre 4 e 24 metros
COMPRIMENTO TOTAL	Valor entre 4 e 24 metros
DESLOCAMENTO	-
PONTAL	-
VELOCIDADE MÁXIMA	Menor ou igual a 50 nós

Fonte: Elaborado pelo autor

No Quadro 2, estão as dimensões principais da embarcação suas respectivas restrições, quando há. No Quadro 3, são apresentados detalhes que diretamente relacionados à navegação.

¹ Relativo a ângulo afiado no casco em comparação com os fundos arredondados da maioria dos cascos tradicionais. Linha formada onde os costados encontram o fundo do casco.

Quadro 3 - Características da embarcação.

NAVEGAÇÃO	RESTRICÇÕES:
CATEGORIA DE PROJETO	<ul style="list-style-type: none"> • Categoria A: Oceânica; • Categoria B: Offshore; • Categoria C: Costeira; • Categoria D: Águas abrigadas.
É VELEIRO?	<ul style="list-style-type: none"> • Sim; • Não.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 4 é composto pelas características dos materiais e métodos de laminação que devem ser especificados de acordo com o usual no estaleiro em questão. Também podem ser utilizados dados diferentes dos reais com a finalidade de comparar a eficácia de métodos e/ou materiais.

Quadro 4 - Características requeridas dos materiais e métodos² a serem utilizados.

MATERIAIS	OPÇÕES:
LOCAL ONDE HAVERÁ PAINÉIS SANDUICHE	<ul style="list-style-type: none"> • Fundo; • Costados; • Convés; • Superestrutura.
MATERIAL DE NÚCLEO INERCIAL LEVE (PARA CONSTRUÇÃO SANDUICHE)	<ul style="list-style-type: none"> • Balsa; • Espuma de PVC; • Honeycomb; • Outro.
MATERIAL DE NÚCLEO PARA AUMENTAR O VOLUME	<ul style="list-style-type: none"> • Compensado naval • Espuma sintática • Espuma de resina saturada
MÉTODOS DE LAMINAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Laminação com laminadora Spray Up; • Laminação manual; • Laminação a vácuo;
PROPRIEDADES DO MATERIAL DE NÚCLEO ESCOLHIDO	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade; • Resistência ao cisalhamento; • Módulo de cisalhamento; • Tensão de compressão; • Módulo de compressão

² Detalhes da abordagem feita pela planilha ao usuário podem ser vistas nos APÊNDICES B e C.

TECIDOS USADO NA LAMINAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Manta; • Tecido combinado com manta; • Tecido multiaxial em direções ortogonais; • Tecido unidirecional; • Tecido bidirecional;
TIPOS DE MOLDES	<ul style="list-style-type: none"> • Molde aberto para superfícies simples; • Molde aberto para superfícies complexas; • Molde fechado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso sejam feitas amostras de laminação conforme a laminação do barco com o intuito de testar e obter as propriedades mecânicas, as informações solicitadas no Quadro 5 também devem ser inseridas. Caso contrário, a ISO determina tais propriedades com base em dados pré-estabelecidos. Isso será melhor apresentado em 3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS LAMINADOS.

Quadro 5 - Propriedades mecânicas dos materiais.

PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS	CARACTERÍSTICAS:
MÁXIMA RESISTÊNCIA À	<ul style="list-style-type: none"> • À flexão; • À tração; • À compressão; • Ao cisalhamento laminar; • Ao cisalhamento interlaminar.
MÓDULO	<ul style="list-style-type: none"> • De cisalhamento; • No plano.
RAZÃO DE POISSON	-
TEOR DE FIBRA NOMINAL POR UNIDADE DE MASSA	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

No

Quadro 6 estão as dimensões requeridas sobre os painéis. Nas planilhas podem ser inseridos até 30 tipos de painéis por barco, já relacionados à localização. Estas, ficam encarregadas de fazer as considerações e cálculos necessários a cada um.

Quadro 6 - Características requeridas acerca dos painéis

PAINÉIS	RESTRICÇÕES:
CURVATURA	-
DIMENSÕES	-
GEOMETRIA DO PAINEL	<ul style="list-style-type: none"> • Retangular • Triangular • Trapezoidal
LOCALIZAÇÃO	Identificação da localização do painel a ser dimensionado

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 7, são apresentadas as características dos reforçadores internos. Nas planilhas, também há espaço para 30 tipos, assim como para os painéis.

Quadro 7 - características requeridas acerca dos reforçadores estruturais.

REFORÇADORES	RESTRICÇÕES:
DIMENSÕES	-
ESPAÇAMENTOS	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso as informações inseridas não estejam dentro do intervalo válido, uma mensagem de alerta aparece na tela, informando o intervalo permitido e solicitando nova entrada. Em seguida, a planilha processa os dados conforme a ISO 12215-5 e classifica a embarcação como deslocante ou planante de acordo com a relação entre velocidade e comprimento na linha d'água seguindo a Equação (1).

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \quad (1)$$

Quando essa relação é menor que cinco, a embarcação é dita deslocante. Caso contrário, ela é planante. A ISO (2008) afirma que quando a embarcação navega em modo planante, sua massa é significativamente suportada por forças provenientes de elevação dinâmica devido à velocidade na água.hidrodinâmicas. Uma embarcação planante em águas

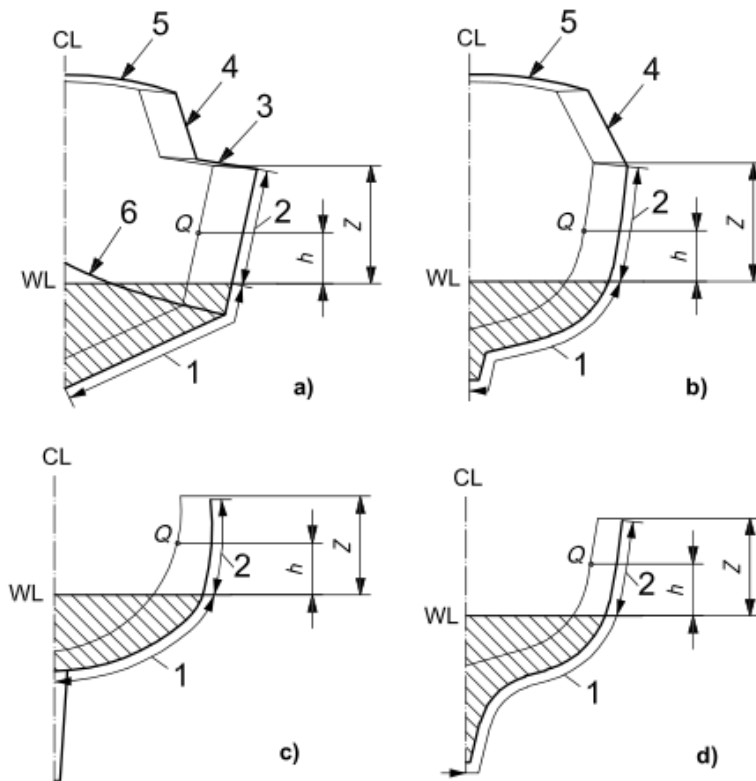
calmas funciona no modo de planeio, porém a mesma pode ser obrigada a reduzir significativamente sua velocidade em mar agitado, funcionando em modo deslocante. É por isso que em cálculos futuros, ambas as situações são consideradas quando se trata de embarcação de planeio, sendo acatada a mais crítica.

Neste trabalho, o material de laminação a ser considerado é uma matriz plástica (resina) reforçada com fibra de vidro tipo E, com ou sem material de núcleo inercial leve. O usuário deve informar as dimensões dos reforçadores a serem utilizados em cada parte do barco e suas respectivas dimensões, definindo assim, os espaços compreendidos entre reforçadores denominados como painéis. Nas planilhas de cálculo, o barco é dividido em três partes, para que o plano de laminação seja mais específico e o barco possa ser construído de maneira otimizada (mais detalhes serão apresentados em 3.3). Assim pode-se evitar o desperdício de matéria-prima, mão de obra e demais insumos envolvidos e além de diminuir o peso, diminui o consumo de combustível e gera ganho de velocidade. Quanto maior a embarcação, maior é a economia envolvida. Mesmo assim, é esperado que os estaleiros interessados em utilizar as planilhas para o projeto estrutural não optem por utilizar a maior espessura obtida nos cálculos, para todo o barco. Assim, todas as espessuras mínimas são satisfeitas e a atenção exigida do laminador é menor.

3.2 ÁREAS ANALISADAS

O Casco, convés e superestrutura são divididos nas áreas: fundo, lateral, convés, e superestrutura conforme a Figura 6.

Figura 6 - Definição das áreas.



Fonte: ISO, (2008).

O fundo é considerado sendo toda parte abaixo da linha d'água, inclusive a parte da transom³. É representado pelo número 1. A extensão da área lateral que inclui a transom, é a parte do casco não considerada como pertencente à área inferior, ou seja, é a área acima da linha d'água representada pelo número 2. O número 3 representa as áreas do convés que são expostas ao tempo e onde pessoas podem caminhar. O fundo do cockpit e a parte superior dos bancos e áreas de estar estão incluídas. As áreas de superestrutura incluem todas as áreas acima do nível do convés como indica os números 4 e 5, sendo este, o topo da superestrutura. O número 6 representa o chine.

A ISO (2008) diz que quando um painel ou reforçador está totalmente dentro de uma área especificada na Figura 6 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, sua pressão de projeto deve ser determinada no centro do painel, ou na metade do reforçador. Onde o painel ou seu reforçador, se estende da área inferior até a lateral, sua pressão deve ser determinada como constante em toda a área projetada, sendo uma média ponderada entre as duas pressões.

³ Superfície plana, aproximadamente vertical.

3.3 FATORES PARA REDUÇÃO DE PRESSÃO

Os capítulos 7 e 8 da ISO 12215-5:2008, são responsáveis por fornecer suporte e instruções necessárias para a obtenção das pressões de projeto no casco, separadas de acordo com a localização dos esforços atuantes. Conhecimento fundamental para posteriormente definir as espessuras do casco, visto que o mesmo é projetado para resistir a tais pressões. Muitos são os fatores que influenciam as pressões resultantes, e são considerados pela ISO. São apresentados a seguir, em forma de tópicos.

- Fator de categoria de projeto k_{DC} :

Para cada categoria de projeto é atribuído um fator de correção (k_{DC}) que considera as cargas de pressão devido às condições marítimas e de ventos esperadas. São fatores que variam entre 0 e 1 e são multiplicados pela pressão de projeto, de modo a diminuí-la quando possível, ou seja, nas situações menos críticas. Sendo a categoria A, a mais crítica, por se tratar de navegação oceânica, seu fator de correção é 1 conforme o Quadro 8 e a pressão é considerada integralmente.

Quadro 8 - Valores de k_{DC} de acordo com a categoria de projeto.

CATEGORIA DE PROJETO	A	B	C	D
VALOR DE k_{DC}	1,0	0,8	0,6	0,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Fator de carga dinâmica n_{CG} :

O fator de carga dinâmica (n_{CG}), é definido no centro de gravidade do barco. Esse fator é a aceleração negativa suportada pela embarcação, seja quando a onda se choca contra o barco em velocidade ou caindo da crista de uma onda. Ele deve ser usado para determinar a pressão somente de embarcações planantes. Em barcos deslocantes, sejam a velas ou motorizados, ele é utilizado apenas para o cálculo do fator de distribuição longitudinal, k_L .

As equações de n_{CG} foram obtidas por métodos empíricos e devem resultar em valor menor que 7 devido à limitação de velocidade por parte da tripulação para manter as acelerações de slamming⁴ dentro de limites aceitáveis de conforto e segurança.

- Fator de distribuição de pressão longitudinal k_L :

O fator k_L representa a distribuição longitudinal das carga de pressão em cada parte da embarcação. Nas planilhas, a embarcação é longitudinalmente dividida em três partes no plano da linha d'água de projeto, a partir da popa. Essa divisão é feita com base no cálculo de k_L . Esse fator varia de 0 a 1 e a espessura final do laminado é fortemente influenciada por ele, por isso a escolha da divisão foi feita com base nele, conforme descrito no parágrafo a seguir.

A embarcação é dividida em 24 partes igual, e o fator k_L é calculado para todas. Fórmulas implícitas identificam três mudanças bruscas no valor do fator e considera as respectivas posições como “divisões” no casco. Todos os cálculos a partir desse ponto são feitos para cada uma dessas partes e áreas previamente definida sem Figura 6, e também segue a divisão da superestrutura conforme o Quadro 9, logo adiante. Na prática, isso provavelmente não será utilizado quando o objetivo for a construção do barco em pouco tempo, porém é uma opção a ser considerada.

- Fator de redução da área de pressão k_{AR} :

O fator k_{AR} representa a variação da pressão de carga devido ao tamanho do painel ou reforço. Esse fator varia de 0,25 a 1, sendo 1 na situação mais crítica que são os painéis correspondentes ao fundo e laterais de embarcações da categoria A, em construção sanduiche e 0,25 para painéis dos costados e fundo em single skin.

Para a superestrutura é definido de acordo com a localização. São divididas em sete principais áreas, conforme o Quadro 9.

⁴ Impacto do casco, usualmente entre a área da proa e a superfície do mar durante ondas.

Quadro 9 - Distinção dos painéis da superestrutura e suas aplicações.

POSIÇÃO DO PAINEL	APLICAÇÃO
FRENTE	Todas as áreas
LATERAL	Área de caminhada
LATERAL	Área sem caminhada
EXTREMIDADE FINAL DA POPA	Todas as áreas
TOPO \leq 800 MM ACIMA DO CONVÉS	Área de caminhada
TOPO $>$ 800 MM ACIMA DO CONVÉS E NÍVEIS SUPERIORES	Área de caminhada
NÍVEIS SUPERIORES⁵	Área sem caminhada

Fonte: Adaptado de ISO, (2008)

- Fator de redução de pressão dos costados k_z :

O fator de redução de pressão dos costados é obtido por interpolação da pressão na lateral entre a pressão abaixo da linha d'água e a pressão do convés, na borda superior. Para isso, os dados de entrada são a altura do topo do casco ou limite entre o casco e o convés (sheerline) e a altura do centro do painel ou metade do reforço ambos acima da linha d'água e em condição de carga máxima m_{LDC} .

- Fator de redução de pressão da superestrutura e casarias do convés K_{SUP} :

O fator de redução relacionado à superestrutura e casarias do convés é definido para todas as áreas do Quadro 9. Como os outros fatores, ele varia de 0 a 1 sendo a posição mais crítica, a posição da frente.

- Fator de redução de pressão devido à slamming para veleiros leves e estáveis, k_{SLS} :

O fator de correção da pressão para embarcações à vela leves e estáveis, devido à slamming considera as pressões de batida mais elevadas encontradas nas embarcações ao

⁵ Níveis superiores representam elementos não expostos ao tempo.

navegar contra o vento (ou seja, a proa da embarcação um formando um ângulo de até 90° com a direção do vento). Esse fator depende da categoria de projeto e não pode ser considerado menor que 1. Para tais cálculos, é necessário utilizar a dimensão do braço de endireitamento GZ ao ângulo máximo de 60°, com todos os dispositivos que aumentam a estabilidade como quilhas inclinadas ou água de lastro na posição mais efetiva, em condições de carga total, e tripulação em posição de contra-peso de navegação. Mesmo que o braço de endireitamento máximo ocorra a um ângulo de inclinação maior que 60°, o valor a 60° deve ser tomado.

3.4 PRESSÃO DE PROJETO

Os cálculos de pressão são feitos de acordo com o oitavo capítulo da norma. Este inicia com subitens que distinguem a embarcação de acordo com sua propulsão e modo de navegação e destina-se a representar a carga dinâmica experimentada pela embarcação (ISO, 2008, p. 18). Tal classificação é feita de forma automática pelas planilhas no Excel® para que apenas os cálculos que serão utilizados sejam efetuados. Com a inclusão dos fatores apresentados em 3.3, a pressão de projeto final para cada parte do barco é definida. Os locais onde são consideradas as pressões, são todos aqueles descritos acima no Quadro 9 - Distinção dos painéis da superestrutura e suas aplicações. e Figura 6 - Definição das áreas.

3.4.1 Fundo

Para embarcações a motor, a pressão do fundo a ser considerada é a maior entre os modos planantes e deslocantes, independente da categoria de projeto.

Ao calcular a pressão do fundo em modo planante, o fator k_{DC} é elevado à potência 0,5 informando que embora algum efeito de categoria de projeto esteja presente, esse efeito é atenuado no modo planante. A razão é que a pressão de aplainamento de pico é experimentada principalmente em condições de categoria C e, portanto, a diferença entre as categorias de projeto é menos marcada do que no modo de deslocamento.

3.4.2 Costados

A pressão dos costados para barcos a motor nas categorias A e B deve ser a maior entre os dois modos. Para as categorias C e D, a pressão do costado deve ser correspondente ao modo de navegação onde a pressão do fundo é a maior. Isso porque em casos de mar agitado embarcações que normalmente navegam em águas calmas devem progredir a uma velocidade menor, da mesma maneira que uma embarcação deslocante.

Na categoria de projeto D, há pouco risco de desacelerar devido ao mar revolto, e esse risco é limitado na categoria C.

3.4.3 Anteparas

De acordo com a DNV as embarcações de recreio precisam conter pelo menos uma antepara de colisão e uma em cada lado do espaço reservado ao maquinário, todas estanques. Essas, devem transportar, transferir e distribuir as cargas nos costados e no convés, captar as forças de reação dos reforços e transportar alívio de compensação de tensão suficiente no seu entorno.

Nas planilhas, o intervalo definido para a localização da antepara estanque é determinada a partir da DNV visto que esta parte da ISO não possui dados acerca disso. Sendo assim, é solicitado ao usuário que informe a posição desejada neste intervalo.

A pressão na antepara é determinada com base na altura o qual varia de acordo com a localização do painel analisado, e dos reforços sejam verticais ou horizontais. Se houver antepara separando tanques, deve ser informado se há válvula/mangueira para escape.

3.4.4 Componentes estruturais onde $k_{AR} \leq 0,25$

Como mencionado em 3.3, o fator de redução de pressão devido à área deve variar entre 0,25 e 1. Ele altera a pressão dinâmica, porém, à medida que o tamanho do componente estrutural aumenta, o efeito dinâmico reduz. Sendo assim, para componentes estruturais muito grandes, a pressão de projeto deve ser baseada na pressão hidrostática, uma vez que é essa carga que pode ser razoavelmente considerada como sendo distribuída por toda a área do componente (ISO, 2008, p. 18).

A ISO classifica os componentes (painéis e reforçadores) como “muito grandes” quando o produto entre suas dimensões mais curta e mais longa excede os valores das equações (2) e (3), como a seguir. Nesses casos, é definida a pressão mínima, independente do que foi calculado anteriormente.

$$\text{Para área do fundo e convés: } 30\% \text{ de } L_{WL} \times B_{WL} \quad (2)$$

$$\text{Para área dos contados: } 30\% \text{ de } L_{WL} \times B \quad (3)$$

3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS LAMINADOS

A ISO considera três situações distintas para obtenção das propriedades mecânicas do laminado, e classifica tais situações como níveis A, B e C.

3.5.1 Obtenção

No nível A, as propriedades mecânicas e teor de fibra em massa são determinados por medição usando padrões de testes reconhecidos para amostras que são representativas do produto como fabricado. Isso significa fabricar as amostras sob as mesmas condições de trabalho, com mesmo material, teor de fibra, métodos de laminação, tratamento térmico e tempo. A ISO 12215-5 também solicita que seja considerada determinada correção nos valores obtidos, equivalendo a um fator de segurança devido à incertezas e imprecisões nos resultados.

O teor de fibras em massa no laminado ψ pode ser determinado para uma amostra por ignição ou por medição direta do laminado, em quilogramas por metro quadrado, a partir da massa de fibra conhecida (ISO, 2008, p. 59). O teor de fibra medido e a massa real das fibras das amostras de teste devem ser utilizados para determinar a espessura nominal da amostra usando equações de espessura conforme os capítulos 10, 11 e Anexo H da norma. Estes valores devem ser usados para converter cargas de falha e deflexão obtidas por meio de medição em força e módulo finais. Quando a espessura medida se desvia mais que 15% da espessura nominal, uma nota para este efeito deve ser incluída no relatório de ensaio. As equações para o cálculo da espessura devem ser usadas para encontrar a massa necessária de fibras que corresponda à espessura requerida (conforme calculado) a um teor específico de fibra. pelo valor da massa. Também podem ser usados para calcular a espessura em uma base camada por

camada ou para o laminado total, onde ψ é a massa total de fibra dividida pela massa total da fibra mais a resina. Equações podem ser usadas para encontrar o conteúdo médio de massa de um laminado para o qual a massa e a espessura da fibra são conhecidas.

No nível B, somente o teor de fibra em massa é estabelecido por meio de medição direta. Testes mecânicos não precisam ser sistematicamente realizados desde que verificações pontuais em amostras representativas usando padrões de testes reconhecidos demonstrem que o construtor pode atender ou exceder os valores tabelados. Sendo assim, tais valores de propriedades mecânicas podem ser utilizados juntamente com o teor de fibra apropriado

No nível C, nenhuma medição explícita é feita para determinar o teor de fibras ou propriedades mecânicas e tabelas são utilizadas para esses fins. A relação requerida entre a espessura em milímetros e o peso do vidro em quilogramas por metro quadrado é apresentada para valores de ψ . Nestas condições, os valores das propriedades mecânicas podem ser retirados das tabelas utilizadas no método B, porém devem corresponder a 80% destes.

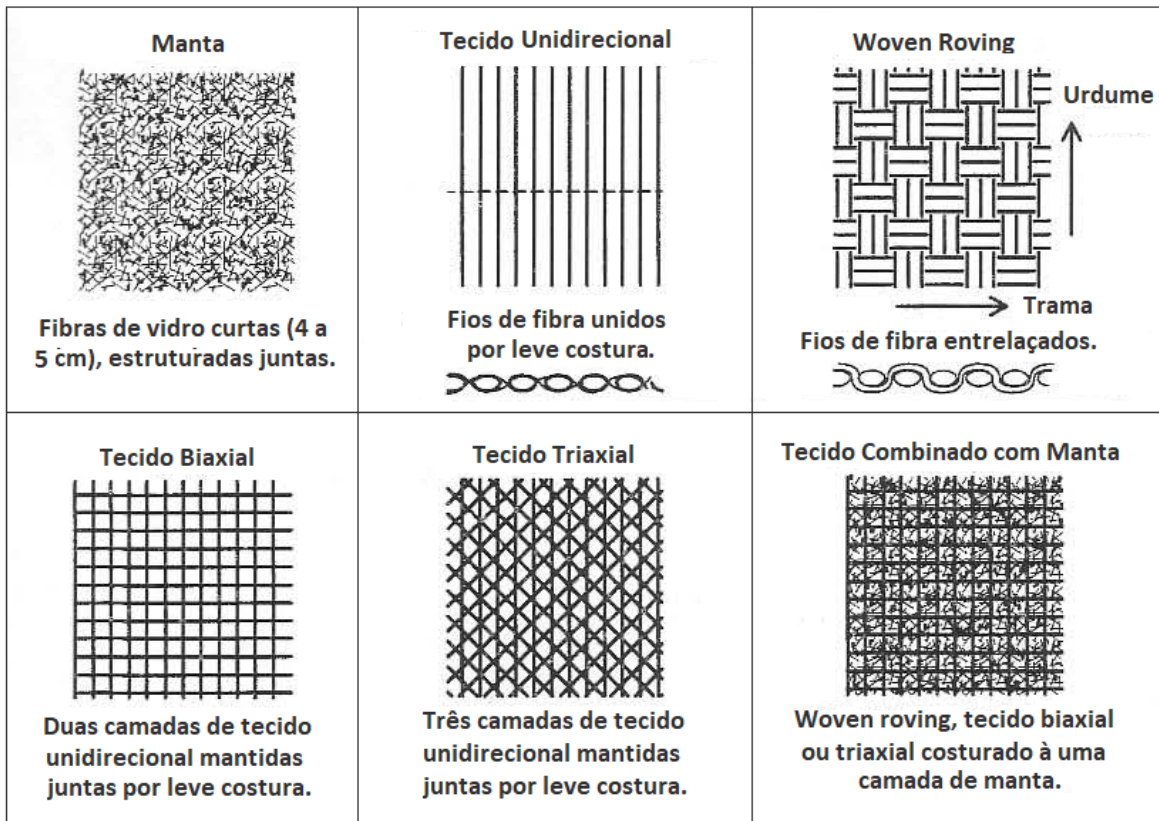
A ISO (2008) recomenda que quando houver dúvidas em relação aos dados tabelados, o construtor deve se certificar de que são alcançáveis na prática pois a responsabilidade de assegurar as propriedades mecânicas é inteiramente dele. Na maioria dos casos, será do interesse dos construtores adotar o nível A ou combinação entre os níveis A e B. O uso do nível C carrega uma penalidade considerável, já que nem o conteúdo real de fibra em massa, nem a qualidade da fabricação podem ser quantificados com alguma certeza. (ISO, 2008, p. 55).

3.5.2 Tipos de Tecido

As propriedades mecânicas se diferem de acordo com tipo de tecido e método de laminação. Por isso, podem ser considerados de acordo com o

Quadro 4, apresentado anteriormente. Na Figura 7 - Tipos de tecido., é possível identificar os tipos mais comuns.

Figura 7 - Tipos de tecido.



Fonte: Traduzido de Larsson; Eliasson, (2000).

Em geral, tecidos biaxiais exibem valores baixos para σ e valores altos para τ em comparação com tecidos orientados a $0/90^\circ$. Por isso, a norma sugere que o uso puro de tecido biaxial seja restrito a elementos que são predominantemente carregados em cisalhamento.

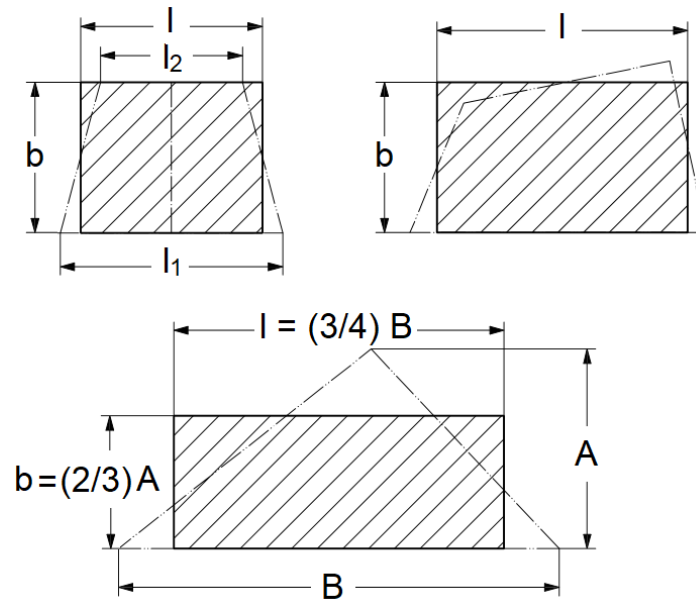
Ao falar-se de ângulos de 0° , $+45^\circ$, 90° , -45° , etc. em laminados multidirecionais estes têm como referência às camadas de fibra na direção b de um painel retangular $l \times b$. O uso de laminados quadriaxiais (unidirecionais nas direções 0° , $+45^\circ$, 90° , -45° ,) tem se tornado cada vez mais comum em laminados sanduíche. As propriedades estão geralmente entre aquelas dos tecidos unidirecionais e biaxiais (ISO, 2008, p. 60).

3.6 PAINÉIS

Painel é definido sendo o espaço compreendido entre quatro reforçadores, sendo a menor dimensão chamada b e a maior, l . A dimensão l não pode ser maior que 330 vezes L_H , em milímetros. Em casos de painéis não retangulares, devem ser consideradas as dimensões equivalentes a painéis retangulares. Isso é visto de acordo com a área, que independente do

formato, deve ser a mesma. Ao determinar as características do painel, o usuário deve informar se ele tem formato retangular, triangular ou trapezoidal e as dimensões equivalentes a painéis retangulares são consideradas nos cálculos posteriores.

Figura 8 - Geometria dos painéis.

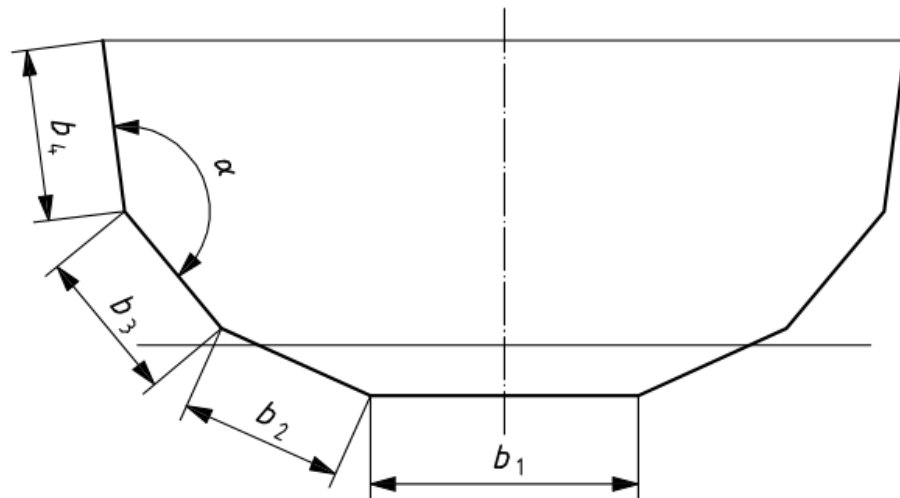


Fonte: ISO, (2008).

3.7 REFORÇADORES

Ao se tratar de reforçadores, a norma os classifica como reforçadores naturais, redundantes e dedicados. Para grandes painéis, a ISO (2008) define reforçadores naturais como ângulos α entre linhas de centro de painéis adjacentes como casco/convés, por exemplo. Geralmente menores que 130° sendo podendo ser um ângulo ou pequeno raio. Precisam ser suficientemente fortes e rígidos para serem considerados reforçadores. Visto que frequentemente são curvados, a curvatura de cada painel também deve ser informada pelo usuário da planilha e é utilizada em cálculos posteriores inclusive no cálculo de KC, bastante útil para painéis curvados. Chines com ângulos entre 130° e 150° , também conhecidos como hard chinês (conforme a Figura 9), podem ser considerados reforçadores naturais.

Figura 9 - Hard Chines.



Fonte: ISO, (2008).

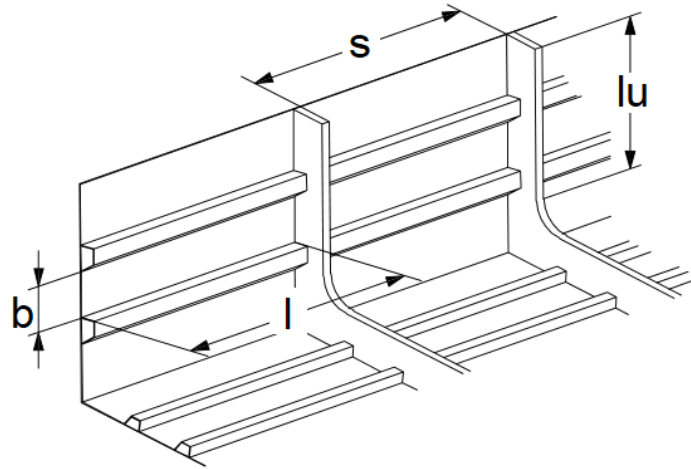
Reforçadores dedicados são vigas, longarinas, anteparas, entre outros.

Quando o painel é tomado entre frames⁶ ou entre top-hat, os reforços que compõem o limite do painel devem ser capazes de atender aos critérios de resistência e rigidez da ISO. Onde isso não é possível, o painel pode ser analisado com o reforçador em questão sendo não eficaz. Ou seja, sua influência estrutural é ignorada. Dessa forma o painel se torna muito maior e caso ele satisfaça os requisitos dessa norma, Então sua não influência é confirmada e o reforçador é dito “não estrutural”⁷. No entanto, tal reforçador irá atrair carga proporcional à sua rigidez, podendo falhar em serviço e resultar em rachaduras na superfície adjacente e até outros tipos de falha. Por isso a ISO (2008) recomenda que essa situação seja evitada. O reforçador não estrutural também pode ser conhecido como redundante. As dimensões dos reforçadores podem ser vistas na Figura 10.

⁶ Elementos construídos transversalmente.

⁷ Significa que os painéis adjacentes ao reforçador foram avaliados [...] como se o reforçador não estivesse fisicamente ali (ISO, 2008, p. 25).

Figura 10 - Dimensões dos reforçadores.



Fonte: ISO, (2008).

Na Figura 10, s é o espaçamento entre as linhas centrais dos reforçadores. Se três reforçadores consecutivos não tem o mesmo espaçamento, s é o valor médio. l é a maior dimensão de um painel entre os dois reforçadores mais próximos, medido em milímetros, e lu é o comprimento não suportado desses reforços.

3.8 ESPESSURA DE LAMINAÇÃO

Para o cálculo da espessura, sempre que ela aparece na quinta parte da ISO 12215, não deve ser medida, mas traduzida para uma massa de fibra seca w_f (em kg/m^2) usando o teor de fibras em massa ψ de acordo com os métodos descritos para obtenção das propriedades mecânicas e comparado com a massa de reforço real. Da mesma forma, para um barco já existente, a massa de fibra seca, w_f deve ser transformada em espessura e comparada aos requisitos para determinação de espessura.

Para o fundo, convés e superestrutura, a pressão de projeto é constante e deve ser aplicada conforme anteriormente definido. A pressão lateral varia ao longo da borda livre conforme especificado para monocascos a motor ou a vela. No caso de um painel com laminados variáveis (single skin ou sanduíche de espessura variável, casca única transformada em sanduíche em algum lugar do painel, etc.), todas as laminações devem ser avaliadas, sendo a mais fraca usada para avaliar a conformidade do painel com a quinta parte da ISO 12215.

A força de cisalhamento e o momento fletor de um painel geralmente não precisam ser conhecidos, pois estão incluídos nos requisitos de espessura. No entanto, ao tratar de material

não homogêneo ou não isotrópico, eles precisam ser calculados e os métodos descritos no Anexo H da ISO 12215-5:2008 (E) são utilizados para a determinação das espessuras. O presente trabalho não abrange esse anexo.

Para o cálculo da espessura, alguns fatores de ajuste são considerados, de modo semelhante ao cálculo das pressões onde fatores era utilizados para corrigir um valor máximo de pressão a valores adequados de acordo com a situação em questão. Outras componentes também são utilizadas e todos são apresentados a seguir, por meio de tópicos.

- Fator de deflexão de flexão k_1 para chapeamento em sanduiche

Esse fator é um valor constante na ordem de 10^{-3} usado apenas para aumentar o valor da rigidez à flexão que é usado no cálculo de espessura para paineis sanduche

- Fator de relação de aspecto do painel para resistência k_2 e rigidez k_3

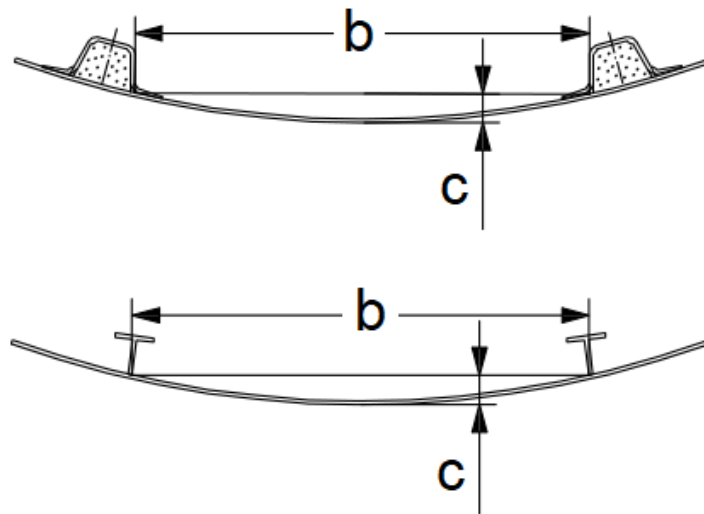
Valores para k_2 e k_3 são obtidos de acordo com a razão de aspecto⁸ do painel. Sendo k_3 utilizado somente para paineis sanduiche.

- Fator de correção de curvatura para paineis curvados k_c

O fator k_c é dado de acordo com a razão c/b do painel, sendo c a distância linear da curvatura até a linha base do painel, conforme a

⁸ Razão entre comprimento e largura. Neste caso, (l/b) .

Figura 11 - Medida da curvatura do painel.



Fonte: ISO, (2008).

O fator k_c varia de 0,5 a 1, sendo maior quando menor a razão c/b .

3.8.1 Espessura do Chapeamento de Camada Single Skin

A espessura necessária para o chapeamento de uma single skin em PRFV é obtida por uma relação entre a pressão, a dimensão b do painel, fatores k_2 e k_c , e, isso considerando que as propriedades mecânicas em ambas as direções se diferem em menos que 25%. Caso contrário, o painel deve ser analisado de acordo com o Anexo H. Também é dada uma relação para a massa de fibra w_{\min} que relaciona parâmetros como a carga máxima m_{DCL} , k_5 , k_7 , k_8 , A , e a velocidade máxima. Para veleiros, a velocidade máxima deve ser tomada como na equação (4).

$$2,36\sqrt{L_{WL}} \quad (4)$$

Conforme Barbarini (2007), as principais componentes da resistência do casco são a resistência viscosa cuja maior componente é a resistência friccional e a resistência residual cuja maior componente é a resistência de onda. Em baixas velocidades, predomina a resistência viscosa devido às forças friccionalis entre o casco e a água. Porém a medida que a velocidade aumenta, a parcela predominante passa a ser a resistência de onda, que ocorre devido às ondas

geradas pelo casco, dissipando energia. Por esse motivo, a velocidade máxima de veleiros é diretamente proporcional ao tamanho do casco. Quanto aos coeficientes k_5 , k_7 , k_8 e A , são definidos conforme a seguir:

k_5 é relacionado à fibra que compõe o laminado (varia de acordo com o tipo de fibra, tipo de tecido utilizado e tipo de laminação);

A , k_7 e k_8 são constantes relacionadas à localização do painel.

3.8.2 Materiais de Volume

Material de volume é usado como núcleo em laminações sanduiche, e podem ser de vários tipos, como: manta esponjosa, espuma de resina saturada, espuma sintática, compensado naval, etc. São destinados a aumentar a espessura do laminado. A principal diferença entre o material de volume e o o núcleo em laminação sanduiche, é que esse não é núcleo inercial leve e por isso possui resistência diferente deste. O material de volume funciona como um elemento que apenas transporta cisalhamento (como em um sanduíche) ou como um elemento do laminado trabalhando tanto na transmissão de cisalhamento quanto na flexão (ISO, 2008, tradução nossa).

Os materiais de volume com resistência ao cisalhamento entre 3 e 5 N/mm² podem substituir as camadas centrais de um laminado single skin em PRFV, desde que a espessura total do material combinado de PRFV com o material de núcleo seja aumentada de 1,15 e 1,30 vezes a espessura de single skin. Caso a espessura total aumente 1,15 vezes, o material de volume deve ser 0,33 vezes a espessura do laminado single skin, e caso aumente 1,30 vezes, o material de volume deve ser 0,50 vezes a espessura do single skin. Valores intermediários devem ser obtidos por meio de interpolação.

Nas planilhas, o usuário informa se possui o interesse de utilizar material de volume e escolhe um entre as opções:

- Espuma sintática;
- Espuma de resina saturada;
- Compensado naval.

Então, a planilha informa as possibilidades de combinações, para que o projetista escolha a mais adequada de acordo com sua necessidade. É importante lembrar que quanto maior a espessura do núcleo mais leve a embarcação fica, porém mais frágil também. Por isso essa é uma decisão que deve ser tomada pelo projetista, o qual tendo conhecimento dos prós e contras, deve decidir a melhor opção.

O aumento da espessura total é necessário para garantir que o laminado em PRFV com material de volume tenha capacidade de resistir à forças de cisalhamento e momentos fletores equivalentes à camada single skin. Para espessura total de 1,15t de single skin, o laminado é governado por uma tensão de cisalhamento em massa, próximo do eixo neutro; para o outro caso, é governado pela força do volume externo (ISO, 2008).

Nos casos onde a madeira compensada é usada como um núcleo, as constantes elásticas costumam ser suficientemente grandes, comparadas com as de single skin ou seja, a madeira compensada contribui significativamente para a resistência à flexão e rigidez. Por isso, núcleos em compensado naval precisam ser tratados de maneira diferenciada e são excluídos do escopo deste trabalho.

3.8.3 Espessura do Chapeamento de Laminação Sanduíche

A determinação da espessura de laminação para painéis sanduíche leva em conta a tensão de projeto, a qual possui valores diferentes para as camadas interna e externa do painel, visto que o lado externo sofre tração, e o interno, compressão.

Também é determinado o módulo de seção mínimo sobre o eixo neutro para as faces interna e externa em uma tira de 1cm de largura. Estas equações derivam do fato de que, para um painel de terminação fixa, o momento de flexão máximo nos suportes rege e a camada externa fica em tração (ISO, 2008, tradução nossa).

3.8.4 Espessura Requerida Para Suportar Cargas Cisalhantes

São fornecidas duas fórmulas para a espessura efetiva do laminado, t , com diferentes parâmetros de modo que t satisfaça ambas. Uma delas informa o valor mínimo ao qual t deve corresponder para que transmita a carga de cisalhamento. A outra, relaciona as espessuras interna e externa do laminado à espessura do núcleo.

Nas planilhas, aparece uma lista dos possíveis materiais de núcleo para que o usuário preencha suas propriedades mecânicas. Em seguida, essas propriedades são analisadas e é informado ao usuário quais desses materiais são podem ser utilizados. É solicitado que ele escolha um, o qual é inserido nos cálculos. Para um projeto otimizado, o projetista pode fazer simulações com mais de um material de núcleo, e escolher aquele que julgar mais adequado.

A fim de reduzir o risco de perfuração ou dano ao laminado, a massa mínima necessária de fibras, em quilogramas por metro quadrado é dada pelas equações (5) e (6).

$$w_{OS} = k_{DC} \times k_4 \times k_5 \times k_6 \times (0,1L_{WL} + 0,15) \text{ kg/m}^2 \quad (5)$$

$$w_{iS} = 0,7 \times w_{OS} \text{ kg/m}^2 \quad (6)$$

Onde:

w_{OS} é a massa de fibra da face externa do laminado, em kg/m^2

w_{iS} é a massa de fibra da face interna do laminado, em kg/m^2

k_4 é o fator de localização do laminado em relação à embarcação (valores distintos para: fundo do casco, costados e convés)

k_5 é definido anteriormente, é relacionado à fibra que compõe o laminado (varia de acordo com o tipo de fibra, tipo de tecido utilizado e tipo de laminação, neste caso, sanduiche)

k_6 é o fator relacionado aos cuidados mínimos necessários ao laminado sanduiche.

Aqui entra o resultado do questionamento no início deste trabalho (em 3.1 DADOS DE ENTRADA), sobre permitir que a embarcação seja facilmente perfurada ou não. Essa decisão deve ser tomada pelo projetista, e detalhes devem ser informados no manual do proprietário.

Esta parte da ISO 12215 se preocupa em garantir que a embarcação seja capaz de suportar as cargas operacionais previstas. Além das cargas impostas pelo mar, que foram convertidas em pressão de projeto e espessura requerida [...]. Todas as embarcações devem ser capazes de resistir a cargas devido ao impacto com detritos flutuantes, itens derrubados, atracação, manuseio e cargas semelhantes. A espessura mínima inferior e lateral é principalmente governada pela velocidade e pelo deslocamento. A espessura mínima do convés só pode ser governada pelo comprimento. Esses requisitos são baseados em experiências anteriores de robustez. (ISO, 2008, p.35, Tradução nossa.)

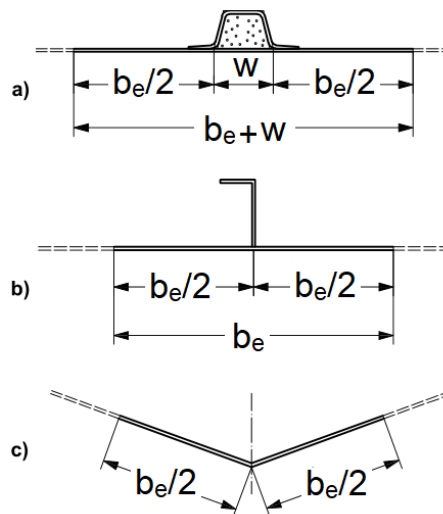
3.9 REQUERIMENTOS PARA ELEMENTOS DE REFORÇO

A principal função de uma estrutura é servir como “suporte material para a transmissão de esforços” (TANCREDI, 2004). O chapeamento deve ser suportado por uma disposição de elementos de reforço conforme trata o escopo da sexta parte da ISO 12215, a qual defini os elementos primários⁹ e secundários¹⁰. A rigidez relativa a esses elementos deve ser tal que as cargas sejam efetivamente transferidas do secundário para o primário, depois para as cascas e anteparas (ISO, 2008, p. 36, tradução nossa).

3.10 CHAPEAMENTO EFETIVO

A parte inferior dos elementos de reforço trabalhando em flexão é uma faixa de chapeamento chamada “chapeamento efetivo” representados por b_e ou $b_e + w$ como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Chapeamento efetivo.



Fonte: ISO, 2008.

Na figura 13, os itens a), b) e c) se diferem devido ao reforçador analisado. São eles reforçador do tipo top-hat, L e hard chine, respectivamente.

⁹ Análise global de uma embarcação (TANCREDI, 2004).

¹⁰ Análise do chapeamento reforçado (AUGUSTO, 2004).

O chapeamento efetivo deve ser dimensionado de acordo com dados na norma, independentemente do tipo de reforçador (longarina, antepara, etc.) mas não deve ser maior que o espaçamento real entre reforçadores.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A fim de verificar a eficácia das planilhas automatizadas e conferência dos cálculos, essas foram utilizadas para o projeto estrutural de duas embarcações, enquanto os mesmos cálculos eram efetuados de forma analítica e um a um, comparados. Como não há o objetivo de usar esses projetos posteriormente, é interessante que os dados escolhidos como entrada abrangam a maior parte das possibilidades, porém tenham certa coerência com embarcações reais. Por esse motivo, as principais dimensões da embarcação foram escolhidas segundo a literatura, em trabalhos científicos. Os projetos são apresentados a seguir.

4.1 PROJETO ESTRUTURAL 1

Os projetos 1 e 2 foram realizado com base nas dimensões principais do projeto detalhado por Amaral (2016). Outras dimensões e características foram adicionadas para compor o grupo de dados necessários aos cálculos. O resultado pode ser visto nas Tabela 2Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Dimensões principais da embarcação.

Dimensão	Sigla	Valor	Unidade
Ângulo de deadrise	B _{0,4}	19,30	°
Boca na linha d'água	B _{WL}	3,40	m
Boca no chine	B _C	3,20	m
Calado de projeto	T	0,85	m
Categoria de projeto	A	Oceânica	-
Comprimento na linha d'água de projeto	L _{WL}	11,75	m
Comprimento total	L _H	12,40	m
Massa	m _{LDC}	15500,00	kg
Pontal	D	1,20	m

Tipo de barco	-	Lancha	-
Velocidade máxima	V	31,00	nós

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 1 contém as dimensões principais da embarcação, de modo geral enquanto a Tabela 2 contém os dados de entrada necessários acerca dos painéis e reforçadores internos, visto que nessa situação hipotética, todos os painéis e reforçadores possuirão as mesmas dimensões, a fim de facilitar os cálculos.

Tabela 2 - Dimensões principais dos painéis e reforçadores.

Dimensão	Sigla	Valor	Unidade
Maior comprimento do painel	l	2350,00	mm
Comprimento não suportado do reforço	lu	2400,00	mm
Curvatura do painel	c	200,00	mm
Espaçamento entre reforçadores	s	2350,00	mm
Construção do casco em painéis sanduiche?	-	Sim	-
Menor comprimento do painel	b	1600,00	mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como mostrado na Tabela 1, a embarcação em questão é uma lancha ou seja, embarcação planante. O primeiro processamento da planilha, mostra isso. E o cálculo analítico comprova conforme a Equação (7)

$$\frac{V}{L_{WL}} = 9,04 \quad (7)$$

Então, os cálculos para determinação das pressões no fundo do casco, costados e convés foram efetuados e são apresentados na

Tabela 3.

Tabela 3 - Pressões de projeto correspondentes ao projeto 1, em kN/m².

		Resultado Analítico			Resultado Automático		
		X1	X2	X3	X1	X2	X3
Fundo	Painel	23,07	37,43	38,97	23,07	37,43	38,97
	Reforço	21,44	21,44	21,44	21,44	21,44	21,44
Costado	Painel	23,29	30,32	31,57	23,29	30,32	31,57
	Reforço	21,57	22,50	22,57	21,57	22,50	22,57
Convés	Painel	5,00	5,00	5,45	5,00	5,00	5,45
	Reforço	5,00	5,00	5,45	5,00	5,00	5,45

Fonte: Elaborado pelo autor.

As pressões calculadas manualmente e as obtidas por intermédio das planilhas são exatamente as mesmas, o que comprova a eficácia da planilha. Porém, nesse caso os painéis e reforçadores são classificados como muito grandes, e por isso, os valores finais das pressões foram atualizados conforme a norma sugere e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Pressões finais correspondentes ao projeto 1, em kN/m².

		Resultado Analítico			Resultado Automático		
		X1	X2	X3	X1	X2	X3
Fundo	Painel	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86
	Reforço	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86
Costado	Painel	7,24	7,24	7,24	7,24	7,24	7,24
	Reforço	7,24	7,24	7,24	7,24	7,24	7,24
Convés	Painel	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Reforço	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

As espessuras totais do laminado foram determinadas de acordo com a norma para laminação sanduiche e são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Espessuras totais para o laminado sanduiche correspondentes ao projeto 1, em milímetros.

		Resultado Analítico	Resultado Automático
Fundo	Painel	11,74	11,74
	Reforço		
Costado	Painel	7,83	7,83
	Reforço		
Convés	Painel	5,40	5,40
	Reforço		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 6 estão as espessuras mínimas requeridas para as camadas interna t_i e externa t_e do laminado, e para o núcleo t_n .

Tabela 6 - Espessuras interna, externa e de núcleo para a laminação sanduiche referentes ao projeto 1, em milímetros.

	t_e	t_i	t_n
Fundo	3,83	2,70	8,48
Costado	3,10	2,20	5,20
Convés	2,20	1,20	3,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 PROJETO ESTRUTURAL 2

Para os cálculos do segundo projeto estrutural, foram utilizados os mesmos parâmetros de entrada do projeto 1, com a única exceção da categoria de projeto da que caso é a D e permite navegação apenas em águas abrigadas. O procedimento foi feito da mesma forma que anteriormente e os dados finais de pressão são apresentados na Tabela 7/Tabela 8.

Tabela 7 – Pressões finais referentes ao projeto 2, em kN/m².

		Resultado Analítico			Resultado Automático		
		X1	X2	X3	X1	X2	X3
Fundo	Painel	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86
	Reforço	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86
Costado	Painel	6,48	6,48	4,23	6,48	6,48	4,23
	Reforço	5,77	4,23	4,23	5,77	4,23	4,23
Convés	Painel	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Reforço	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

As espessuras totais obtidas são apresentadas a seguir, na Tabela 8.

Tabela 8 - Espessuras totais para o laminado sanduiche correspondente ao projeto 2, em milímetros.

		Resultado Analítico			Resultado Automático		
		X1	X2	X3	X1	X2	X3
Fundo	Painel						
	Reforço		11,70			11,70	
Costado	Painel	7,00	7,00	4,60	7,00	7,00	4,60
	Reforço	6,30	4,60	4,60	6,30	4,60	4,60
Convés	Painel						
	Reforço		5,40			5,40	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 8 nota-se que as espessuras mínimas requeridas para os painéis e reforçadores do fundo e do convés são as mesmas em todo comprimento longitudinal da embarcação, enquanto para os costados, as espessuras variam. Então as espessuras para as camadas dos laminados dos costados são apresentadas na Tabela Tabela 1Tabela 9, e para o fundo e convés, na Tabela Tabela 10.

Tabela 9 - Espessuras interna, externa e de núcleo para a laminação sanduiche dos costados referentes ao projeto 2, em milímetros.

	Painéis		Reforçadores	
	X1 e X2	X3	X1	X2 e X3
t_i	0,90	0,90	0,90	0,90
t_e	1,20	1,20	1,20	1,20
t_n	6,00	3,50	5,20	3,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Espessuras interna, externa e de núcleo para a laminação sanduiche do fundo e convés referentes ao projeto 2, em milímetros.

	Painéis e Reforçadores	Painéis e Reforçadores
	do Fundo	do Convés
t_i	1,10	0,90
t_e	1,60	0,60
t_n	10,40	4,70

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de todas as pressões calculadas neste projeto, e as possíveis espessuras caso fosse utilizado material de volume são apresentados nos APÊNDICES A e D, respectivamente.

5 ANÁLISE DOS DADOS

No projeto 1, as pressões consideradas foram as mesmas para cada tipo de painél, independentemente da localização longitudinal. Isso aconteceu porque as pressões calculadas tinham magnitude muito pequena, de modo que pressões mínimas recomendadas pela norma fossem maiores e portanto, seguidas. No segundo projeto, isso aconteceu apenas para o convés e fundo. Para os costados, foi indicada distinção dos painés e reforçadores necessitando de maior espessura de núcleo nas posições iniciais da embarcação, X1 e X2. Como o referencial para tais posições é a popa, as maiores espessuras são requeridas à ré.

A diferenças percentuais entre os cálculos analítios e automáticos foram imperceptíveis em ambos os projetos. Em todos os cálculos analíticos foram considerados arredondamentos em pelo menos a terceira casa decimal, e isso contrubuiu para o baixo nível de incertezas.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o principal objetivo de compreender e repassar os conceitos e cálculos fornecidos pela norma ISO 12215-5:2008(E) para planilhas do Excel®, de modo a elaborar uma ferramenta automatizada para projetos estruturais de embarcações de recreio em PRFV, em concordância com o escopo da norma. O objetivo geral foi cumprido, assim como os objetivos específicos propostos no início deste trabalho e a planilha foi verificada com sucesso.

Para projetos futuros e semelhantes, fica a sugestão da implementação de outras partes da norma ISO 12215 em planilhas, de modo a abranger mais conteúdo, ou ainda, a mesma implementação da norma em planilhas, porém para construção em metais e madeiras.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto – Lei nº 329/95 de 9 de dezembro de 1995. **Regulamento da Náutica de Recreio**. Disponível em < http://bdjur.almedina.net/item.php?field=item_id&value=120696>. Acesso em: 22 de out. 2017.

CAMBRIDGE DICTIONARY. Inglaterra: Cambridge University Press, 2017. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/rule-of-thumb>>. Acesso em: 23 out. 2017.

COOKE, Bill. **A foundation correspondence on action research: correspondence on action research Ronald Lippit and John Collier**. The University of Manchester. Acesso em: jun. 2005.

ELLIOT, J. **Action research f Action research for educational change**. Filadélfia: Open University Press, 1991. Research on teacher’s knowledge and action research. Educational Action Research, v. 2, n. 1, p. 133-137, 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12215-5:2008(E): Small craft — Hull construction and scantlings**. Switzerland: ISO, 2008.

LEET, Kenneth M.; UANG, Chia-ming; GILBERT, Anne M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. São Paulo: Amgh, 2010. 790 p. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/pos-graduacao/fundamentos-da-analise-estrutural-leet-2.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.

NASSEH, Jorge. **Barcos: métodos avançados de construção em composites**. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2007.

SCHMIDT, Marco Aurélio Vieira. **Ecodesign aplicado ao mercado náutico brasileiro: desenvolvimento de uma lancha modular de 16 pés**. 2016. 130 f. Monografia (Especialização) - Curso de Design, Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2016. Disponível em: <<http://www.univille.edu.br/account/ppgdesign/VirtualDisk.html/download>>

MORAES, André Amâncio de. **Metodologia de suporte ao projeto informacional e conceitual de embarcações de recreio a motor de pequeno porte**. 2017. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências Mecânicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/177592/346864.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

MARINHA DO BRASIL, DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. **NORMAM-03/DPC: Normas da Autoridade Marítima para Amadores, Embarcações de Esporte E/Ou Recreio e Para Cadastramento e Funcionamento de Marinas, Clubes e Entidades Desportivas Náuticas.** 2003.

NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Divisão de Engenharia e Marketing da empresa Barracuda Advanced Composites, 2011.

BORESTE NÁUTICA (São Paulo). Boreste Escola Náutica e Consultoria (Org.). **Escala de ventos (Beaufort).** Disponível em: <<http://www.borestenautica.com.br/arquivos/BEAUFORT.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

IERVOLINO, L. A. **Estudo de resistência ao avanço de uma embarcação de planeio de 26 pés: abordagem computacional baseada em CFD.** 2015. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

MEDEIROS, Guilherme Brando de. **Pressões e tensões em um casco de planeio utilizando as normas: ISO (2008), ABS (2018) e DNV (2012).** 2018. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

E-COMPOSITES (Rio de Janeiro). **E-composites.** 2018. Disponível em: <<https://www.e-composites.com.br/>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

FIBERTEX (Louveira) (Comp.). **Tecidos para compósitos.** 2018. Disponível em: <<http://www.fibertex.com.br/produto/tecidos-para-compositos-de-fibra-de-vidro/>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

APÊNDICE A – Pressão

Neste apêndice são apresentados os resultados obtidos por meio das planilhas automatizadas, com dados do projeto 2. Na Figura 13 são mostrados os valores obtidos em todos os cálculos de pressão, e na Figura 14 são apresentadas as pressões resultantes em cada parte do casco, para painéis e reforçadores. Em ambas as figuras, as tabelas em cor de rosa são respectivas aos painéis e em verde, aos reforçadores.

Figura 13 - Pressões de projeto calculadas pelas planilhas automatizadas.

Capítulo 8 - Pressão de Projeto												
8.1 Pressão de Projeto Embarcação a Motor [kN/m ²]												
PAINÉIS						REFORÇADORES						
8.1.2 Pressão do Fundo - Modo Deslocante (PBMD)						8.1.2 Pressão do Fundo - Modo Deslocante (PBMD)						
P _{BMD} BASE	x [m]	P _{BMD}	P _{BMD} MIN	P _{BMD} MÁX POR TRECHO	P _{BMD} MÁX TOTAL	P _{BMD} BASE	x [m]	P _{BMD}	P _{BMD} MIN	P _{BMD} MÁX POR TRECHO	P _{BMD} MIN	
77,95	3,43	9,27	15,09	15,09	15,09	77,95	3,43	5,80	15,09	15,09	15,09	
	6,85	12,30	15,09	15,09			6,85	7,69	15,09	15,09		
	11,75	12,47	15,09	15,09			11,75	7,79	15,09	15,09		
8.1.3 Pressão do Fundo - Modo Planante (P _{BMP})						8.1.3 Pressão do Fundo - Modo Planante (P _{BMP})						
P _{BMP} BASE	x [m]	P _{BMP}	P _{BMP} MIN	P _{BMP} MÁX POR TRECHO	P _{BMP} MÁX TOTAL	P _{BMP} BASE	x [m]	P _{BMP}	P _{BMP} MIN	P _{BMP} MÁX POR TRECHO	P _{BMP} MÁX TOTAL	
392,89	3,43	116,86	15,09	116,86	116,86	392,89	3,43	73,03	15,09	73,03	73,03	
196,44	6,85	77,49	15,09	77,49			196,44	6,85	48,43	15,09		48,43
114,59	11,75	45,84	15,09	45,84			114,59	11,75	28,65	15,09		28,65
8.1.4 Pressão Lateral do Casco - Modo Deslocante (P _{SM})						8.1.4 Pressão Lateral do Casco - Modo Deslocante (P _{SM})						
P _{SM} BASE	x [m]	P _{SM}	P _{SM} MIN	P _{SM} MÁX POR TRECHO	P _{SM} MÁX TOTAL	P _{SM} BASE	x [m]	P _{SM}	P _{SM} MIN	P _{SM} MÁX POR TRECHO	P _{SM} MÁX TOTAL	
15,80	3,43	7,42	4,23	7,42	10,10	15,80	3,43	4,64	4,23	4,64	6,31	
17,00	6,85	9,89	4,23	9,89			17,00	6,85	6,18	4,23		6,18
18,71	11,75	10,10	4,23	10,10			18,71	11,75	6,31	4,23		6,31
Guarda Mancebo				Guarda Mancebo								
x [m]	P _{SM} MÁX POR TRECHO	P _{SM} MÁX TOTAL		x [m]	P _{SM} MÁX POR TRECHO	P _{SM} MÁX TOTAL						
3,43	4,23	4,23		3,43	4,23	4,23						
6,85	4,23	4,23		6,85	4,23	4,23						
11,75	4,23	4,23		11,75	4,23	4,23						
8.1.5 Pressão Lateral do Casco - Modo Planante (P _{SMP})						8.1.5 Pressão Lateral do Casco - Modo Planante (P _{SMP})						
P _{SMP}	x [m]	P _{SMP} MIN	P _{SMP} MÁX POR TRECHO	P _{SMP} MÁX TOTAL		P _{SMP}	x [m]	P _{SMP} MIN	P _{SMP} MÁX POR TRECHO	P _{SMP} MÁX TOTAL		
9,23	3,43	4,23	9,23	9,23		5,77	3,43	4,23	5,77	5,77		
6,48	6,85	4,23	6,48				4,05	6,85	4,23			4,23
4,19	11,75	4,23	4,23				2,62	11,75	4,23			4,23
8.1.6 Pressão no Deck do Casco (P _{DM})						8.1.6 Pressão no Deck do Casco (P _{DM})						
P _{DM}	x [m]	P _{DM} MIN	P _{DM} MÁX POR TRECHO	P _{DM} MÁX TOTAL		P _{DM}	x [m]	P _{DM} MIN	P _{DM} MÁX POR TRECHO	P _{DM} MÁX TOTAL		
1,37	3,43	5,00	5,00	5,00		1,17	3,43	5,00	5,00	5,00		
1,95	6,85		5,00				1,68		6,85			5,00
2,18	11,75		5,00				1,87		11,75			5,00
X1 [m]	Posição do Painél	P _{SUP} M	Aplicação	X1 [m]	Posição do Painél	P _{SUP} M	Aplicação					
8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP} M)	Frente	1,84	Qualquer área	8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP} M)	Frente	1,58	Qualquer área					
	Lado	5,00	Área de caminhada		Lado	5,00	Área de caminhada					
	Lado	0,92	Área sem caminhada		Lado	0,79	Área sem caminhada					
	Final da Popa	0,92	Qualquer área		Final da Popa	0,79	Qualquer área					
	Topo <= 800mm	5,00	Área de caminhada		Topo <= 800mm	5,00	Área de caminhada					
	Topo > 800mm	5,00	Área de caminhada		Topo > 800mm	5,00	Área de caminhada					
Níveis Superiores	9,21	Área sem caminhada	Níveis Superiores	7,90	Área sem caminhada							
X2 [m]	Posição do Painél	P _{SUP} M	Aplicação	X2 [m]	Posição do Painél	P _{SUP} M	Aplicação					
8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP} M)	Frente	1,84	Qualquer área	8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP} M)	Frente	1,70	Qualquer área					
	Lado	5,00	Área de caminhada		Lado	1,14	Área de caminhada					
	Lado	0,92	Área sem caminhada		Lado	0,85	Área sem caminhada					
	Final da Popa	0,92	Qualquer área		Final da Popa	0,85	Qualquer área					
	Topo <= 800mm	5,00	Área de caminhada		Topo <= 800mm	0,85	Área de caminhada					
	Topo > 800mm	5,00	Área de caminhada		Topo > 800mm	0,59	Área de caminhada					
Níveis Superiores	9,21	Área sem caminhada	Níveis Superiores	8,50	Área sem caminhada							
X3 [m]	Posição do Painél	P _{SUP} M	Aplicação	X3 [m]	Posição do Painél	P _{SUP} M	Aplicação					
8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP} M)	Frente	1,84	Qualquer área	8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP} M)	Frente	1,87	Qualquer área					
	Lado	5,00	Área de caminhada		Lado	1,25	Área de caminhada					
	Lado	0,92	Área sem caminhada		Lado	0,94	Área sem caminhada					
	Final da Popa	0,92	Qualquer área		Final da Popa	0,94	Qualquer área					
	Topo <= 800mm	5,00	Área de caminhada		Topo <= 800mm	0,94	Área de caminhada					
	Topo > 800mm	5,00	Área de caminhada		Topo > 800mm	0,65	Área de caminhada					
Níveis Superiores	9,21	Área sem caminhada	Níveis Superiores	9,36	Área sem caminhada							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Pressões resultantes.

8.1 Resultados - Paineis [kN/m²]:					8.1 Resultados - Reforços [kN/m²]:					
Local	Sigla	X1	X2	X3	Local	Sigla	X1	X2	X3	
Pressão do fundo	P_{BM 1}	10,86	10,86	10,86	Pressão do fundo	P_{BM}	10,86	10,86	10,86	
Pressão lateral do casco	P_{SMP 1}	6,48	6,48	4,23	Pressão lateral do casco	P_{SMP}	5,77	4,23	4,23	
Pressão no deck	P_{DM 1}	5,00	5,00	5,00	Pressão no deck	P_{DM}	5,00	5,00	5,00	
8.1.7 Pressão do Casco para Superestrutura e Deckhouses Expostos ao Clima (P _{SUP.M})	Frente	P_{SUP M 1}	1,84	1,84	1,84	Frente	P_{SUP M 1}	1,58	1,70	1,87
	Lateral c/ Caminhada	P_{SUP M 2}	5,00	5,00	5,00	Lateral c/ Caminhada	P_{SUP M 2}	5,00	1,14	1,25
	Lateral s/ caminhada	P_{SUP M 3}	0,92	0,92	0,92	Lateral s/ caminhada	P_{SUP M 3}	0,79	0,85	0,94
	Final da Popa	P_{SUP M 4}	0,92	0,92	0,92	Final da Popa	P_{SUP M 4}	0,79	0,85	0,94
	Topo =< 800mm	P_{SUP M 5}	5,00	5,00	5,00	Topo =< 800mm	P_{SUP M 5}	5,00	0,85	0,94
	Topo > 800mm	P_{SUP M 6}	5,00	5,00	5,00	Topo > 800mm	P_{SUP M 6}	5,00	0,59	0,65
	Níveis Superiores	P_{SUP M 7}	9,21	9,21	9,21	Níveis Superiores	P_{SUP M 7}	7,90	8,50	9,36
Guarda Mancebo	P_{SM MIN}	4,23	4,23	4,23	Guarda Mancebo	P_{SM MIN}	4,23	4,23	4,23	

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE B – Dados de entrada sobre os núcleos

Alguns dados de entrada a respeito dos núcleo, são apresentados neste anexo.

Figura 15 - Dados de entrada em forma de listas.

Quais painéis serão em construção sanduiche?	
Será adicionado material de volume?	

↓

Quais painéis serão em construção sanduiche?	<ul style="list-style-type: none"> Fundo e deck. Deck e costados. Somente o fundo. Somente os costados. Somente o deck. Nenhum. Fundo, deck e costados. Fundo e costados.
Será adicionado material de volume?	

↓

Quais painéis serão em construção sanduiche?	Deck e costados.
Escolha o material de núcleo do sanduiche:	
Será adicionado material de volume?	<ul style="list-style-type: none"> End grain balsa Linear PVC PVC I PVC II SAN A Honeycomb

↓

Quais painéis serão em construção sanduiche?	Deck e costados.
Escolha o material de núcleo do sanduiche:	Linear PVC
Será adicionado material de volume?	<ul style="list-style-type: none"> SIM NÃO

↓

Quais painéis serão em construção sanduiche?	Deck e costados.
Escolha o material de núcleo do sanduiche:	Linear PVC
Será adicionado material de volume?	SIM
Escolha do material de volume:	<ul style="list-style-type: none"> Plywood Espuma Sintática Espuma de resina saturada ou Feltro

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 15 é apresentado o passo a passo seguido pelo projetista ao informar quais os núcleos requeridos, e se o são. Na Figura 16 é apresentada a situação quando o usuário informa que não deseja usar material de núcleo.

Figura 16 - Tabela preenchida quando não há interesse em utilizar material de núcleo.

Quais painéis serão em construção sanduiche?	Nenhum.
Será adicionado material de volume?	

Quais painéis serão em construção sanduiche?	Nenhum.
Será adicionado material de volume?	NÃO

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE C – Dados de entrada dos materiais e métodos de laminação

Quando as informações dos núcleos de volume ou núcleos para laminação sanduiche são informados pelo usuário das planilhas, o mesmo deve preencher dados conforme a Figura 17.

Figura 17 - Materiais e métodos de laminação

Materiais e métodos de laminação	CASCO			PAINÉIS DA SUPERESTRUTURA						
	Fundo	Lateral	Deck	Frete	Lateral com Caminhada	Lateral sem Caminhada	Final da Popa	Topo 1	Topo 2	Níveis Superiores
Tipo de tecido para laminação	-									
Método de Laminação	-									
Teor de fibra nominal por massa	ψ									
Máxima resistência à flexão	σ _{uf}									
Máxima resistência à tração	σ _{ut}									
Máxima resistência à compressão	σ _{uc}									
Módulo no plano	E									
Módulo de cisalhamento no plano	G									
Resistência ao cisalhamento no plano	TU									
Principal razão de Poisson	V12									
Resistência ao cisalhamento interlaminar (tora do plano)	TU Inter									
Módulo no plano (E1) (direção 0 ou 90°)	E1									

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE D – Espessuras quando há material de volume

Quando o projetista opta pela utilização de material de volume, os dados obtidos para as espessuras do núcleo e do laminado em PRFV são conforme a Figura 18. Porém para as três partes do barco, X1, X2 e X3. A figura apresenta apenas os dados referentes às laminações da popa até a posição X1.

Figura 18 - Espessuras para laminação com material de volume, até a posição X1.

Aumento de t total (porcentagem):		Espessura "t" com base na Eq. 35:															
		1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,30
Espresso																	
Aumento de t Bulking (porcentagem):		Espessura do Bulking Material:															
		0,33	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49	0,50
Novas Espessuras do Bulking Material [mm]:																	
Posição																	
Casco																	
Fundo:	3,962150	4,133861	4,307938	4,484382	4,663192	4,844368	5,027911	5,213821	5,402097	5,592740	5,785749	5,981124	6,178866	6,378975	6,581450	6,786292	6,993466
Lateral:	2,687850	2,804335	2,922426	3,042122	3,163423	3,286330	3,410842	3,536960	3,664683	3,794011	3,924945	4,057484	4,191629	4,327379	4,464734	4,603695	4,743966
Deck:	2,687850	2,804335	2,922426	3,042122	3,163423	3,286330	3,410842	3,536960	3,664683	3,794011	3,924945	4,057484	4,191629	4,327379	4,464734	4,603695	4,743966
Posição do Painel																	
Frente:	1,631429	1,702131	1,773808	1,846459	1,920085	1,994685	2,070260	2,146808	2,224332	2,302829	2,382302	2,462748	2,544169	2,626565	2,709934	2,794279	2,879604
Lateral com caminhada:	2,687850	2,804335	2,922426	3,042122	3,163423	3,286330	3,410842	3,536960	3,664683	3,794011	3,924945	4,057484	4,191629	4,327379	4,464734	4,603695	4,743966
Lateral sem caminhada:	1,153594	1,203589	1,254272	1,306644	1,357705	1,410455	1,463895	1,518023	1,572840	1,628346	1,684542	1,741426	1,798999	1,857262	1,916213	1,975853	2,036184
Final da popa:	1,153594	1,203589	1,254272	1,306644	1,357705	1,410455	1,463895	1,518023	1,572840	1,628346	1,684542	1,741426	1,798999	1,857262	1,916213	1,975853	2,036184
Topo 1:	2,687850	2,804335	2,922426	3,042122	3,163423	3,286330	3,410842	3,536960	3,664683	3,794011	3,924945	4,057484	4,191629	4,327379	4,464734	4,603695	4,743966
Topo 2:	2,687850	2,804335	2,922426	3,042122	3,163423	3,286330	3,410842	3,536960	3,664683	3,794011	3,924945	4,057484	4,191629	4,327379	4,464734	4,603695	4,743966
Níveis Superiores:	3,647986	3,806081	3,966355	4,128808	4,293440	4,460251	4,629241	4,800410	4,973757	5,149283	5,326988	5,506872	5,688935	5,873177	6,059597	6,248197	6,438997
Espresso																	
Posição																	
Casco																	
Fundo:	4,022183	3,988530	3,953894	3,917674	3,880471	3,842085	3,802516	3,761763	3,719827	3,676708	3,632406	3,586921	3,540252	3,492400	3,443364	3,393146	3,341847
Lateral:	2,728575	2,705745	2,682113	2,657678	2,632440	2,606400	2,579557	2,551911	2,523462	2,494211	2,464157	2,433301	2,401641	2,369179	2,335915	2,301847	2,267074
Deck:	2,728575	2,705745	2,682113	2,657678	2,632440	2,606400	2,579557	2,551911	2,523462	2,494211	2,464157	2,433301	2,401641	2,369179	2,335915	2,301847	2,267074
Posição do Painel																	
Frente:	1,656147	1,642291	1,627947	1,613116	1,597797	1,581992	1,565699	1,548919	1,531652	1,513897	1,495656	1,476927	1,457711	1,438007	1,417817	1,397139	1,376074
Lateral com caminhada:	2,728575	2,705745	2,682113	2,657678	2,632440	2,606400	2,579557	2,551911	2,523462	2,494211	2,464157	2,433301	2,401641	2,369179	2,335915	2,301847	2,267074
Lateral sem caminhada:	1,171073	1,161275	1,151132	1,140645	1,129813	1,118637	1,107116	1,095251	1,083041	1,070487	1,057588	1,044345	1,030757	1,016825	1,002548	0,987927	0,972977
Final da popa:	1,171073	1,161275	1,151132	1,140645	1,129813	1,118637	1,107116	1,095251	1,083041	1,070487	1,057588	1,044345	1,030757	1,016825	1,002548	0,987927	0,972977
Topo 1:	2,728575	2,705745	2,682113	2,657678	2,632440	2,606400	2,579557	2,551911	2,523462	2,494211	2,464157	2,433301	2,401641	2,369179	2,335915	2,301847	2,267074
Topo 2:	2,728575	2,705745	2,682113	2,657678	2,632440	2,606400	2,579557	2,551911	2,523462	2,494211	2,464157	2,433301	2,401641	2,369179	2,335915	2,301847	2,267074
Níveis Superiores:	3,703258	3,672274	3,640199	3,607036	3,572783	3,537441	3,501009	3,463488	3,424877	3,385177	3,344387	3,302508	3,259540	3,215482	3,170335	3,124098	3,076770

Fonte: Elaborado pelo autor.