

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**VILMAR SIMIONATTO JUNIOR**

**PROJETO DE UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO PELO PROCESSO DE  
PULTRUSÃO DE PERFIS EM “U” DE COMPÓSITO POLIMÉRICO PARA  
UTILIZAÇÃO EM ESCADA DE ENCOSTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2019**

**VILMAR SIMIONATTO JUNIOR**

**PROJETO DE UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO PELO PROCESSO  
DE PULTRUSÃO DE PERFIS EM “U” DE COMPÓSITO POLIMÉRICO  
PARA UTILIZAÇÃO EM ESCADA DE ENCOSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dra. Maria Nalu Verona Gomes

PATO BRANCO

2019

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Projeto de uma Matriz para Produção pelo Processo de Pultrusão de Perfis em “U” de Compósito Polimérico para Utilização em Escada de Encosto

Vilmar Simionatto Junior

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 29/11/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Valdir Celestino da Silva  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Profa. Dra. Maria Nalu Verona  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, amigos e namorada que auxiliaram durante o processo de construção deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus, que me deu energia e benefícios para concluir este trabalho.

Agradeço aos meus pais que me incentivaram a concluir meu aprendizado comemorando cada matéria concluída e dando força para não desistir.

A minha família, que esteve sempre presente dando força e apoiando sempre que precisava.

A minha namorada, Giana Rachinski D'Agostini, que me acompanhou boa parte da faculdade. Sabendo que eu ia demorar dez anos pra me formar, sempre ao meu lado, me empurrando.

Também agradeço aos meus amigos que apesar de sempre brincarem comigo que ia demorar pra me formar, mas sempre estavam dando apoio.

E, por último, mas não menos importante, agradeço a minha orientadora pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

## EPÍGRAFE

“Tudo o que está no plano da realidade, já foi sonho um dia.”

Leonardo da Vinci

## RESUMO

SIMIONATTO JUNIOR, Vilmar. Projeto de uma matriz para produção pelo processo de pultrusão de perfis em “U” de compósito polimérico para utilização em escada de encosto. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de projetar uma matriz para produção de um perfil “U” de compósito polimérico pelo processo de pultrusão para utilização em escadas de encosto. A grande utilização de escada móvel em diversos setores faz com que sejam estudados novos materiais, trazendo mais praticidade e segurança. Por meio de uma definição do material do perfil da escada e o dimensionamento dele, foi determinada a matriz apropriada com a produção do perfil com uma melhor qualidade. A escada foi dimensionada seguindo a norma NBR 16308/2014 e o desenho realizado com auxílio do software SolidWorks. A simulação da escada no SolidWorks apresenta uma resistência até 160 Kgf, desde que utilizada conforme a norma.

**Palavras-chave:** Pultrusão. Perfis. Matriz. Escada de Encosto. Compósito.

## **ABSTRACT**

SIMIONATTO JUNIOR, Vilmar. Project of a matrix for production by pultrusion of “U” shaped polymeric composite to be utilized in ladders. 2019. Undergraduate Thesis – Mechanical Engineering Course, Universidade Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

This thesis was developed with the purpose of projecting a matrix that is used on the production of a “U” shaped polymeric composite by pultrusion to be utilized on ladders. The great use of mobile ladders on several sectors create a demand to study new materials, bringing more practicality and security. By defining the material of the ladder shape and its sizing, was determined the appropriate matrix with the production of an outline of better quality. The ladder was scaled following the NBR 16308/2014 standards and the drawing was made with the help of the software SolidWorks. The simulation on SolidWorks verified the resistance of 160 Kgf of the ladder, as long as it is used by the NBR standards.

Keywords: Pultrusion, Shapes, Matrix, Ladder, Composite.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de pultrusão .....	17
Figura 2 - Seção de perfis .....	18
Figura 3 - Tensão x deformação do aço, concreto, ferro fundido, madeira e FRP ....	19
Figura 4 Influência dos elementos de alumínio, cromo e molibdênio (aço Nitralloy 135M) na profundidade e dureza de camada nitretada .....	23
Figura 5 - Extratores de perfil para pultrusão .....	32
Figura 6 - Estado de cura do perfil .....	33
Figura 7 - Temperatura da matriz ao longo da sessão.....	34
Figura 8 - Escada de encosto de um lance com degraus estreitos .....	37
Figura 9 Etapas do desenvolvimento do trabalho .....	39
Figura 10 - Dimensões do perfil .....	43
Figura 11 - Raio de entrada da matriz.....	44
Figura 12 - Trilho guia da matriz.....	45
Figura 13 – Distribuição de temperatura da matriz.....	46
Figura 14 - Posicionamento das hastes de aquecimento na matriz .....	47
Figura 15 - Locais de aplicação do cromo duro na matriz.....	48
Figura 16 - Escada de encosto.....	49
Figura 17 - Região sob tensões na escada de encosto .....	50
Figura 18 - Deslocamento equivalente da escada .....	51
Figura 19 - Tensão de cisalhamento ao longo da estrutura da escada.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência dos aços .....	20
Tabela 2 - Comparação das resinas para a pultrusão.....	27
Tabela 3 - Formulações de Resinas.....	28
Tabela 4 - Condições de pultrusão.....	28
Tabela 5 - Resultado das amostras das resinas .....	29
Tabela 6 - Vida útil dos catalizadores na pultrusão .....	30
Tabela 7 - Propriedades da resina TECAMID 66/X GF50 Black .....	31
Tabela 8 - Dimensões da matriz de pultrusão .....	32
Tabela 9 - Dimensões funcionais de escadas de encosto com degraus estreitos ....	38
Tabela 10 - Propriedades das resinas de poliéster e éster vinílico .....	40
Tabela 11 - Dimensões máximas e mínimas da escada de encosto.....	41
Tabela 12 - Propriedades dos materiais do perfil .....	41
Tabela 13 - Temperatura e posição das hastes de aquecimento na matriz .....	47
Tabela 14 - Propriedades dos materiais do perfil .....	49

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	-
AISI	American Iron & Steel Institute (Instituto Americano do Ferro e do Aço)	-
CNC	Computer Numeric Control (Controle Numérico Computadorizado)	-
CSM	Polietileno Cloro Sulfonado	-
FEPA	Federation of European Producers of Abrasives Products (Federação Europeia de Produção de Produtos Abrasivos)	-
FRP	Fiber Reinforced Polymer (Fibra de Vidro Reforçado)	-
HB	Hardness Brinell (Dureza Brinell)	HB
HRC	Hardness Rockwell C (Dureza Rockwell C)	HRC
WR	Woven Roving (Fios de Fibra de Vidro)	-

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo Principal .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 PULTRUSÃO .....	17
2.2 PROJETO DE PERFIL .....	18
2.3 MATRIZ PARA PULTRUSÃO DE COMPOSITO POLIMÉRICO .....	19
2.3.1 Aços .....	20
2.3.1.1 Aço AISI 4140 .....	21
2.3.1.2 Aço AISI P20 .....	21
2.3.1.3 Aço AISI 4340 .....	21
2.3.2 Tratamentos térmicos superficiais .....	22
2.3.2.1 Nitretação .....	22
2.3.2.2 Revestimento cromo duro por imersão .....	23
2.4 MODELAGEM DA MATRIZ .....	24
2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS .....	24
2.5.1 Tipo de Resinas .....	26
2.6 EXTRAÇÃO DO PERFIL .....	31
2.7 TEMPERATURA DE CURA .....	33
2.8 ÂNGULO DE ENTRADA DA MATRIZ .....	35
2.9 USINAGEM .....	35
2.9.1 Usinagem de desbaste .....	36
2.9.2 Usinagem da superfície (retificação) .....	36
2.9.3 Polimento .....	36

2.10 ESTRUTURA DA ESCADA.....	37
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
3.1 DEFINIÇÃO DA RESINA DO COMPÓSITO UTILIZADO NO PERFIL DA ESTRUTURA .....	39
3.2 DEFINIÇÃO DO PERFIL.....	40
3.3 PROJETO DA MATRIZ DE PRODUÇÃO DO PERFIL.....	40
3.4 PROJETO E SIMULAÇÃO ESTRUTURAL DA ESCADA.....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
4.1 DEFINIÇÃO DA RESINA DO MATERIAL DO PERFIL DA ESTRUTURA.....	42
4.2 DEFINIÇÃO DO PERFIL.....	43
4.3 MATRIZ DE PRODUÇÃO DO PERFIL.....	43
4.4 PROJETO DE ESTRUTURA DA ESCADA E SIMULAÇÃO ESTRUTURAL.....	48
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE A – PERFIL “U” E ESCADA.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B – MATRIZ DE PULTRUSÃO.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para a evolução do ser humano foi necessário aprender a realizar diferentes processos mecânicos de forma que a matéria prima pudesse ser transformada em um produto final acabado com mais qualidade e eficiência.

Desta forma, os processos surgiram para melhorar a qualidade de produção do produto e aumentar o seu rendimento. Com o desenvolvimento da engenharia cresceram os setores de metalurgia física e conformação mecânica, fazendo com que, assim, o setor industrial entrasse em outro ritmo de técnicas de produção.

Com a evolução dos processos de produção, novos materiais e métodos foram criados. O estudo dos polímeros cresceu a partir do momento em que foi vista a possibilidade de criar um material de alta resistência a corrosão, fácil manuseio e baixo custo relacionado a sua resistência mecânica (SUMMERSCALES, 1994).

Desde para construção civil, indústria metal mecânica, indústria automobilística e demais setores, perfis são altamente utilizados por possuir alta resistência mecânica. Com diversas usabilidades, os perfis podem ser usados em área estrutural do tipo pilares, armações indústrias, cantoneiras, entre outras. Os mais utilizados usualmente são os do tipo U, I, H, W, T (TETRAFERRO, 2019).

A pultrusão é um processo que consiste em puxar fibras dos polímeros, (principalmente de poliamida) com resina líquida por uma matriz a alta temperatura, ligando os materiais e formando um perfil contínuo. O produto final em forma de perfil varia conforme a necessidade ou o propósito desejável (MEYER, 1985).

Para a produção das matrizes de pultrusão deve-se levar em conta principalmente o perfil desejado e subsequente o material do perfil. O melhor desempenho de uma matriz ocorre quando possuir o menor nível de rugosidade e alta resistência ao desgaste com boa transferência de calor.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Principal

Esse trabalho tem por objetivo projetar uma matriz para a produção pelo processo de pultrusão de perfis em “U”, de polímero reforçado com fibra de vidro, que possa ser utilizado na fabricação de escada de encosto de um lance com degraus estreitos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o assunto;
- Definir o material do perfil;
- Definir e desenhar o perfil;
- Dimensionar a matriz ideal para o perfil;
- Dimensionar e simular a resistência de uma escada de encosto de um lance com degraus estreitos com o perfil definido;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente o perfil “U” vem sendo utilizado em vários setores. Na construção civil para estruturas metálicas, coberturas, vigamentos, escoramentos. No setor de máquinas, para equipamentos de transporte e implementos agrícolas.

Os perfis em “U” mais utilizados são produzidos em aço pelos processos de laminação a quente, laminação a frio, forjamento, corte, embutimento e dobramento.

No entanto, esses perfis de aço apresentam alta densidade ( $7,87 \text{ g/cm}^3$ ), o que ocasiona um grande peso dos perfis, além destes apresentarem baixa resistência a corrosão (CALLISTER, 2008). Para resolver esse problema, em determinadas aplicações como na área civil de projetos estruturais, o perfil de aço vem sendo substituído por perfil de polímeros que apresentam menor densidade, maior resistência a corrosão e podem apresentar melhor custo/benefício.

A pultrusão é um processo muito utilizado para produtos de seções transversais contínuos utilizando polímeros reforçados. Este processo possui baixo

custo de investimento, baixa manutenção e o operário não necessita de treinamento específico ou experiência de trabalho, comparando ao processo de extrusão de polímeros.

O material da matriz escolhido pode determinar a durabilidade e sua resistência mecânica. Os processos de usinagem podem influenciar na rugosidade da mesma, e com o auxílio de outros processos termoquímicos podem aumentar a vida útil e obter baixos níveis de rugosidade (CALLISTER, 2008).

A utilização de escadas de encosto para elevação de níveis em vários setores sempre foi alta, por isso, foram desenvolvidos novos materiais para utilização em escadas, facilitando o transporte, ampliando o nível de segurança e praticidade na montagem da mesma.



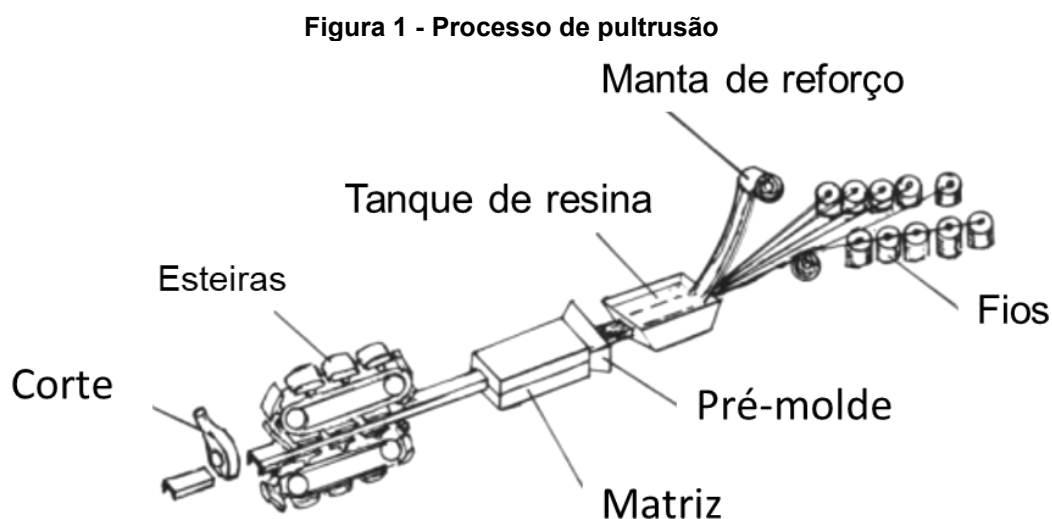
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PULTRUSÃO

Um dos primeiros a desenvolver e aperfeiçoar a técnica de pultrusão foi Brandt Goldsworthy na década de 50. A partir dos anos 60 criaram-se incentivos para o uso de peças pultrudadas pela ampla quantidade de aplicação da técnica (STARR, 2000).

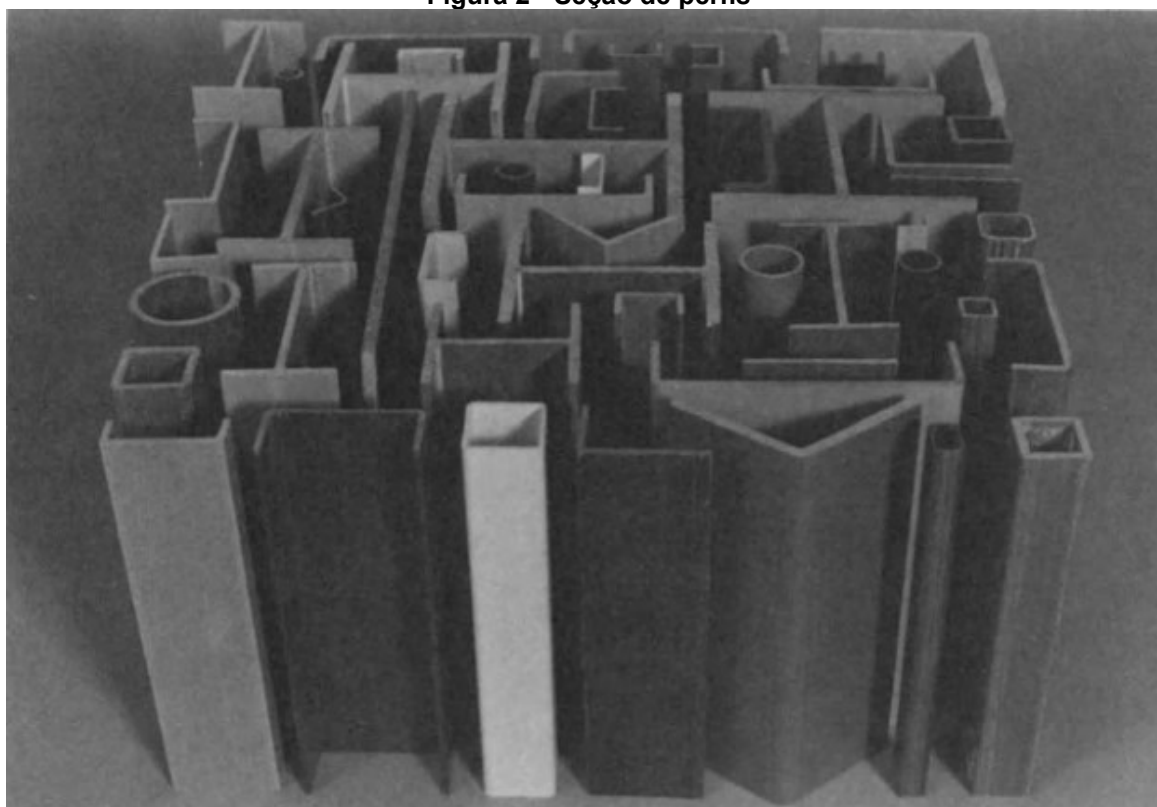
A pultrusão é um processo contínuo de compósitos reforçados. É altamente atrativo por necessitar de pouca mão de obra, custo baixo de produção, boa qualidade sem necessidade de acabamento antes da entrega do produto, e alta conversão de matéria-prima em produto final (STARR, 2000).

O processo de pultrusão, mostrado na Figura 1, consiste em puxar por meio de esteiras (“puller”) os fios a base de fibra de vidro (“roving”) que passam pela imersão em um banho de resina (“resin tank”) e em seguida entram em um pré-molde (“preforming fixture”) retirando o excesso de resina e ar. Em alguns produtos é utilizado uma manta de reforço (“mat reinforcement”) para dar mais resistência mecânica. Por fim entram no molde final (“heated die”) com temperatura decrescente onde adquire a forma final desejada até ocorrer a cura completa (MEYER, 1985).



**Fonte: Adaptada de MEYER 1985.**

O processo permite fabricar peças de seção transversal constante. As peças produzidas possuem formas variadas como as mostradas na Figura 2.

**Figura 2 - Seção de perfis****FONTE: MEYER, 1985.**

As formas variadas dos perfis produzidos por pultrusão apresentam baixa variação dimensional, o que permite a utilização em diversas áreas e variados produtos como mastros de bandeira, varas de pesca, escadas, perfis retangulares e triangulares usados na construção civil (STARR, 2000).

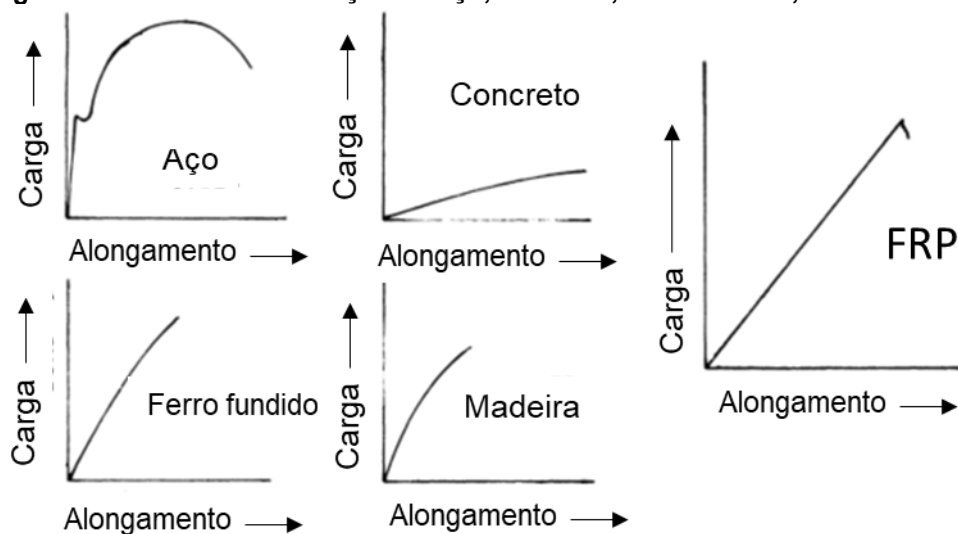
## 2.2 PROJETO DE PERFIL

Ao projetar perfis laminados pultrudados é importante considerar seu fator geométrico, pois os materiais de FRP contém relações distintas dos materiais comuns como metais, madeira e concreto (STARR, 2000).

A deformação que uma estrutura está sujeita depende da magnitude da força aplicada. Esta relação é conhecida como lei de Hooke. Isto é, a força unitária aplicada é diretamente proporcional a deformação (CALLISTER, 2008). Esta força usada nos aços e ligas de alumínio podem ser comparados com os FRP (MEYER, 1985).

A Figura 3 apresenta os gráficos de tensão deformação de aço, ferro fundido, concreto, madeira e FRP.

**Figura 3 - Tensão x deformação do aço, concreto, ferro fundido, madeira e FRP**



**FONTE: Adaptado de STARR, 2000.**

Verifica-se, na Figura 3 que para o FRP não apresenta zona plástica como no aço, então pode-se dizer que a tensão aplicada é diretamente proporcional a sua carga até a ruptura (STARR, 2000).

### 2.3 MATRIZ PARA PULTRUSÃO DE COMPOSITO POLIMÉRICO

As matrizes utilizadas no processo de pultrusão, possuem a forma de canais em blocos metálicos de aços e outras ligas, por onde flui os polímeros para a fusão através de aquecimento por resistência. As matrizes geram uma variação de temperatura durante o processo para ocorrer a total cura do perfil, sendo assim, é considerado um processo de produção em série. Os formatos das peças pultrudadas podem apresentar várias geometrias, desde que a seção transversal seja constante (MEYER, 1985).

A diversidade de técnicas de fabricação de uma matriz pode variar conforme a natureza da situação. A seleção de modelo de usinagem, complexidade da forma e especificações de desempenho das propriedades mecânicas, impactam diretamente no custo de produção. Sendo assim é necessário selecionar o processo que melhor satisfaz as exigências para determinado componente ou aplicação (STARR, 2000).

Para realizar o projeto de matriz de polímero pelo processo de pultrusão é necessário determinar o formato e as dimensões de perfil que se deseja produzir,

levando em consideração o tipo e as características reológicas do polímero a ser utilizado. Cada perfil escolhido depende de um tamanho de matriz, sendo assim deve-se analisar seu índice de esbeltez para que não ocorra problemas pós-produção (MANRICH, 2005).

### 2.3.1 Aços

Aços ferramentas podem ser utilizados para a produção de um molde de pultrusão, mas a utilização de um aço relativamente duro é indicada para compensar a ação abrasiva e a força aplicada pra puxar a fibra de vidro. Para ter uma alta resistência mecânica superficial e baixa rugosidade é realizado um tratamento térmico superficial ou um revestimento de cromo duro para fornecer serviço satisfatório (MEYER, 1985).

Moldes utilizados para conformação de plásticos são normalmente de razoável complexidade. Para aplicações onde a cavidade da usinagem é relativamente simples, deve-se considerar a possibilidade de usar aços com beneficiamento entre 26-34 HRC. O limite para utilização dos aços é associado a capacidade de usinagem, especialmente considerando a boa temperabilidade destes aços (SILVA; MEI, 1988).

Os principais tipos de aços ferramentas comumente utilizadas para a produção do molde de pultrusão exibindo suas típicas composições estão mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resistência dos aços**

AISI	Valores em % dos elementos de liga						Dureza HRC	Resistência		Unidade de custo <sup>3</sup>
	C	Cr	Mn	Mo	Si	Outros		Desgaste <sup>1</sup>	Dureza <sup>2</sup>	
4140	0,40	1,00	0,90	0,20	0,30		28	Razoável	Bom	1,00
P20	0,35	1,70	0,80	0,40	0,50	0,40V	30	Bom	Muito Bom	1,25
P20 HH	0,12	0,50	1,50	0,25	1,00	4,0Ni	40	Muito Bom	Razoável	1,60
A2	1,00	5,00	1,00	1,00	0,50	1,0V	30/60	Excelente	Razoável	1,85
D2	1,50	12,00	0,35	1,00	0,45	0,80V	30/60	Excelente	Muito Bom	2,30
H13	0,40	5,00	0,40	1,30	1,00	1,0V	47	Muito Bom	Razoável	2,10
440C	1,00	17,50	-	0,50	4,50	0,50Ni	56	Muito Bom	Muito Bom	2,50

AISI = American Iron & Steel Institute. Compare % alloy elements for other country specifications.

Rockwell (Rc) hardness values show as received and heat treated values for A2 and D2.

<sup>1</sup>Crossed cylinder wear test.

<sup>2</sup> Charpy C-notch Impact test.

<sup>3</sup> Based on 50x152x100mm<sup>3</sup> (2"x6"x40") ground top and bottom/saw cut sides steel segment.

**FONTE: Adaptado de STARR, 2000.**

### 2.3.1.1 Aço AISI 4140

O aço AISI 4140, é um aço cromo-molibdênio, pois a adição de cromo (Cr) aumenta a resistência à corrosão, oxidação, dureza e melhora a resistência ao desgaste a baixas e altas temperaturas. A adição de molibdênio (Mo) aumenta a profundidade de têmpera, resistência a corrosão, dureza, resistência a quente e ajuda a diminuir o crescimento de grão (TEDESCO, 2007).

Após a usinagem do aço forjado AISI 4140 pode ser realizado um tratamento térmico aonde que permite obter uma dureza entre 28 - 30 HRC (MEYER, 1985).

### 2.3.1.2 Aço AISI P20

O aço AISI P20 é uma liga normalizada segundo a ASTM A681 que pode ser utilizada após a usinagem onde se tem uma dureza entre 270 a 321 HB. A faixa de dureza depende da empresa distribuidora e das normas ASTM A370 (AÇO ESPECIAL, 2019).

Além disso, o Aço AISI P20 costuma ser de fácil usinagem e baixo custo de manutenção. Tem boa resistência ao impacto e alta polibibilidade (característica fundamental para seleção do material para fabricação de moldes e matrizes plásticos), mas possui razoável texturização (processo fotoquímico para se obter formatos particulares no metal gerando a textura do desenho característico) surgindo a necessidade de processos de polimento após usinagem (AÇO ESPECIAL, 2019).

### 2.3.1.3 Aço AISI 4340

O aço AISI 4340 é do tipo aço ligado ao cromo-níquel-molibdênio, com elevada temperabilidade, alta resistência a fratura, alta resistência mecânica, baixa usinabilidade e baixa soldabilidade. Sua faixa de dureza pode ser fornecida até 260 HB (AÇOSPORTE, 2019).

O aço AISI 4340 é um aço que vem sendo utilizado em diversas aplicações na indústria por ter várias combinações de propriedades. É utilizado em sistemas mecânicos, principalmente em estruturas mecânicas na qual precisa homogeneidade de dureza ao longo da seção. Sua combinação de uma boa resistência mecânica,

resistência a fratura e resistência a fadiga, faz com que sejam aplicadas em: eixos, engrenagens, colunas e cilindros (GGD METALS, 2019).

### 2.3.2 Tratamentos térmicos superficiais

“Tratamento térmico são operações de aquecimento e resfriamento subsequente, dentro de condições controladas de temperatura, tempo à temperatura, ambiente de aquecimento e velocidade de resfriamento.” (CHIAVERINI, 1986. p. 240). Tem-se como objetivo adquirir propriedades mecânicas, tais como resistência à corrosão, resistência ao calor, propriedades elétricas etc. Estas propriedades dependem da estrutura em que o material se dispõe. Deste modo um meio seguro de controlar essa estrutura é aplicando um tratamento térmico (CHIAVERINI, 2008).

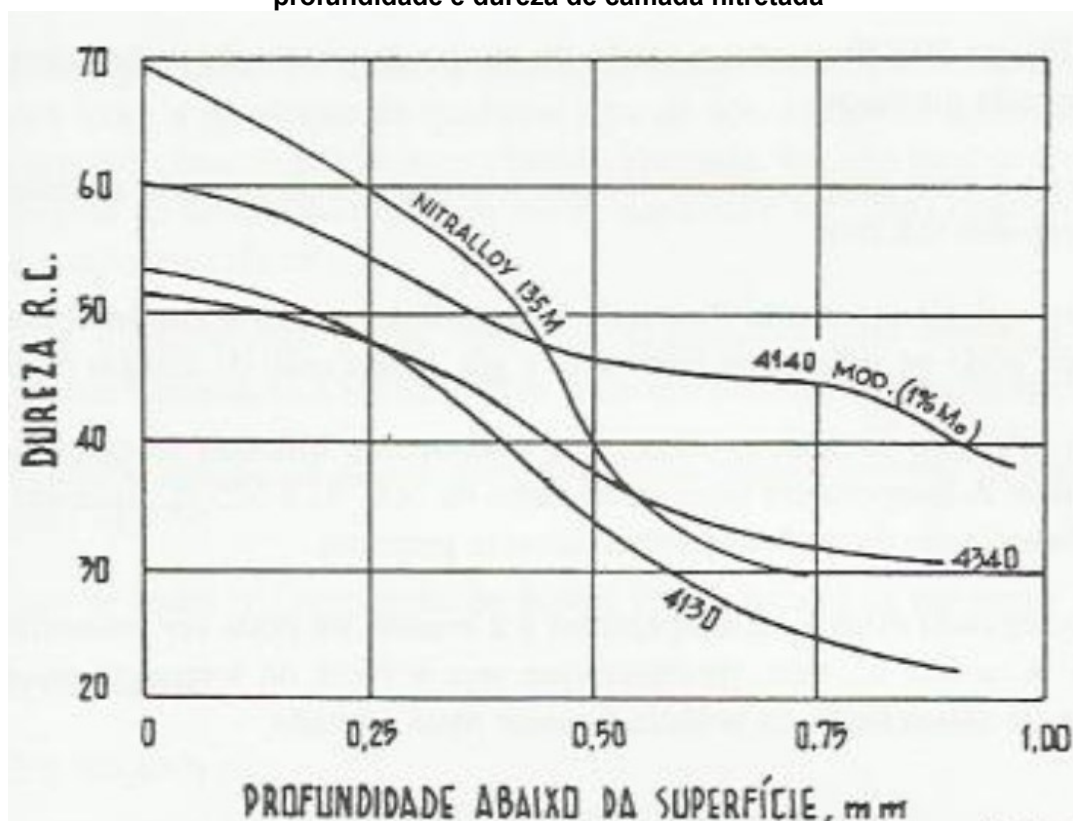
Os tratamentos térmicos superficiais são aplicados somente na superfície em que deseja obter resistência ao desgaste e a resistência abrasiva, por possuírem alto valor de aplicação. Recomendam-se tratamentos superficiais como, cementação, têmpera superficial e nitretação.

#### 2.3.2.1 Nitretação

A nitretação é adequada para aplicação em moldes e matrizes. É um processo termoquímico, onde ocorre o endurecimento superficial por nitrogênio, o qual é difundido a partir da superfície, reagindo com os elementos da peça formando nitretos de elevadas durezas. A nitretação produz uma camada superficial inicial muito fina de 0,025 mm, que apesar de não ter elevada dureza possui boa resistência ao desgaste e à corrosão. Após isso, vem a camada de alta dureza constituída de nitreto de ferro, elementos de liga presentes e de compostos Fe-C-N, onde sua dureza e camada dependem do tipo de aço e dos elementos de ligas presentes (CHIAVERINI, 2008).

A Figura 4 apresenta a influência dos elementos de liga na realização de nitretação, para o ensaio de dureza com os aços Nitralloy 135M, AISI 4130, AISI 4340, AISI 4140 1%Mo (CHIAVERINI, 2008).

Figura 4 Influência dos elementos de alumínio, cromo e molibdênio (aço Nitralloy 135M) na profundidade e dureza de camada nitretada



FONTE: Adaptado de CHIAVERINI, 2008.

Podemos observar na Figura 4 que aços com alumínio, cromo e molibdênio, em teores elevados, formam camadas finas, mas relativamente duras. Aços que possuem menos elementos de liga também formam camada duras, porém com menor espessura.

### 2.3.2.2 Revestimento cromo duro por imersão

Revestimento de cromo duro ou cromagem é um processo de eletrodeposição, ou seja, processo eletrolítico de revestimento de superfícies em metais (DYNACHROME, 2018). Neste processo a peça a ser cromada é colocada em um tanque com uma solução de água e sais ou hidróxidos do metal a ser depositado (cromo hexavalente) junto com alguns aditivos (ácido bórico) e eletrodos, então o metal é depositado na superfície da peça (STEVESPLASTING, 2018).

A espessura do revestimento pode variar de 0,00127 mm a 0,635 mm com uma dureza de aproximadamente 40 HRC. Antes da realização da cromagem, é determinada a espessura da camada depositada para não ocorrer erros de projeto,

pois o cromo é depositado sobre a superfície de contato, sendo assim, ocorrendo alteração dimensional interferindo nas dimensões finais do perfil (MEYER, 1985).

Durante a aplicação do processo de revestimento de cromo duro pode ocorrer fragilização por hidrogênio sendo, neste caso, necessário um recozimento posterior para minimizar o problema (PROCESSING CHEM INC, 2018). A fragilização por hidrogênio ocorre devido a infiltração de gases ou átomos de hidrogênio na superfície da peça que reagem com o material tornando mais frágil e propenso a trincas (TOMACHUK e JANSEN, 2008).

## 2.4 MODELAGEM DA MATRIZ

Embora a importância dos fatores de custo e arrasto por fricção não podem ser omitidos, a modelagem depende principalmente das dimensões da matriz. Geralmente quanto mais longa a matriz, mais fácil é o processo de aplicação, o processo de zoneamento de temperatura é mais preciso e, por sua vez a velocidade de processamento aumenta (STARR, 2000).

Comprimentos entre 900 mm e 1000 mm são atribuídas como um limite máximo e matrizes curtas com no mínimo 200 mm podem ser adaptadas se as condições de aquecimento e resfriamento se adequarem ao projeto. Por outro lado, a velocidade do processo é severamente modificada e seu benefício vai depender da prototipagem ou qualificação dimensional. Quando economicamente justificado por causa do volume de produção em alta escala, comprimentos de 1500 mm podem ser utilizados (STARR, 2000).

Geralmente, matrizes são fabricadas a partir de duas ou mais partes, de tolerância próxima e de aço ferramenta usinado formando ambas as metades da matriz (superior e inferior) que, quando montadas juntas, criam uma cavidade paralela mostrando uma tolerância de 0,05 mm ou menor ao longo de todo o seu comprimento (STARR, 2000).

## 2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

O desenvolvimento da fibra tem acelerado desde a década de 1950 com a introdução de granulações variadas de vidros para aumentar a resistência mecânica. A tecnologia do processamento têxtil fez com que fossem criadas as fibras de vidro



transformando-as em uma grande variedade de tecidos, que foram levados para o mercado em forma de Polietileno Cloro Sulfonado (CSM) e fios de fibra de vidro (“woven roving” - WR). Após, foram feitas combinações de fitas multidirecionais costuradas (CSM-WR) (SUMMERSCALES, 1994).

“As fibras de vidro são silicatos com conteúdo de agentes modificadores que são usados visando redução de temperaturas necessárias para se atingir viscosidades adequada para produzir fibras além de agentes silanos que compatibilizam com diversas matrizes termoplásticas” (SANTOS, 2006, p. 20).

Segundo Santos (2006) a produção de fibra de vidro envolve a combinação dos reagentes (fonte de borato – Bórax, sílica volatizada, caulim, dolomita e soda em pó), ocorrendo a fusão entre 1200 a 1400° C. Após a fusão são extrudados e recobertos por agentes silanos que protegem da abrasão e defeitos superficiais. Posteriormente enrolados em rolos para aplicações variadas dependendo do mercado.

Os plásticos reforçados com fibra de vidro são os mais utilizados na indústria automobilística, aeronáutica, naval e civil. Sua resistência mecânica, química e a temperatura tornam-se bem aplicadas pelo seu baixo custo. Em busca de estruturas mais leves, resistentes e rígidas, a fibra de vidro tem sido aplicada em um número cada vez maior de produtos pela indústria. As fibras de carbono e poliamida foram introduzidas posteriormente, pelo avanço da tecnologia, porém o seu elevado custo ainda não o tornou viável em certas ocasiões (SUMMERSCALES, 1994).

Compósitos poliméricos podem apresentar matriz de termoplásticos ou termorrígidos, sendo que sua diferença está no comportamento quando estão sujeitos a alta temperatura. Os termoplásticos são polímeros capazes de se tornarem fluidos a altas temperaturas e sólidos a baixas temperaturas, possibilitando assim serem moldados várias vezes. “Por outro lado, os termorrígidos não se tornam fluidos devido a presença de ligações macromoleculares (reticulação)” (Santos, 2006, p. 13).

Polímeros termorrígidos são utilizados para uso estrutural por possuírem elevada rigidez, estabilidade térmica, dimensional, boa resistência a fluência e a deformação sob carregamento. As resinas termorrígidas comumente utilizadas em compósitos são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas, os quais são usadas na composição com as fibras de vidro. Resinas epóxi são muito utilizadas na indústria aeroespacial por possuir melhores propriedades mecânicas e resistência a umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas. Porém os

polímeros termorrígidos são materiais frágeis podendo romper com facilidade, por não possuir escorregamento de cadeia antes da fratura (SANTOS, 2006).

### 2.5.1 Tipo de Resinas

Resinas termoplásticas fluem facilmente sob tensão em baixas temperaturas, podendo assim ser fabricadas na forma solicitada e mantendo a forma quando resfriada a temperatura ambiente. Esses polímeros são usualmente utilizados através da reciclagem dos mesmos (SANTOS, 2006).

O tipo de poliéster usado nos sistemas de FRP é altamente reativo com elevada rigidez e contendo muita insaturação. De fato, uma das resinas mais populares usadas para peças automotivas (MEYER, 1985).

Resinas de poliéster (ortoftálicas e isoftálicas) são utilizadas em aproximadamente 90% de todas as partes pultrudadas (MEYER, 1985).

Todas as resinas de poliéster contêm inibidores para fornecer vida útil durante o armazenamento e transporte. Em algumas resinas é possível melhorar as velocidades de pultrusão, reduzindo ou removendo esses inibidores. É preciso perceber que isso reduz a vida útil de armazenamento da resina (MEYER, 1985).

Resinas éster vinílica possuem alta resistência química, alto grau de resiliência e propriedades físicas superiores aos poliésteres e ao epóxi (MEYER, 1985).

A resina em um composto de plástico reforçado fornece a resistência química. Se ocorrer uma falha química, geralmente a resina que é atacada. Em ambos os poliésteres e no vinil ésteres, essa falha ocorre na ligação éster, que normalmente é hidrolisado, sendo assim tornando o corpo principal da molécula inalterada. As resinas éster de vinil geralmente custam 25 a 35% a mais que as resinas de poliéster não saturadas (MEYER, 1985).

As resinas epóxi possuem boas propriedades elétricas, químicas e térmicas. Eles apresentam encolhimento muito baixo durante a cura e proporciona boa adesão a uma variedade de superfícies e materiais. O epóxi do tipo bisfenol-A / epicloridrina é usada na maioria dos aplicativos de FRP. As resinas epóxi devem ser curadas com endurecedores ou catalisadores para desenvolver suas propriedades desejáveis (MEYER, 1985).

Segundo MEYER (1985) a Tabela 2 faz uma comparação das resinas utilizadas no processo de pultrusão, mostrando a eficiência em alguns aspectos, como a velocidade relativa do processo e a velocidade de aderência. Assim também delimitando as características de comprimento de matriz e temperatura máxima da matriz, através das variedades das resinas.

**Tabela 2 - Comparação das resinas para a pultrusão**

Sistema	Poliéster	Ester Vinílica	Epóxi
Tipo de resina	Ácido isoftálico, Bisfenol A, Halogenação	Ester Vinílico	Epicloridrina
Volume de retração	7 - 10%	5 - 8%	1 - 6%
Velocidade de aderência	Baixo	Médio	Alto
Velocidade relativa do processo	Normal	Lento	Demorado
Dificuldade relativa de pultrusão	Normal	Mais difícil	Muito difícil
Temperatura média da matriz	135°C	150°C	205°C
Temperatura máxima da matriz	115 - 165°C	122 - 177°C	149 - 233°C
Comprimento da matriz	609,6 - 1371,6 mm	914,4 mm	609,6 mm
Viscosidade absoluta da resina	0,5 - 2,5 (N*s)/m <sup>2</sup>	0,5 - 1,5 (N*s)/m <sup>2</sup>	0,5 (N*s)/m <sup>2</sup>

**Fonte: Adaptada de MEYER, 1985.**

Acima de tudo é necessário o cálculo dimensional necessário para permitir o encolhimento da resina que ocorre na polimerização de o líquido para a condição sólida. Isso difere do sistema de resina para resina/sistema e, além disso, o grau de encolhimento pode ser afetado pela reintrodução das mantas, seu tipo, orientação e volume de fibra. Poliésteres insaturados, por exemplo, exibem um encolhimento muito maior do que o epóxi, mas aditivos que reduzem o encolhimento podem fornecer uma resposta eficaz. Normalmente, uma simples fibra unidirecional de fibra de vidro ou uma haste de resina de poliéster encolherá por cerca de 2% e se tolerâncias dimensionais estreitas são especificadas para o produto acabado, então estes valores devem ser considerados nas dimensões da cavidade da ferramenta (STARR, 2000).

A variação das proporções das resinas muda as características específicas do processo de pultrusão, sendo assim Meyer (1985) considerou várias amostras de resinas distintas conforme a Tabela 3.

**Tabela 3 - Formulações de Resinas**

	Polyester			Ester Vinílico	
	TG-270	TG-271	TG-272	Resina A	Resina B
Resina	100	100	100	100	100
Reagente Interno <sup>a</sup>	1	1	1	1	1
Agente ligante <sup>b</sup>	30	30	30	30	30
Peróxido orgânico <sup>c</sup>	1	1	1	1	2
Peróxido orgânico <sup>d</sup>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

<sup>a</sup>Zekec UM, Trademark of EI DuPont de Nemours & Co.

<sup>b</sup>ASP-400, clay filler, product of Engelhard, Minerals & Chemicals Division.

<sup>c</sup>Perkadox 16, bis-4-t-butylcyclohexylperoxydicarbonate, trademark of Akzo Chemie America.

<sup>d</sup>USP245, 2,5-dimethyl-2,5-bis(2-ethyl-hexanoylperoxy) hexane, product of US, Peroxygen Division, Witco Chemical Corp.

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

Condições uniformes dos parâmetros da formulação das resinas também interferem nos resultados da pultrusão. A formulação empregada nas resinas da Tabela 3, onde submetido as condições da máquina de pultrusão com dimensões de 124 x 3 x 910 mm. Utilizando uma camada central de manta de fibra de vidro com teor de 55% em peso (MEYER, 1985).

Resultados obtidos pela pultrusão das resinas mostrados na Tabela 4 determinam a velocidade linear do perfil submetido a resina e a temperatura máxima em que a resina se encontra durante o processo (MEYER, 1985).

**Tabela 4 - Condições de pultrusão**

	Poliéster			Ester Vinílico	
	TG-270	TG-271	TG-272	Resina A	Resina B
Velocidade Linear(mm/min)	380	380	380	380	380
Temperatura Máxima (°C)	193	201	172	193	189
Posição do da Temperatura Máxima (cm)	54,6	58,2	64,3	48,3	55,1
Temperatura de saída (°C)	167	155	150	158	149

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

Para evitar a cura prematura, nos primeiros 150 mm foram deixados sem aquecimento, enquanto nos 760 mm restantes eram aquecidas a parte superior e inferior da matriz. Na primeira seção realizada um controle de temperatura de 120° C enquanto a seção final ajustada para 135° C. Temperaturas estáveis foram tipicamente atingidas após os 5 metros puxados e as condições descritas na Tabela 4 MEYER (1985).

Dados da Tabela 5 mostram a viscosidade exercida no processo, conseqüentemente o tempo de troca de fase do material e o tempo da cura final da resina. Resultados obtidos através de sensores no interior da resina utilizando uma matriz com 910 mm de comprimento de parâmetros constantes e resinas diferentes (MEYER, 1985).

**Tabela 5 - Resultado das amostras das resinas**

		Polyester			Ester Vinílico	
		TG-270	TG-271	TG-272	Resina A	Resina B
Viscosidade	10 rpm cP/mPas	2800	2400	3000	3600	1600
	Tempo-gel (min)	1,0	1,8	1,6	1,7	1,7
SPI Teste-Gel	Tempo-cura (min)	1,6	2,7	3,1	2,4	2,4
	Temperatura máxima	213°C	159°C	140°C	180°C	217°C

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

A maioria das formulações de resina de pultrusão incluem, juntamente com o compósito de reforço, vários outros aditivos incluindo um catalizador. Os catalizadores são aplicados para acelerar o processo de cura junto com a temperatura (MEYER, 1985).

Uma ampla variedade de catalisadores de peróxido orgânico está disponível para poliéster e termoendurecíveis de éster de vinil, mas alguns são específicos para o processo de pultrusão. Por exemplo, no caso dos poliésteres insaturados, alta reatividade peróxidos são usados para ajustar o tempo de gel no processo e são chamados de iniciadores (“kicker”), mas embora se decomponham rapidamente a altas temperaturas, a quantidade de radicais livres que eles fornecem não são geralmente em quantidade suficiente para fornecer uma boa cura. Conseqüentemente, os peróxidos de reatividade ou peróxidos de acabamento (“finishing peroxides”), são frequentemente incluídos aos poliésteres insaturados

assim adequados e por fim os polímeros finalizadores que estão listados na Tabela 6. Tomados em conjunto e formulados podem fornecer uma condição composta totalmente curada dentro de 30 a 90 segundos (MEYER, 1985).

**Tabela 6 - Vida útil dos catalizadores na pultrusão**

Nome químico	Nome comercial	Oxigênio ativo (%)	Temperatura Crítica (°C)	Vida útil da resina a 20 °C com 1-2% de catalisador
<b>Peróxidos iniciadores</b>				
Bis(4-t-butylcyclohexyl) peroxydicarbonate	Perkadox 16	3,8	45	2 dias
Methyl isobutyl ketone peroxide	Trigonox HM	8,8	50	6 horas
<b>Peróxidos de media reatividade</b>				
t-Butyl peroxy-2-ethylhexonate	Trigonox 21	7	60	9 dias
Dibenzoyl peroxide	Lucidol CH-50X	3,3	70	10 dias
<b>Peróxidos de acabamento</b>				
1,1-Bis(t-butylperoxy) cyclohexane	Trigonox 22-B-50	6,2	70	21 dias
	USP245	6,7	70	21 dias
2,5-dimethyl-2,5-bis(2-ethylhexanoylperoxy) hexane				
t-Butyl peroxybenzoate	Trigonox C	8,1	80	30 dias

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

Deve ser considerado o tipo de catalizador utilizado no processo onde o mesmo define a vida útil da resina após a mistura de ambos (MEYER, 1985).

A Tabela 7 é baseada em uma poliamida parcialmente cristalina com estabilidade térmica (TECAMID 66/X GF50 black – Semiacabados). O material foi reforçado com 50% de fibra de vidro como é normalmente encontrado em produtos extrudados. Este material pode ser utilizado em temperaturas acima de 130° C aplicando altas cargas com baixíssimo empenamento (ENSINGER, 2019).

**Tabela 7 - Propriedades da resina TECAMID 66/X GF50 Black**

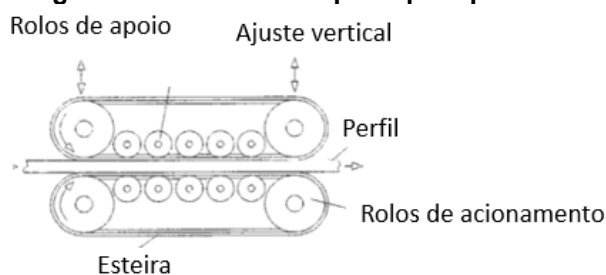
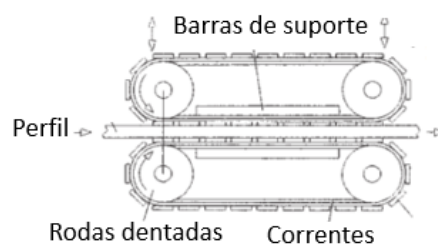
TECAMID 66/X GF50 Black - Semiacabados		
Propriedades mecânicas	Valor	Unidade
Módulo de elasticidade	8700	MPa
Resistência a tração	115	MPa
Alongamento no escoamento	2	%
Resistência a flexão	200	MPa
Módulo de compressão	6200	MPa
Temperatura de transição vítrea	78	°C
Temperatura de fusão	256	°C
Coefficiente Expansão Térmica Linear (CLTE)	4	10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>

**FONTE: Adaptada de ENSINGER, 2019.**

Com isso obtidas as características do TECAMID 66/X GF50 de alta capacidade térmica e mecânica, boa temperatura de deflexão, alta resistência a fadiga, resistência a grande variedade de óleos e alta estabilidade dimensional.

## 2.6 EXTRAÇÃO DO PERFIL

Duas versões distintas do sistema de tração (Figura 5) são empregadas, o extrator contínuo e o extrator alternativo, e existem variações de ambos. Apesar de que no uso comum de pultrusão podem ser classificadas como sendo do desenho de esteira ou garra, adaptado de mecanismos destinados principalmente a unidades de transporte extrusões termoplásticas (MEYER, 1985).

**Figura 5 - Extratores de perfil para pultrusão****Extrator de correia****Extrator tipo garra**

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

Como já considerado em ambos os projetos de extração contínua, a importância de um controle de velocidade consistente e crítico é essencial, seja qual for o sistema de acionamento escolhido. Com os desenhos mecânicos isso é normalmente respondido pelo uso de um dispositivo de feedback de loop fechado chamado tacogerador, utilizado ao motor da movimentação, assegurando condições de carga variáveis. No entanto, como os perfis podem se prender ou atolar na matriz, tem que ser possível para o motor de acionamento exercer torque máximo em zero ou baixa velocidade (MEYER, 1985).

As máquinas de pultrusão são geralmente classificadas pela largura e altura do perfil pultrudado e também, como mostrado na Tabela 8, pela força de tração que a máquina pode exercer no perfil sendo fabricado (MEYER, 1985).

**Tabela 8 - Dimensões da matriz de pultrusão**

Força de tração (Kgf)	Comprimento (mm)	Altura (mm)
3000	250	125
4000	300	160
6000	500	160
8000	750	230
12000	1000	230
24000	1300	350

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

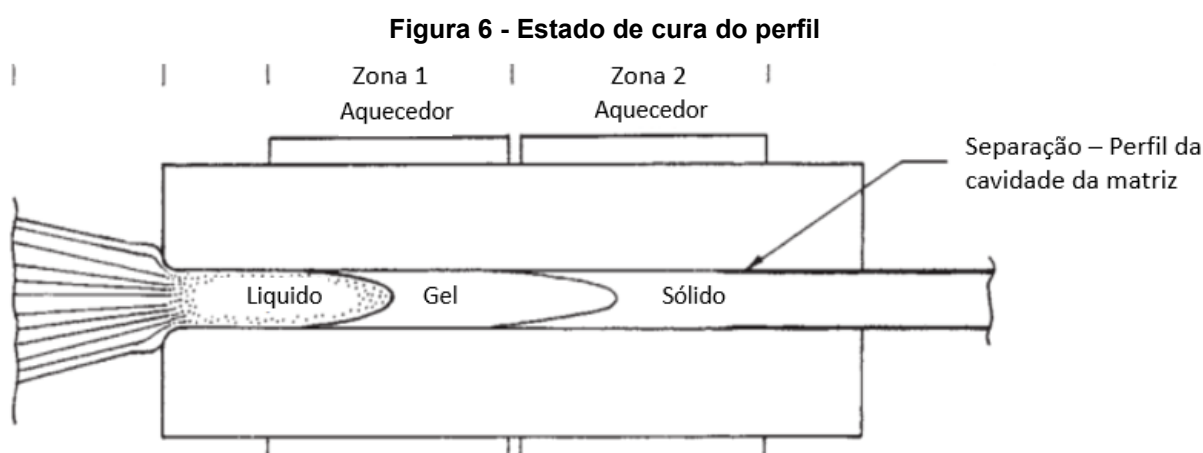


A maior parte da força de um perfil pultrudado é certamente na direção longitudinal (e cuja presença também permite o perfil a ser puxado para dentro e para fora do molde). A resistência da fibra indica a força de tração necessária e determina uma velocidade de linha desejável para a produção (MEYER, 1985).

## 2.7 TEMPERATURA DE CURA

A temperatura de cura é afetada diretamente pelo material do compósito do perfil e pela sua densidade. Consequentemente, a temperatura de cura influencia no tempo de cura que irá determinar a velocidade de produção da matriz (STARR, 2000).

O equilíbrio entre a entrada de energia e o desenvolvimento de cura para uma dada velocidade é ilustrada na Figura 6. Embora seja desejável ter a conclusão da cura na maior velocidade do processo, a posição ideal dessa reação será diferente dependendo das características da resina e da geometria do perfil (STARR, 2000).



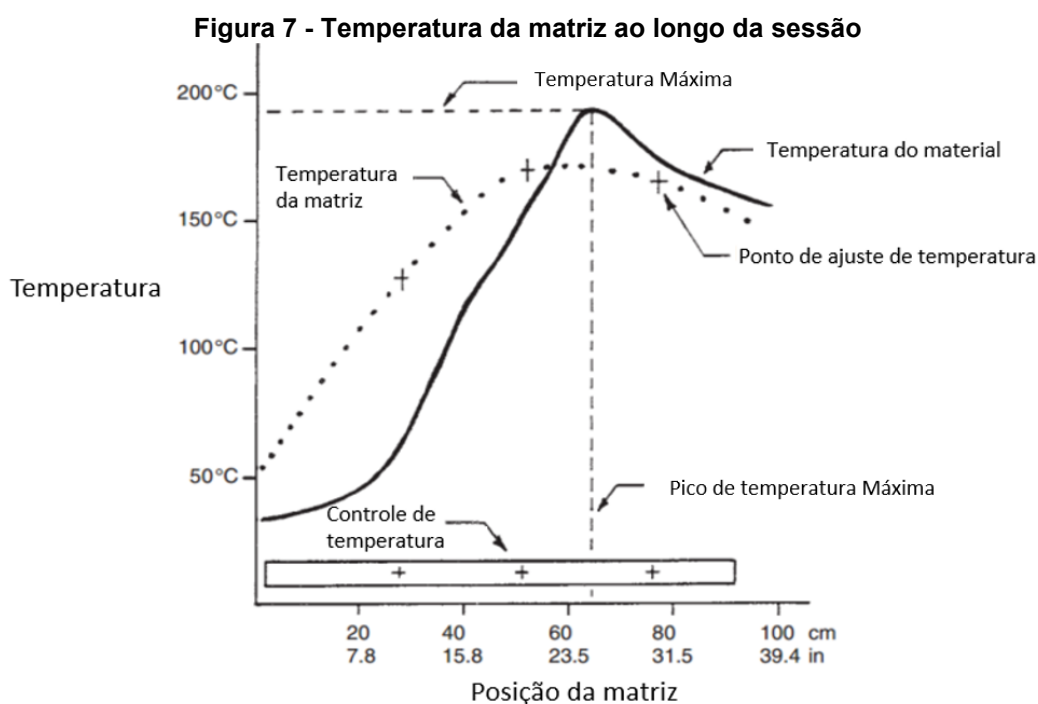
**FONTE: Adaptado de STARR, 2000.**

A indústria utiliza três tipos principais de meios de aquecimento, resistência elétrica, óleo e vapor, cada um pode ser aplicado ao molde em uma variedade de diferentes formas. O mais comum utilizado é do tipo eletricamente individual aquecido e controlado por termopares do tipo “J” ou “K” (STARR, 2000).

Em alternativa, também é comum que os moldes sejam equipados com conjunto completo de resistências elétricas, que podem ser oito ou mais. Existem vários tipos disponíveis, sendo o mais simples na forma de tiras planas aparafusadas

ou de outra forma posicionadas no cunho com grampos adequados. Estes, no entanto, nem sempre são os mais eficientes, pois pode ser difícil alcançar a superfície fechada e, portanto, o contato térmico necessário (STARR, 2000).

Os termopares empregados nas distâncias equivalentes conforme mostram a Figura 7 indicam a temperatura em função do comprimento do perfil durante o processo de pultrusão. A adição de sensores no interior da matriz mostra a variação de temperatura durante o processo e indicam a temperatura máxima da mesma (STARR, 2000).



**FONTE: Adaptado de STARR, 2000.**

Para ter uma maior velocidade de produção a matriz está sujeita a temperaturas variadas, fazendo com que o tempo de cura diminua, tornando um perfil sólido com 90% de cura no final da matriz e restando 10% finais de cura ambiente. Como também é quente, permanece brevemente em uma condição um pouco flexível permitindo um pós-cura (operação usando tipicamente um bloco de alumínio refrigerado, para garantir que a angularidade correta do todo ou de seções do perfil é alcançado) (STARR, 2000).

## 2.8 ÂNGULO DE ENTRADA DA MATRIZ

A fim de ajudar a entrada na matriz da manta de fibra de vidro molhada a resina líquida, um raio constante é usinado em todo o perfil do perímetro naquela face do lado. Um raio de entrada típico é de 6 mm, um tamanho que não sobrecarregue as fibras que constituem o reforço e tem o efeito de também gradualmente tirar a resina excedente quando se emprega em banho úmido. Muitas matrizes também possuem um raio de conicidade na entrada da matriz, que impõe uma força de compressão cada vez maior no perfil não formado, em vez de uma consolidação repentina. Ambos ajudam na remoção de qualquer ar aprisionado no interior da matriz, e também resultam em uma redução de vazios dentro do perfil (MEYER, 1985).

Recomenda-se que as matrizes tenham o raio de entrada em ambas as extremidades. Desta forma, se alguma coisa acontecer em uma extremidade a matriz pode ser girada 180° e continuar a produção. Matrizes mais complexas podem não ser tão práticas (MEYER, 1985).

## 2.9 USINAGEM

A usinagem depende excepcionalmente da geometria do material desejável, sendo assim para o processo de matriz de pultrusão é comum usar uma máquina fresadora, para dar a forma desejável do produto.

Fresamento é um processo de usinagem no qual o material é removido pelo movimento rotativo de uma ferramenta de corte. A ferramenta fresa possui arestas cortantes dispostas simetricamente em torno de um eixo, no qual o movimento de corte é gerado pela rotação da fresa. O movimento de avanço é gerado pela peça a ser usinada, que é fixada na mesa da máquina, o qual movimenta sob a ferramenta em rotação, tomando assim a geometria e dimensão desejada (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2009).

Os parâmetros de velocidade de corte, avanço e profundidade de corte afetam a taxa de remoção de material e a vida útil da ferramenta de usinagem. Alterações nesses parâmetros interferem na taxa de remoção, mas pode ocorrer um efeito mais severo na vida útil da ferramenta (TEDESCO, 2007). A análise econômica da usinagem depende de gastos de ferramenta e custos energéticos de produção.

### 2.9.1 Usinagem de desbaste

Com ferramentas de corte adequadas, uma grande quantidade de aço pode ser removida rapidamente, embora se essa quantidade removida é grande em relação à largura e profundidade do bloco que está sendo usinado, deve ser aplicado um alívio de tensão para proteger o componente de alinhamento e tolerâncias de perfil.

Ao se utilizar um tratamento térmico na matriz, os tratamentos devem ser tomados após a usinagem de desbaste e antes do polimento da superfície final. Deve também ser reconhecido que ambos podem causar um nível de distorção suficiente para isso é necessário ter que usinar o aço novamente ou até usar uma tolerância de 0,5 mm (STARR, 2000).

### 2.9.2 Usinagem da superfície (retificação)

Nesta operação, uma retificadora linear de precisão ou uma máquina CNC equipado com uma ferramenta de acabamento realiza a usinagem final. Usinagem linear constante atinge gradualmente a forma final de cada segmento da cavidade do molde, removendo entre 0,002 mm e 0,025 mm por passagem. É crítico que as superfícies da linha de partição também são mantidas ou retificadas paralelas (STARR, 2000).

### 2.9.3 Polimento

O polimento é obtido usando uma sequência de lixas abrasivas a partir de P320 grit (designação de tamanho de grão ISO / FEPA) e se movendo progressivamente até P600 grit, e então compostos de pasta diamantada para obter a suavidade final necessária. Durante o processo, e como meio de alcançar as melhores características de liberação, é importante que todo o polimento seja feito na eventual direção de tração. Também é vital evitar o arredondamento das bordas afiadas da linha de partição dos segmentos, pois isso impedirá o alinhamento da matriz (STARR, 2000).

## 2.10 ESTRUTURA DA ESCADA

A estrutura da escada é representada e definida segundo a norma regulamentadora NBR 16308/2014, com as tolerâncias dimensionais mínimas para a fabricação de escadas portáteis.

A NBR 16308/2014 orienta a construção da escada de encosto de um lance, com degraus estreitos (Figura 8), tendo em vista as relações dimensionais mínimas exigidas.

**Figura 8 - Escada de encosto de um lance com degraus estreitos**



**FONTE: Adaptada da NBR 16308, 2014.**

A escada deve conter um montante lateral que suporta os degraus e travessas. O montante deve conter um acesso a superfície de piso com largura superior a 20 mm e inferior a 70 mm, e para degrau redondo, diâmetro de 25 mm (NBR 16308/2014).

Conforme a NBR 16308/2014, deve-se seguir as exigências de dimensões da escada indicadas na Tabela 9 levando em consideração a Figura 8.

**Tabela 9 - Dimensões funcionais de escadas de encosto com degraus estreitos**

	b1	b2	l3	l4	l5	Inclinação
Mínimo (mm)	280	340	0,5l5	0,5l5	300	72°
Máximo (mm)	---	---	1,5l5	l5+15	300	78°

**FONTE: NBR 16308, 2014.**

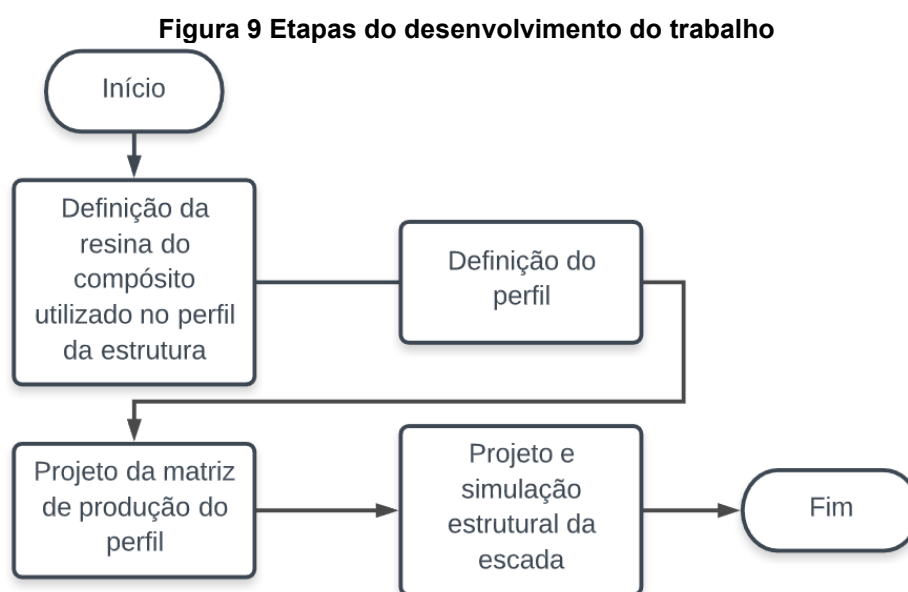
Requisito geral para a carga de trabalho exigida é de 120 kg, sendo que a carga de trabalho deve ser considerada como peso de um único usuário com os seus acessórios. Tolerâncias de distâncias entre degraus de mais ou menos 2 mm e demais dimensões de mais ou menos 5 mm.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Norton (2013) um desenvolvimento de projeto envolve a criação de uma máquina que tenha um bom funcionamento, tenha segurança, e confiabilidade. Caso a “máquina” em questão não possua partes moveis é considerada uma estrutura. As estruturas, (vergalhões, vigas), que fazem parte de pontes, edifícios, também devem ser projetadas para evitar falhas e assim apresentarem maior tempo de vida.

Com base nos estudos do Norton (2013), foi analisado o projeto de uma “estrutura-matriz” para utilização em uma máquina de pultrusão.

O projeto foi desenvolvido conforme o fluxograma a seguir (Figura 9) por meio de determinação de método de fabricação e material.



**FONTE: Autoria própria, 2019.**

#### 3.1 DEFINIÇÃO DA RESINA DO COMPÓSITO UTILIZADO NO PERFIL DA ESTRUTURA

A seleção da resina foi definida levando em consideração o melhor tempo de cura e o grau de dificuldade do processamento da resina utilizando os dados da literatura de resinas comerciais conforme mostrados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Propriedades das resinas de poliéster e éster vinílico**

	Poliéster			Ester Vinílico	
	TG-270	TG-271	TG-272	Resina A	Resina B
Velocidade Linear(mm/min)	380	380	380	380	380
Temperatura máxima (°C)	193	201	172	193	189
Temperatura de saída (°C)	167	155	150	158	149
Tempo-cura (min)	1,6	2,7	3,1	2,4	2,4
Temperatura de saída (°C)	167	155	150	158	149
Força de tração (Kg)	3000	3000	3000	3000	3000
Comprimento da matriz (mm)	250	250	250	250	250
Altura da matriz (mm)	125	125	125	125	125

**FONTE: Adaptado de MEYER, 1985.**

Pelos dados disponibilizados pelos fornecedores de resinas e os encontrados na literatura foi possível definir uma resina comercial com as propriedades mecânicas necessárias.

### 3.2 DEFINIÇÃO DO PERFIL

O perfil foi definido seguindo as exigências da norma NBR 16308/2014 que diz respeito a largura mínima do perfil de 30 mm para escadas. Para as dimensões não estipuladas em normas foi utilizado as que é comumente utilizado neste tipo de projeto.

### 3.3 PROJETO DA MATRIZ DE PRODUÇÃO DO PERFIL

O projeto da matriz levou em conta experimentos realizados segundo os autores MEYER (1985) e STARR (2000). Utilizando como base os resultados dos mesmos, foi projetada a matriz conforme o perfil de poliamida definido através do processo de pultrusão.

Com o auxílio do software SolidWorks foi desenhado a matriz e realizado um estudo de distribuição de temperatura para encontrar pontos específicos de temperatura ao longo da matriz e dessa forma facilitando a fusão do material do perfil ao longo da sessão da matriz.



### 3.4 PROJETO E SIMULAÇÃO ESTRUTURAL DA ESCADA

O projeto da escada foi determinado segundo a norma NBR 16308/2014 mostrado na Figura 8, que determina algumas dimensões mínimas e máximas da escada de encosto (Tabela 11).

**Tabela 11 - Dimensões máximas e mínimas da escada de encosto**

	b1	b2	l3	l4	l5
Mínimo (mm)	280	340	0,5 l5	0,5 l5	300
Máximo (mm)	---	---	1,5 l5	l5+l5	300

**FONTE: Adaptada da NBR 16308,2014.**

A Tabela 12 mostra as propriedades dos materiais adotadas para a construção do perfil e do degrau.

**Tabela 12 - Propriedades dos materiais do perfil**

	TECAMID 66/X GF50	Alumínio 6063-T6
Módulo elástico (GPa)	8,7	969
Coefficiente de Poisson	0,394	0,33
Módulo de cisalhamento (MPa)	90	2,58E+4
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	1610	2700
Resistencia a tração (MPa)	115	240
Resistência à compressão (MPa)	141	---
Limite de escoamento (MPa)	---	21,5

**FONTE: Adaptada de ENSINGER, 2019.**

Pode se observar que o material TECAMID 66/X GF50 possui menor módulo elástico e menor módulo de cisalhamento que o Alumínio 6063 T6, sendo assim necessário uma simulação estática para analisar sua resistência.

Por meio do SolidWorks foi desenhado o modelo da escada respeitando as normas e realizando um estudo estático da mesma avaliando a segurança admissível da estrutura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para atingir o objetivo desse trabalho será seguido a sequência a partir das etapas descritas anteriormente.

### 4.1 DEFINIÇÃO DA RESINA DO MATERIAL DO PERFIL DA ESTRUTURA

A Tabela 2 faz uma comparação entre os tipos de resinas comumente empregadas no processo de pultrusão. Para a escolha do tipo resina levou-se em conta principalmente a dificuldade do processo. Poliéster possuem uma dificuldade relativa de produção considerada normal perante o éster vinílico e epóxis.

A Tabela 3 apresenta possíveis amostras com a resina do tipo poliéster e do tipo éster vinílico. Para análise de desempenho das amostras foram consideradas frações equivalentes dos reagentes internos da mistura. Sendo assim, para atender as propriedades mecânicas necessárias pelos dados apresentados pelos fornecedores de resina e os encontrados na literatura (Tabela 3) foi escolhido uma resina comercial equivalente a amostra TG-270, ou seja, um poliéster. Considerando um processo inicial de construção do perfil, poliésteres possuem um baixo preço de mercado e facilidade de acesso ao produto. Além disso, possuem uma velocidade relativa de processo mediana perante os demais e podem ser produzidos perfis com um amplo tamanho para matrizes.

As taxas de tração são determinadas pelas dimensões da matriz. Avaliações no tempo de cura do perfil fazem com que influencie nas taxas de tração. Um perfil com uma velocidade de cura alta, faz com que se torne rígido suficiente para poder ser tracionado.

Observado na Tabela 10, que indica as velocidades do processo, temperatura máxima e temperatura de saída da matriz, verificou-se que a amostra de menor tempo de cura dentre as apresentadas é a TG-270, sendo assim para uma maior quantidade de produção de perfil no menor tempo possível esta foi a amostra escolhida para melhor desempenho de produção.

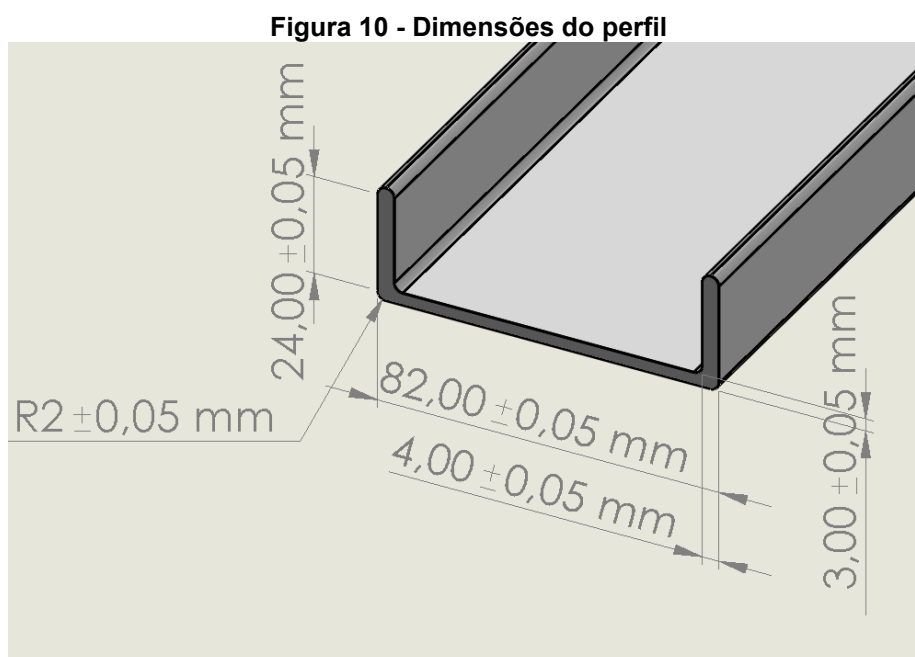
A amostra TG-270 possui uma velocidade de tração de 380 mm por minuto, sendo assim a cura do perfil é realizada em 96 segundos utilizando uma matriz de 910 mm de comprimento.

Para atender as necessidades de projeto, foi escolhida uma resina comercial equivalente a amostra TG-270, como a resina “TECAMID 66/X GF50 black” (Tabela 7) que possui composição equivalente e torna mais acessível e com menores custos de produção dos perfis.

## 4.2 DEFINIÇÃO DO PERFIL

O projeto do perfil teve como referência os padrões de mercado, atendendo as dimensões suficientes para a resistência equivalente. A norma específica apenas a largura mínima exigida de 30 mm para o perfil, porém, não esclarece sobre o tipo de perfil, sendo assim, foi utilizando um perfil “U” que é comumente utilizado para este tipo de projeto.

A Figura 10 e o Apêndice A apresenta as dimensões do perfil definido para a construção da escada. Este perfil possui raios de 2 mm e um comprimento total de 4125 mm.



**FONTE: Autoria própria, 2019.**

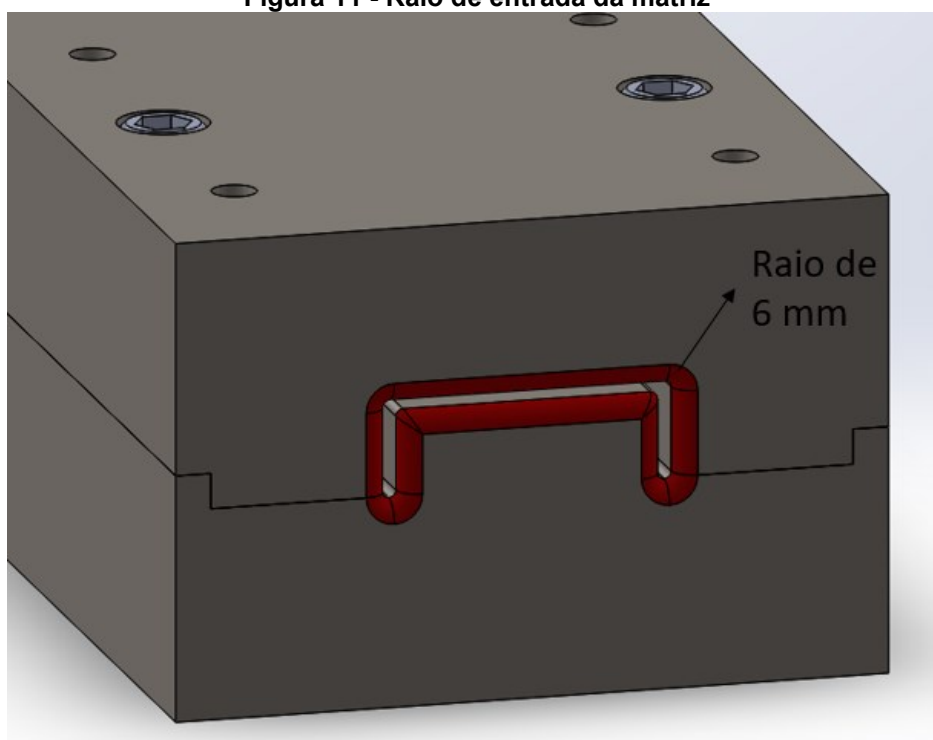
## 4.3 MATRIZ DE PRODUÇÃO DO PERFIL

O desenho com o dimensionamento da matriz está apresentado no Apêndice B, onde a matriz está dividida em 2 partes, superior e inferior. A estrutura

da matriz foi desenvolvida para obter alta resistência mecânica devido ao extrator do perfil.

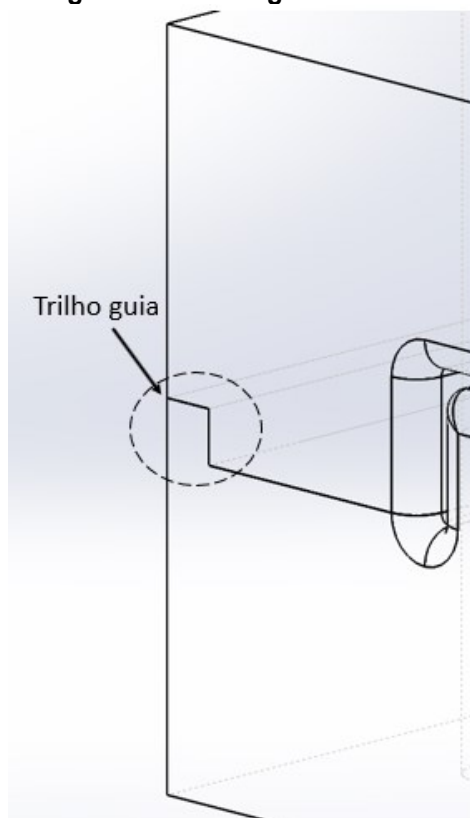
A construção tem um raio de 6 mm em um lado (Figura 11) da matriz que é definida como parte frontal, por onde ocorre a entrada da resina e do “roving”. O objetivo do raio é facilitar a entrada desses materiais na matriz e com isso melhorar a vida útil da matriz.

**Figura 11 - Raio de entrada da matriz**



**FONTE: Autoria própria, 2019.**

Como o perfil deve ser tracionado pelo interior da matriz, ela deve comportar toda a resistência a essa tração e estar devidamente bem fixada. Para unir as partes foram utilizados 12 parafusos “allen” cabeça redonda M16x2x100 mm com rosca de 44 mm, que terão a capacidade de manter a matriz unida e um trilho guia (Figura 12) para não ocorrer deslocamentos laterais.

**Figura 12 - Trilho guia da matriz**

**FONTE: Aatoria própria, 2019.**

Como a temperatura máxima requerida pela resina é de 165° C, determinamos o sistema de aquecimento da matriz por resistência elétrica do tipo bastão. Neste sistema o controle de temperatura é mais abrangente que a área delimitada.

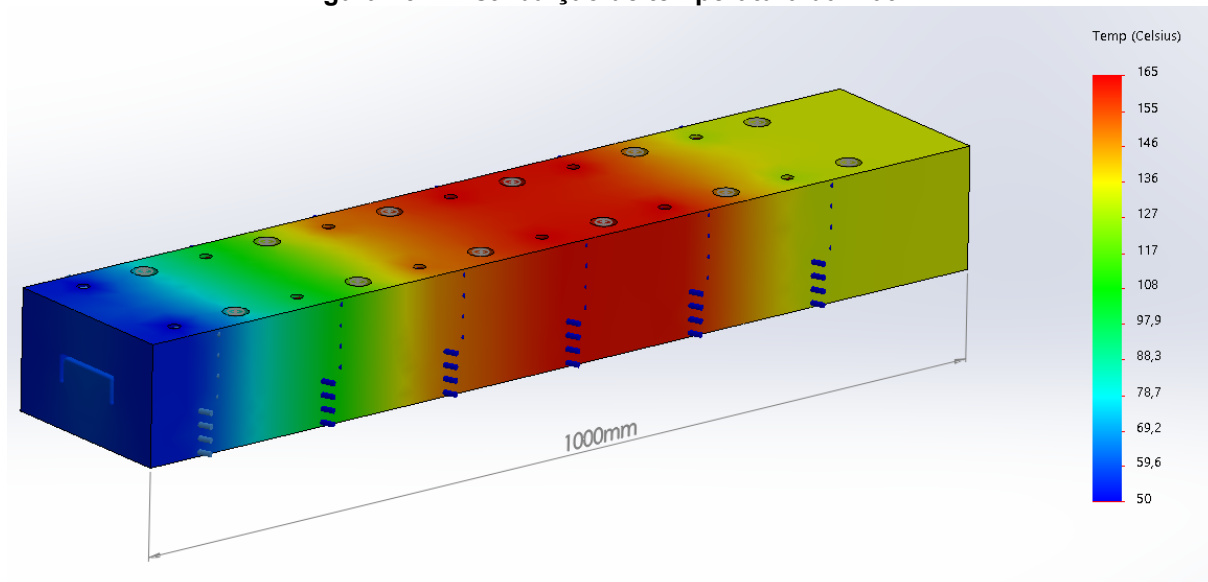
Pontos frios causam instabilidade na solidificação da resina durante o processo da pultrusão, com a utilização de uma temperatura máxima aplicada na matriz pode-se diminuir esses pontos.

Quanto mais espessa for a matriz, menor é o calor por unidade de tempo transferido para a resina. Sendo assim a utilização de hastes no interior da matriz diminui a espessura da matriz aumentando a taxa de transferência de calor controlado, desta forma, a presença de pontos frios.

Foi realizada uma análise computacional (Figura 13) no software SolidWorks para verificar a distribuição da temperatura ao longo do perfil e onde se encontra o ponto de temperatura máxima da na matriz. Através dos dados da temperatura do perfil ao longo da matriz (Figura 7), foi realizado um estudo de

distribuição de temperatura máxima de trabalho de 167° C melhorando com isso a transferência de calor na matriz.

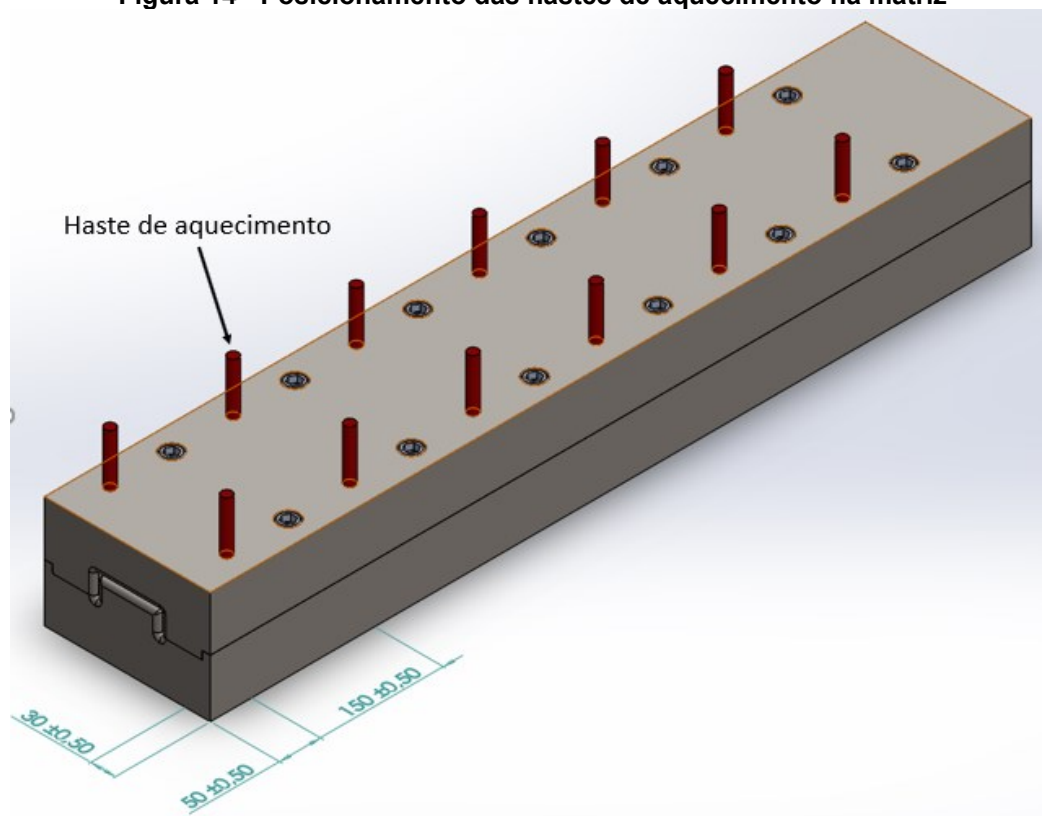
**Figura 13 – Distribuição de temperatura da matriz**



**FONTE: Aatoria própria, 2019.**

Observado que a variação de temperatura influencia no tempo de cura, o melhor estudo de temperatura viável para o perfil deve seguir a matriz simulada na Figura 13. Desta forma, para atingir as temperaturas desejadas foi necessário utilizar 12 hastes de aquecimento posicionadas conforme a Figura 14.

**Figura 14 - Posicionamento das hastes de aquecimento na matriz**



**FONTE: Autoria própria, 2019.**

As hastes de aquecimento de temperaturas variáveis agem em pares, e estão mostradas na Tabela 13 com identificação de posição e temperatura.

**Tabela 13 - Temperatura e posição das hastes de aquecimento na matriz**

Quantidade	2	2	2	2	2	2
Temperatura programada	50°C	100°C	150°C	165°C	165°C	130°C
Posição	50 mm	200 mm	350 mm	500 mm	650 mm	800 mm

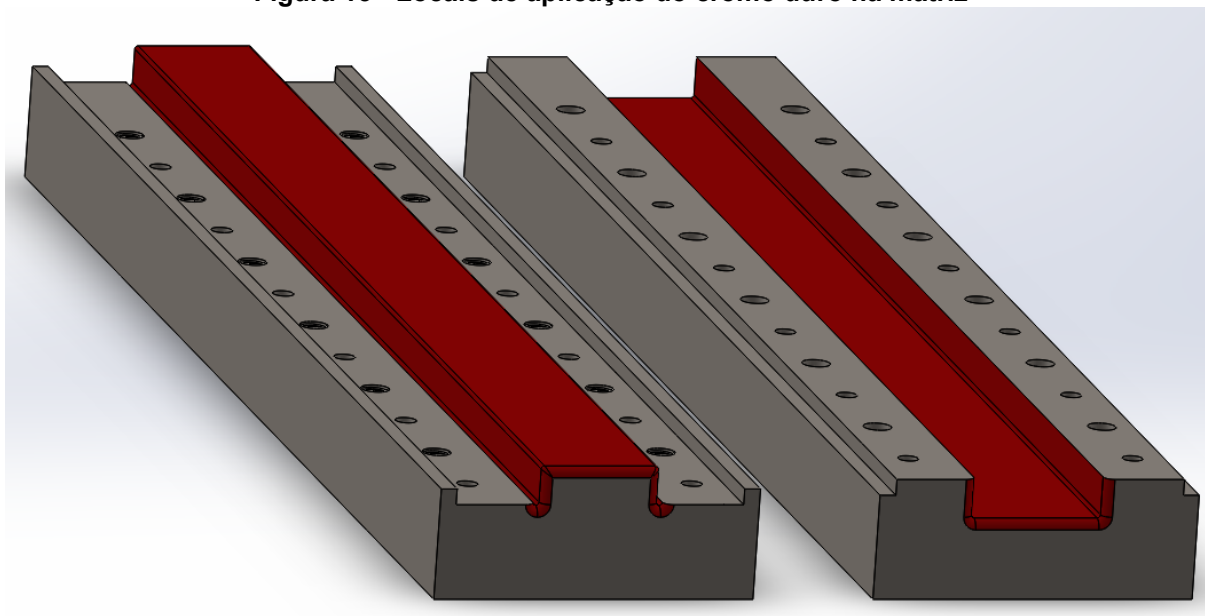
**FONTE: Autoria própria, 2019.**

A escolha do material para a matriz foi feita com base na avaliação das propriedades apresentadas na Tabela 1 e na possibilidade de um bom tratamento térmico. Considerando as propriedades e a relação de custo/benefício os aços mais utilizados para fabricação de moldes e matrizes são o Aço AISI 4140, o AISI P20 e o AISI 4340.

Para reduzir o desgaste e aumentar a vida útil da matriz foi indicado no projeto um revestimento de cromo duro podendo assim, obter uma dureza de aproximadamente 40 HRC. Este revestimento permite reaplicação, caso ocorra desgaste pelo uso da matriz, evitando, desta forma, a confecção de uma nova matriz.

A região que deve ser aplicada o revestimento, é a superfície interna da matriz e está mostrada em vermelho na Figura 15. O revestimento de cromo se dá apenas na região em que o material do perfil entra em contato com a matriz. Além de melhorar a resistência ao desgaste, o revestimento apresenta uma menor rugosidade facilitando a produção, baixando com isso os custos. Além de melhorar a qualidade de acabamento do perfil.

**Figura 15 - Locais de aplicação do cromo duro na matriz**



**FONTE: Autoria própria, 2019.**

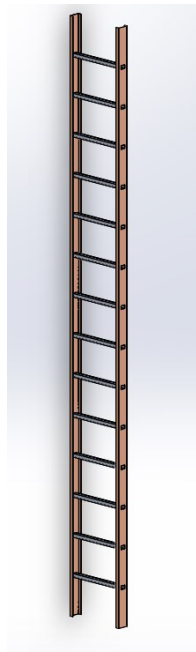
A quantidade de produção do perfil depende do tempo de cura da resina. A resina selecionada possui um tempo de cura de 96 segundos. Com o comprimento da matriz definido em 910 mm, o tempo de produção do perfil de 4,125 m é de 7 min e 15 segundos. Considerando um tempo de produção de 8 horas diárias é possível produzir 273,10 m de perfil linear.

#### 4.4 PROJETO DE ESTRUTURA DA ESCADA E SIMULAÇÃO ESTRUTURAL

A Figura 16 mostra a vista isométrica da escada projetada. A escada foi feita com 4,125 metros de perfil, possuindo 14 degraus com distância de 250 mm entre eles. Após a determinação do tamanho da escada desejado e a quantidade de degraus, foi criado modelado no SolidWorks para estudo estático de resistência.



Figura 16 - Escada de encosto



FONTE: Autoria própria, 2019.

Para encaixe dos degraus da escada foi cortado um retângulo no centro do perfil de 35 x 25 mm com distâncias equivalentes a 250 mm, totalizando 12 furos retangulares conforme mostrado no Apêndice A, Detalhe A.

Para realizar as simulações da estrutura foi utilizado o software Simulation SolidWorks. Algumas considerações foram necessárias para que o software simulasse a estrutura como um todo. Sendo assim, o contato do degrau com o perfil foi estabelecido como solda rígida, para que não ocorra distorção entre seus contatos. O material do degrau foi determinado como alumínio 6063 T6 que é usualmente utilizado para construção de escadas e outros itens similares. As propriedades dos materiais utilizadas para a simulação estão mostradas na Tabela 14.

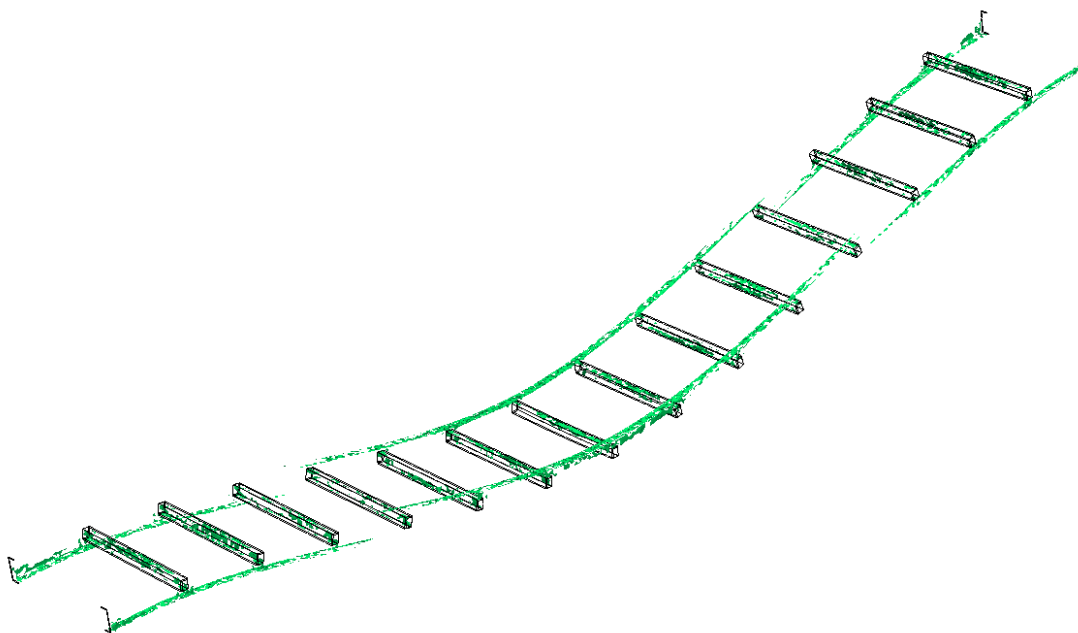
**Tabela 14 - Propriedades dos materiais do perfil**

	TECAMID 66/X GF50	Aluminio6063-T6
Módulo elástico (GPa)	8,7	969
Coefficiente de Poisson	0,394	0,33
Módulo de cisalhamento (MPa)	90	2,58E+4
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	1610	2700
Resistencia a tração (MPa)	115	240
Resistência à compressão (MPa)	141	---
Limite de escoamento (MPa)	---	21,5

FONTE: Autoria própria, 2019.

Para determinar a máxima resistência da escada no seu modelo atual foi admitido algumas configurações do seu modelo de tensão. Considerando as extremidades da escada rígida, sem forças de tração nos pés e aplicando uma força na região central da escada onde é o local mais provável de ocorrer ruptura a simulação foi realizada e o modelo está mostrado na Figura 17.

**Figura 17 - Região sob tensões na escada de encosto**

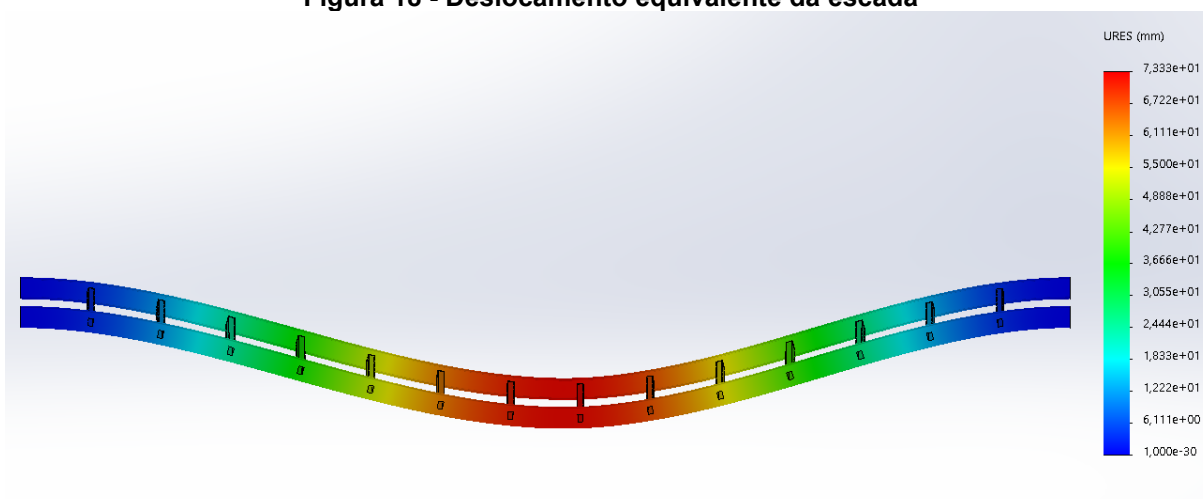


**FONTE: Autoria própria, 2019.**

A região em verde claro no modelo apresentado na Figura 17 mostra as áreas onde ocorre os maiores esforços sob tensão de tração, que são as mais relevantes para que ocorra deformação ou até mesmo ruptura da escada. Assim como as tensões principais, máxima de  $7,04 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  e mínima de  $-4,22 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ .

Através de uma simulação de deslocamento (Figura 18) foi obtido o valor de deslocamento máximo de 73,33 mm.

**Figura 18 - Deslocamento equivalente da escada**

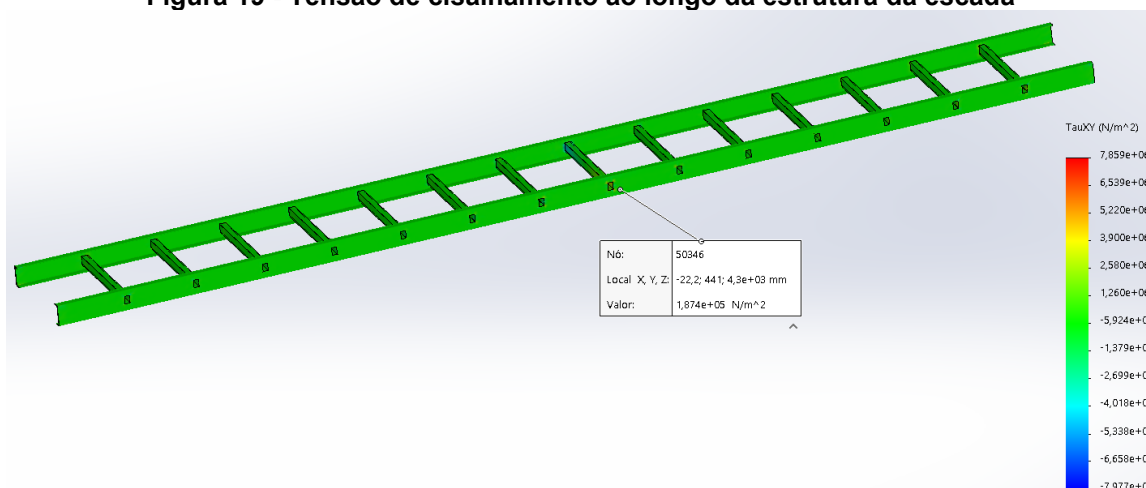


**FONTE: Autoria própria, 2019.**

O deslocamento equivalente aos 73,33 mm é relacionado a sua posição inicial, sem rompimento quando a escada é submetida a uma força de 160 kgf.

Aplicando outra simulação Figura 19 podemos obter os valores da tensão cisalhamento principal na estrutura, sendo assim retirando os valores máximos antes da falha do material.

**Figura 19 - Tensão de cisalhamento ao longo da estrutura da escada**



**FONTE: Autoria própria, 2019.**

Observado que a maior tensão possível para a deformação é de  $1,87 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup>, ou seja, valores acima não podemos garantir a segurança do material.

## 5 CONCLUSÕES

Através da pesquisa na literatura sobre o processo de pultrusão foi elaborado um estudo nas resinas utilizadas para fabricação de perfis. O estudo apresentou dados relevantes sobre as propriedades físico-químicas e reológicas que foram determinantes para a concepção do projeto da matriz, como o tempo de cura, resistência a tração, limite de escoamento e módulo elástico.

O perfil foi desenvolvido, por referência comercial, obedecendo a NBR 16308/2014, nas questões de dimensionamento mínimo e segurança de projeto, adequando sua utilização no projeto.

A matriz desenvolvida apresentou ótimas características em relação as pesquisas na literatura para a produção do perfil, o estudo desenvolvido teve resultados eficientes na transferência de calor devido com a implementação dos canais para as hastes de aquecimento melhorou o controle térmico, eficiência energética. Por meio de pesquisa na literatura a temperatura de solidificação é de 200° C, concluindo assim que perfil saiu em estado solido atingindo 136 °C com base na simulação da matriz.

Para a produção do perfil em “U” determinado da matriz deve seguir confeccionada conforme o projeto elaborado, pois qualquer variação nas condições da matriz, o perfil estará sujeito a mudanças, que afetarão a qualidade do produto e a segurança do mesmo.

A escada obteve resistência de 160 Kgf com deformação máxima de 73,33 mm com a simulação nas dimensões estabelecidas no projeto, sendo assim comprovando que está disposta a cumprir com seu funcionamento em segurança, bem como, obedecendo as normas para seu uso.

## REFERÊNCIAS

- AÇOESPECIAL, **Aço AISI P20**. Disponível em: <<https://www.acoespecial.com.br/aco-aisi-p20.php>>. Acesso em: 10 Agosto 2018.
- AÇOSPORTE, **Aço SAE 4340**. Disponível em: <<http://www.acosporte.com.br/aco-sae-4340>>. Acesso em: 10 Agosto 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16308: **Escadas Portáteis** Parte 1: Termos, tipos e dimensões funcionais. NBR 6122. Rio de Janeiro, 2010.
- ANSEN, R.; TOMACHUK, C.R. Fragilização por hidrogênio - Parte 1. **Revista do Parafuso**, edição 08, p.31-34, maio-junho, 2008 a.
- CHEM PROCESSING, **Hard Chrome Plating**. Disponível em: <<http://www.chemprocessing.com/page.asp?PageID=64>>. Acesso em: 29 Maio 2018.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica, v.2 – Processos de Fabricação e Tratamento**. 2. ed. São Paulo: MacGraw Hill, 1986.
- CHIAVERINI, V. **Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 2003.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**, 2008.
- DYNACHROME, **Hard Chrome**. Disponível em: <<http://www.dynachrome.com/hard-chrome.html>>. Acesso em: 29 Maio 2018.
- DINIZ, A.E; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N. . **Tecnologia da usinagem dos materiais**, 2009.
- ENSINGER, **TECAMID 66/X GF50 black**. Disponível em: <<https://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados/produtos/pa66-tecamid-66x-gf50-black>> Acesso em: 15 Janeiro 2019.
- MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos**. p. 41, 2005.
- MEYER, R. W. **FRP Raw Materials**. New York: Chapman and Hall, 1985.
- NORTON, R. **Projeto de Máquinas, Uma abordagem integrada**. São Paulo:Bookman Editora LTDA, 2013.
- SANTOS, A. M. DOS. **Estudo De Compósitos Híbridos Polipropileno / Fibras De** **Estudo De Compósitos Híbridos Polipropileno / Fibras De**. p. 90, 2006.
- SILVA, André Luiz da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. Sumaré, SP. Eletrometal S.A. Metais Especiais, 1988.

STARR, T. F. **Pultrusion for engineers Edited by**. Cambridge England: Woodhead Publishing Limited, 2000.

STEVESPLATING, **Chrome Plating**. Disponível em: <[http://www.stevesplating.com/chrome\\_plating.htm](http://www.stevesplating.com/chrome_plating.htm)>. Acesso em: 29 Maio 2018.

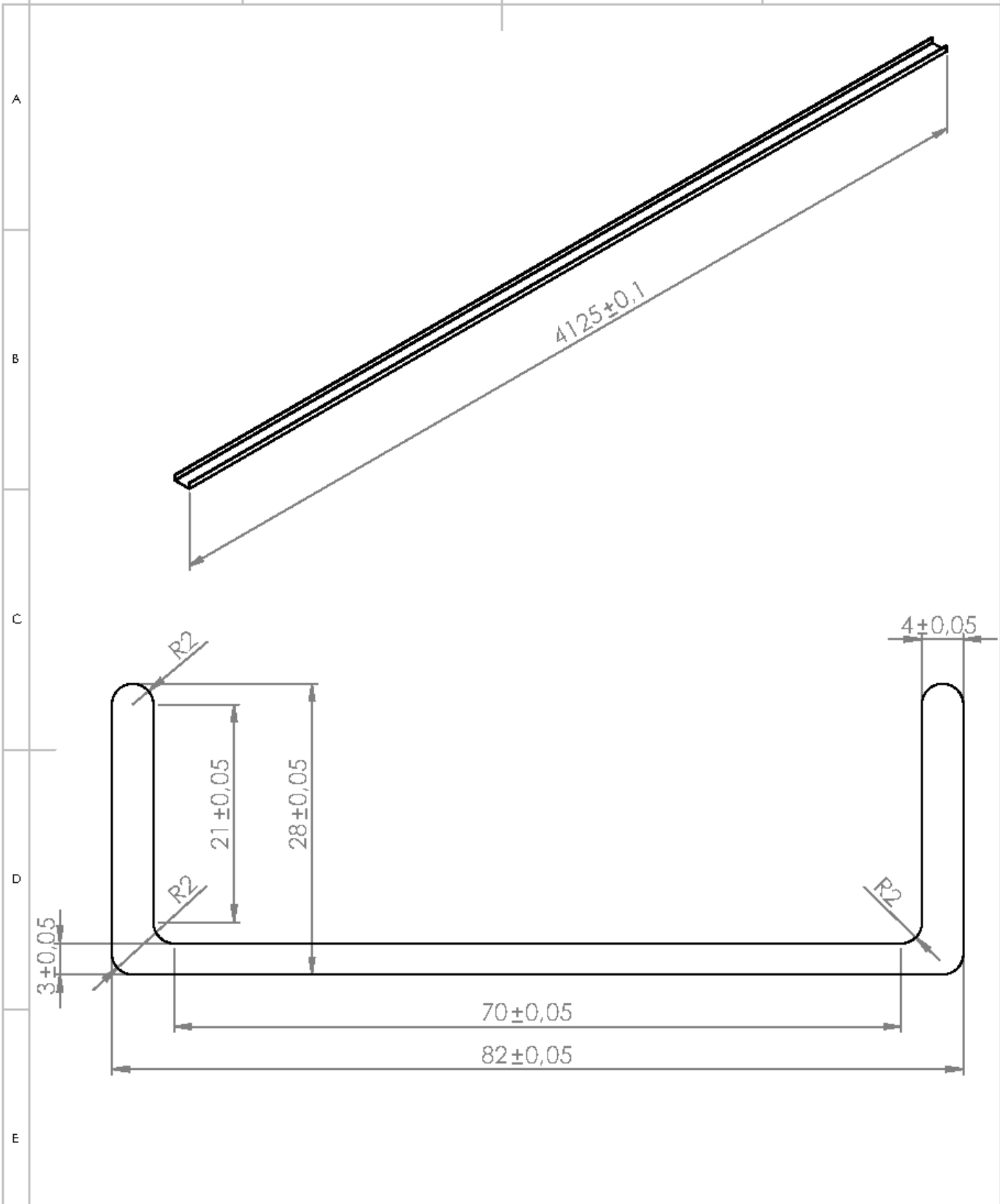
SUMMERSCALES, J. Handbook of polymer composites for engineers. **Composites Manufacturing**, v. 5, n. 3, p. 195–196, 1994.


TEDESCO, M. E. **Variação Dimensional e Microestrutural do Aço AISI 4140 em Peças**. 2007.

TRETA FERRO, **Principais tipos de perfis estruturais**. Disponível em: <<http://tetraferro.com.br/principais-tipos-de-perfis-estruturais/>>. Acesso em: 15 Novembro 2019.

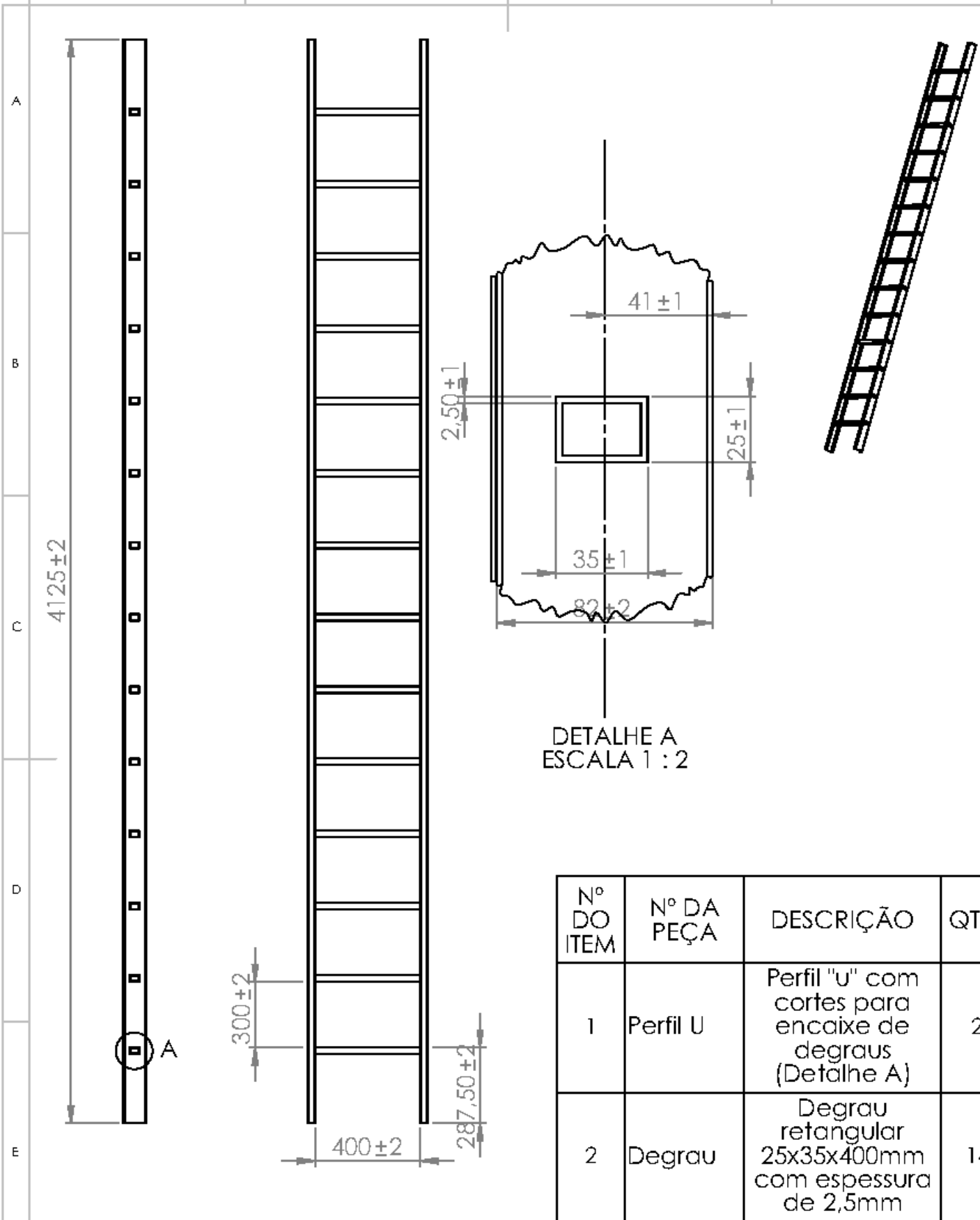
## **APÊNDICE A – PERFIL “U” E ESCADA**

Os detalhamentos dos componentes do perfil “U” e escada estão determinados no a seguir.



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. DE SUPERFÍCIE:			ACABAMENTO:			REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS						
TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:												
NOME			DATA						TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
DES. Vilmir Simionatto Junior			10/10/2019						PROJETO:			
VERIF.									PERFIL EM "U"			
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS												
de 0,5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm	MATERIAL: <b>FRP 50%</b>			DES. N° <b>A1</b>	A4
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	RESO:			ESCALA: 1:30	FOLHA 1 DE 1





Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Perfil U	Perfil "U" com cortes para encaixe de degraus (Detalhe A)	2
2	Degrau	Degrau retangular 25x35x400mm com espessura de 2,5mm	14

SE NÃO ESPECIFICADO:  
 DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
 ACABAM. DE SUPERFÍCIE:  
 TOLERÂNCIAS:  
 UNEAR:  
 ANGULAR:

ACABAMENTO:  
 REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS



NOME	DATA
DES Vilmar Simionatto Junior	10/10/2019
VERIF.	

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
 PROJETO: Escada de FRP 50%

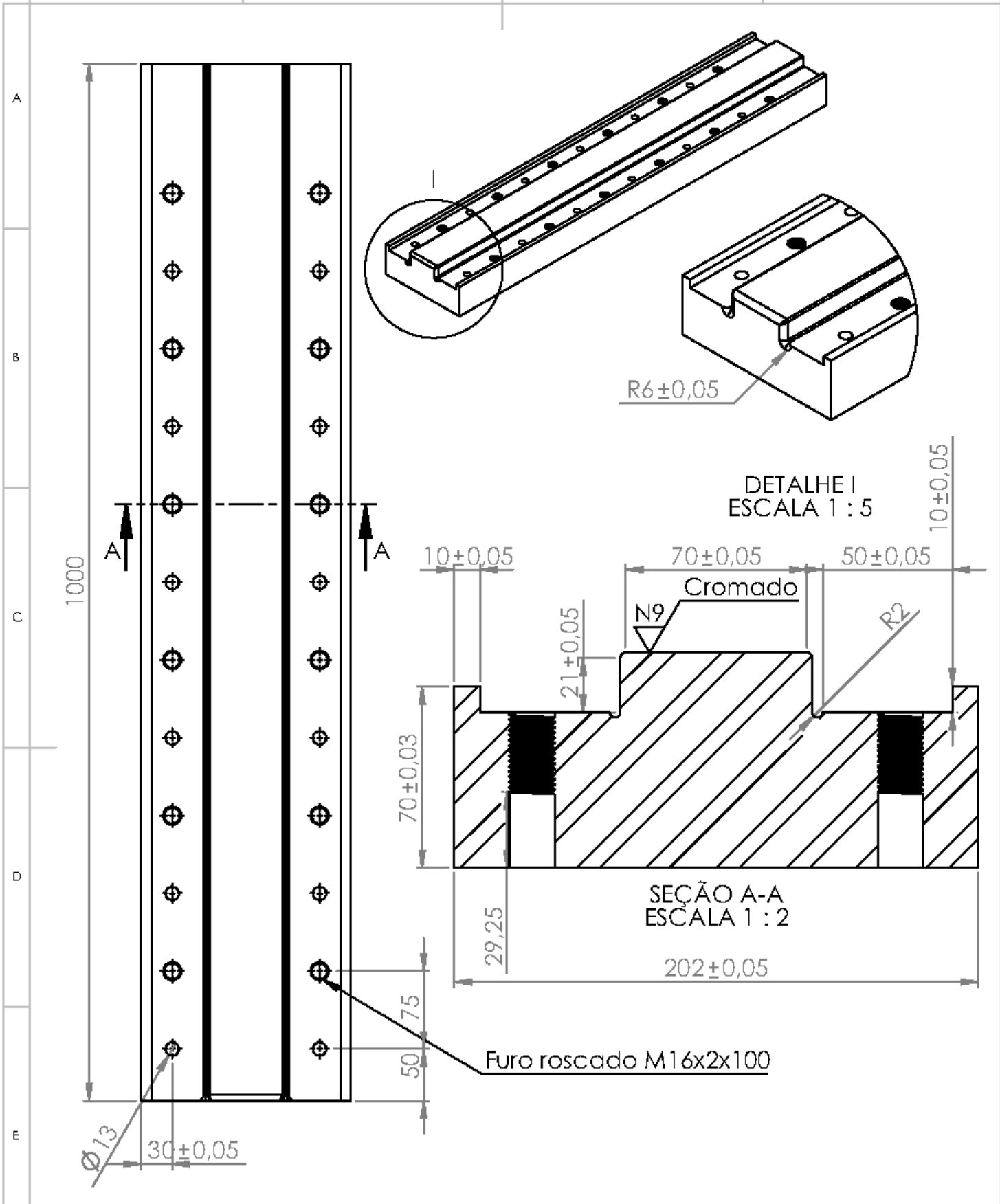
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

de 0,5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm	MATERIAL:
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	PESO:

DES. Nº A2 A4  
 ESCALA: 1:50  
 FOLHA 1 DE 1

## **APÊNDICE B – MATRIZ DE PULTRUSÃO**

Os detalhamentos dos componentes da matriz estão determinados no a seguir.



SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. DE SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
UNEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:  
**USINADO  
(Polimento)**

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS



NOME	DATA
DES Vilmar Simionatto Junior	10/10/2019
VERIF.	

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

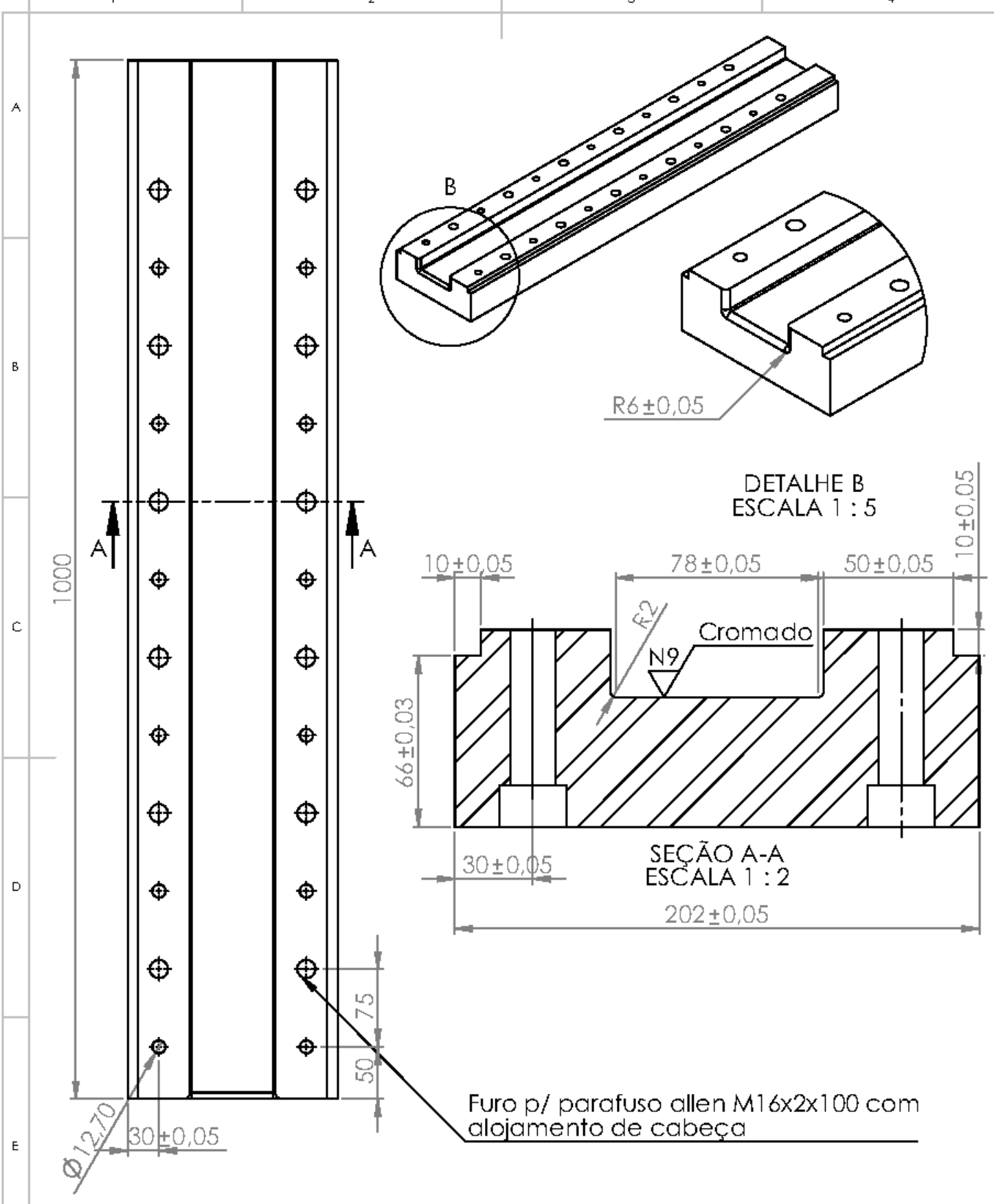
TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

PROJETO:  
**MATRIZ DE PULTRUSÃO**

de 0.5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm
± 0.05	± 0.08	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0

MATERIAL:  
**AISI 4340**

DES. Nº **B1** A4  
ESCALA: 1:20 FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO:  
 DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
 ACABAM. DE SUPERFÍCIE:  
 TOLERÂNCIAS:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

ACABAMENTO:  
**USINADO  
 (Polimento)**

REBARBAR E  
 QUEBRAR  
 ARESTAS  
 AGUDAS



NOME: DATA:

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DES: **Vilmar Simionatto Junior** DATA: **10/10/2019**

PROJETO:  
**MATRIZ DE PULTRUSÃO**

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

de 0,5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm
± 0,05	± 0,08	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 1,0

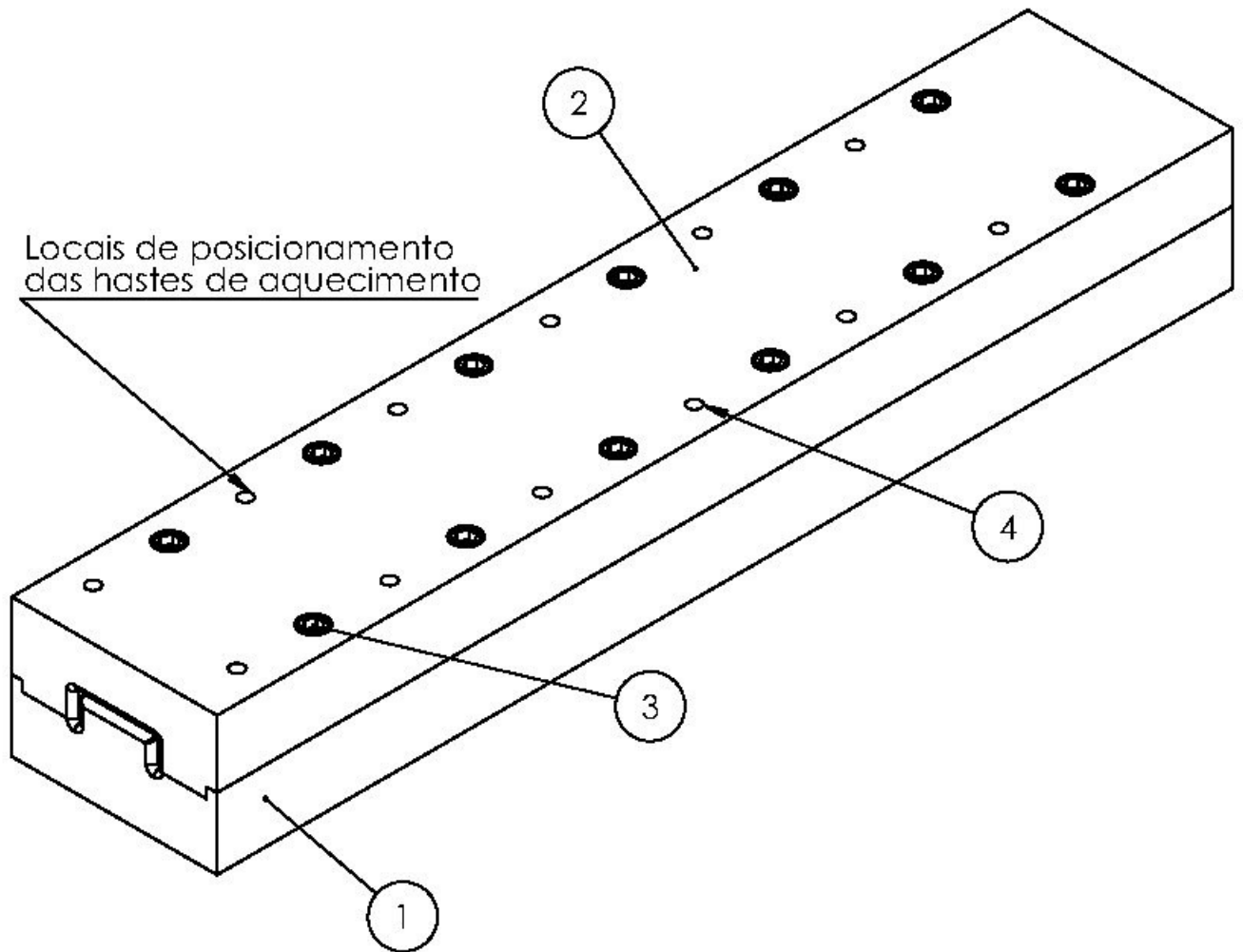
MATERIAL:  
**AISI 4340**

DES. Nº **B2** FOLHA 1 DE 1

PESO:

ESCALA: 1:20

Locais de posicionamento das hastes de aquecimento



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Matriz Inferior	Parte inferior da matriz de pultrusão	1
2	Matriz Superior	Parte superior da matriz de pultrusão	1
3	Parafuso Allen	Parafuso allen cabeça cilíndrica com sextavado interno B18.3.1M - 16 x 2.0 x 100 Hex SHCS -- 44CHX	12
4	Haste de aquecimento	Hastes de aquecimento (temperatura indicada na Tabela 13)	12

SE NÃO ESPECIFICADO:  
DIMENSÕES EM MILÍMETROS  
ACABAM. DE SUPERFÍCIE:  
TOLERÂNCIAS:  
LINEAR:  
ANGULAR:

ACABAMENTO:  
**USINADO  
(Polimento)**

REBARBAR E  
QUEBRAR  
ARESTAS  
AGUDAS

**UTPR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

NOME: **Vilmar Simionatto Júnior**  
DATA: **10/10/2019**

PROJETO:  
**MATRIZ DE PULTRUSÃO**

TOLERÂNCIAS NÃO ESPECIFICADAS

de 0,5 a 3 mm	de 3 a 6 mm	de 6 a 30 mm	de 30 a 100 mm	de 100 a 300 mm	de 300 a 500 mm	de 500 a 1000 mm	> que 1000 mm
---------------------	-------------------	--------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	---------------------

MATERIAL:  
**AISI 4340**

DES. Nº **B3**

A4

± 0.05 ± 0.08 ± 0.1 ± 0.15 ± 0.2 ± 0.3 ± 0.5 ± 1.0

PESO:

ESCALA: 1:20

FOLHA 1 DE 1