



**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

Atena
Editora
Ano 2020



**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A639 A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-982-0

DOI 10.22533/at.ed.820201302

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
OTIMIZAÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS NA FABRICAÇÃO DE RODA AUTOMOTIVA	
Rafael Lemos Diniz Lucas Santos de Oliveira Paulo Henrique Pereira Araújo Marcos Antônio Pinheiro Ponçadilha Alexandre Serpa Aquiar Jose Ribamar ribeiro silva Junior Fernando Nascimento costa Karla Fabiana Rodrigues Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.8202013021	
CAPÍTULO 2	11
MANUFACTURE OF COMPLEX PARTS IN THIN SHEETS OF COMMERCIALY PURE ALUMINIUM USING INCREMENTAL SHEET FORMING METHOD	
Felipe Chagas Rodrigues de Souza Leonardo Rosa Ribeiro da Silva Felipe dos Anjos Rodrigues Campos Augusto César Santos Peixoto	
DOI 10.22533/at.ed.8202013022	
CAPÍTULO 3	21
STUDY OF DIFFERENT LUBRI-COOLANT CONDITIONS FOR INCREMENTAL SHEET FORMING OF THIN ZINC SHEETS	
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos Felipe Chagas Rodrigues de Souza Leonardo Rosa Ribeiro da Silva Pedro Henrique Pires França	
DOI 10.22533/at.ed.8202013023	
CAPÍTULO 4	35
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM TECIDOS DE FIBRA DE JUTA E TECIDOS DE FIBRA DE VIDRO	
Jair Francisco Souza Magalhães Douglas Santos Silva Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.8202013024	
CAPÍTULO 5	50
PROJETO DE MAPA TÁTIL DO IFSUL– SAPUCAIA DO SUL PARA ACESSIBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS	
Daniela Oliveira Raupp Carmen Iara Walter Calcagno	
DOI 10.22533/at.ed.8202013025	
SOBRE O ORGANIZADOR	61
ÍNDICE REMISSIVO	62

OTIMIZAÇÃO E PREVENÇÃO DE FALHAS NA FABRICAÇÃO DE RODA AUTOMOTIVA

Data de aceite: 12/02/2020

Data de submissão: 20/11/2019

São Luís – MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7414610978394452>

Fernando Nascimento costa

Universidade Estadual de Campinas
Campinas – são Paulo

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1302626512087807>

Karla Fabiana Rodrigues Nunes

Faculdade ISL Wyden
São Luis – MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4229791299649254>

Rafael Lemos Diniz

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís - MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5221577677798593>

Lucas Santos de Oliveira

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís – MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3966240070245293>

Paulo Henrique Pereira Araújo

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís – MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2150382046090503>

Marcos Antônio Pinheiro Ponçadilha

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís – MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8861317945002266>

Alexandre Serpa Aquiar

Universidade Estadual do Maranhão
São Luís – MA

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1038184268781847>

Jose Ribamar ribeiro silva Junior

Universidade Estadual do Maranhão

RESUMO: As rodas automotivas podem ser classificadas em 3 segmentos, de acordo com o material utilizado na fabricação: existem as de liga leve (basicamente alumínio), as de aço (podem ser de aço extra macio, aço de baixo carbono, HSLA ou fase dupla aços). No entanto, analisaremos apenas as rodas de aço e liga, enquanto os dois tipos de rodas feitos de aço e feitos de liga (ligas de alumínio) têm características que, juntas, produziram uma peça com um equilíbrio de excelentes propriedades mecânicas, um custo não tão diferente do geral apresentado pelo mercado e com uma qualidade estética satisfatória, optou-se por realizar um estudo com o objetivo de possibilitar a produção de uma peça que apresente melhorias na fabricação das duas

rodas analisadas (Fe-C) e leve liga (alumínio), além de estudar possíveis falhas e simular s sobre rodas com o auxílio do software solidworks.

PALAVRAS-CHAVE: Rodas, falhas, soldagem

FAULT OPTIMIZATION AND PREVENTION IN AUTOMOTIVE WHEEL MANUFACTURING

ABSTRACT: Automotive wheels can be classified into 3 segments according to the material used in their manufacture: there are those made of light alloy (basically aluminum), those made of steel (can be extra mild steel, low carbon steel, HSLA or dual phase steels). However, we will only look at steel and alloy wheels, whereas both types of wheels (made of steel and made of alloy (aluminum alloys) have characteristics that together would yield a part with a balance of excellent mechanical properties, a cost not so different from the general presented by the market and a satisfactory aesthetic quality, it was decided to make a study with the purpose of making possible the production of a part that presents improvements in the manufacture of the two analyzed wheels. (Fe-C) and light alloy (aluminum), in addition to studying possible failures and simulating s concerning wheels with the aid of solidworks software.

KEYWORDS: Wheels, failures, welding

1 | INTRODUÇÃO

A roda é um dos instrumentos mais antigos inventados pelo homem; desde o início dos tempos, o homem sentiu a necessidade de inventar coisas; foi diante desse conceito que surgiram as primeiras rodas, com o objetivo de facilitar e agilizar a trajetória e o curso da sendo humano.

A roda é um item de segurança que deve atender aos altos padrões de projeto e fabricação para fornecer, além da estética, maior conforto ao dirigir e menor consumo de combustível. Sua função é estrutural, uma vez que o conjunto formado por roda e pneu tem a função de manter o veículo em contato com a pista e transmitir do veículo para a pista. Todos os esforços decorrentes do peso do veículo, ou seja, os sistemas de tração, frenagem e direção, transmitem ao veículo todo o esforço que se desprende das irregularidades e obstáculos da pista durante o táxi (Barros Neto, 2009).

2 | METODOLOGIA

Para a produção deste artigo, foi realizado um estudo de diversos artigos sobre rodas de aço e alumínio, com o objetivo de obter o maior número possível de dados e informações sobre as estruturas e formas de fabricação, bem como os materiais utilizados para conhecer as vários tipos de falhas e formas de prevenção.

Outra característica que provou ser muito útil é o estudo, que foi o uso de alguns vídeos em relação ao processo de fabricação, tanto para aço quanto para alumínio. E, como último recurso, foi feita a consulta de livros, principalmente o livro “ciência dos materiais”, uma vez que buscava analisar a microestrutura dos materiais utilizados na fabricação de rodas e as possíveis falhas e diversas formas de otimização na fabricação de rodas de aço e alumínio.

3 | RESULTADOS E DISCURSÕES

3.1 Aplicação de aço na fabricação de rodas na indústria automotiva



Figura 1. Rodas de aço. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/mitos-e-verdades-sobre-as-rodas-de-liga-leve/>

As rodas de aço apresentam diferentemente das características, o alto peso, quando comparadas às rodas de liga leve, devido à microestrutura do material utilizado. As rodas de aço são forjadas a partir de três tipos de materiais: são aços dispersos doces, aços bifásicos e aços ARBL ou BLAR (ou aços HSLA). Os aços extra-doces têm baixo teor de carbono, menos de 0,15%, portanto, possuem um limite de escoamento entre 170 e 180 (MPa) e um limite de resistência à tração (LRT) de 305 a 325 (MPa). Devido a esses valores, os aços extra-doces apresentam boa usinabilidade e conformabilidade, mas oferecem considerável ductilidade, no entanto, não apresentam valores desejáveis em relação ao peso, pois possuem densidade superior a 7 / . (Aços de alta resistência e courobaixo).

3.2 Processo de fabricação e microestrutura de rodas de aço

As rodas são estruturalmente aro e disco e podem ser feitas de alumínio, aço e outras ligas. Muitos elementos metálicos podem ser combinados com o alumínio para formar suas ligas, sendo os mais usados o cobre, magnésio, manganês, silício e zinco. Dependendo do produto, as ligas de alumínio podem ser classificadas como

plástico ou ligas fundidas. Dentro dessas categorias, as ligas são agrupadas em série de acordo com os principais elementos de liga (Moreira, 2011; Furlan, 2008). Podemos analisar o processo de fabricação conforme a figura 2:

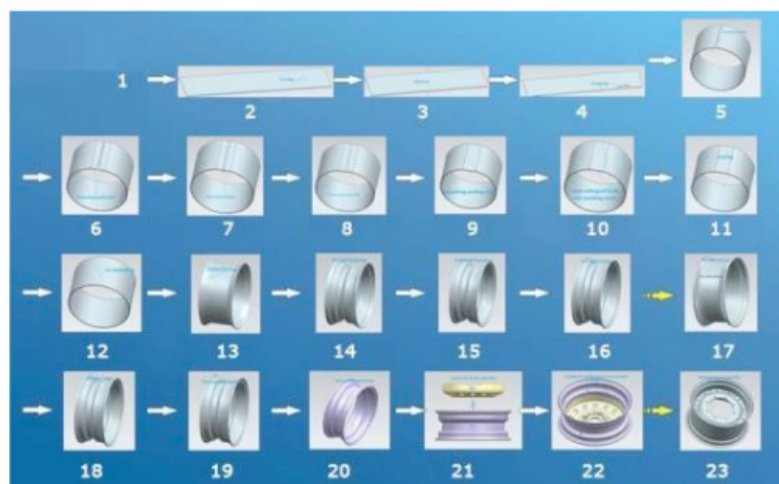


Figura 2. Representação esquemática do processo de fabricação das rodas de aço. Disponível em: <http://wheelrimmaking.com/profile/wheel-manufacturing/199771/0/>

3.3 Aplicação de alumínio na fabricação de rodas da indústria automotiva

A indústria automotiva substituiu o ferro fundido e o aço por ligas de alumínio, sendo a principal razão a força mecânica e o peso. Essa resistência específica à tração é fortemente influenciada pela microestrutura polifásica das ligas de alumínio (Warmizek, 2004).

3.4 Processo de fabricação e microestrutura de rodas de alumínio

Existem basicamente três tipos de processo de fabricação de rodas de alumínio, o derretimento no qual o alumínio fundido é fundido em moldes de baixa pressão, aquele injetado no qual o alumínio fundido é comprimido sob pressão em moldes e as peças forjadas mais usadas em caminhões e ônibus “. existem outros processos menos usuais, mas os principais e mais utilizados são os citados. A maioria das rodas de alumínio são fundidas em uma peça, mas também existem.

Modelos em que a face é soldada na parte em que os pneus (como as rodas originais do eclipse 2G de 1994 a 1999). um processo amplamente usado para fabricar rodas personalizadas. “(História das rodas).

As ligas de alumínio mais comumente usadas no processo de fabricação de rodas de liga leve são magnésio, silício, titânio e estrôncio, cada uma com suas próprias particularidades. Por exemplo, as ligas Al-Ti possuem alta resistência e as ligas AL-Si possuem boa maleabilidade, o que facilita o processo de fabricação e é um ponto positivo na própria aplicação. As ligas Al-Ti (titânio de 0,05 a 0,2) são de alta resistência à tração e boas ligas de ductilidade. As ligas de Al-Si aumentam a fluidez,

reduzem o encolhimento e melhoram a soldabilidade, mas em altos níveis de Si, a usinagem é difícil. Essas ligas têm excelente resistência à corrosão, boa resistência à tração e excelente ductilidade. Independentemente de qual elemento seja utilizado na liga, com alumínio, o resultado será uma liga altamente resistente com baixa absorção de energia e / ou tensões (inversa da tenacidade). (Estudobibliográfico).

3.5 Falhas e otimização para rodas de aço e alumínio

3.5.1 Modelo de roda usado

Para este estudo, uma roda de aço foi modelada:

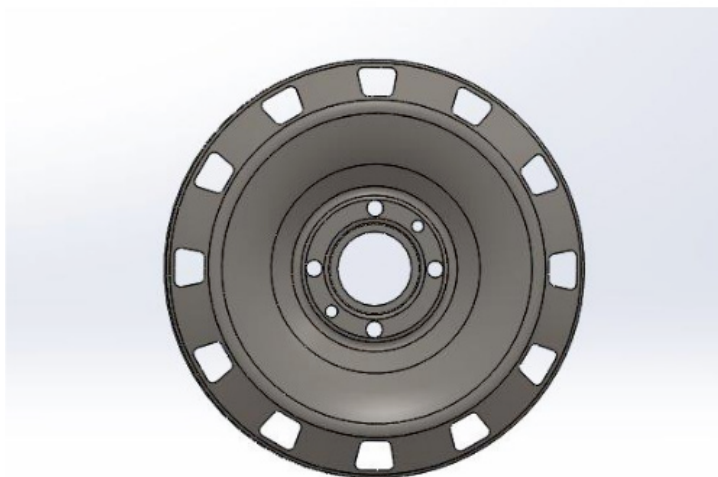


Figura 3: Disco de roda de aço (autor, 2019)



Figura 4: Modelo final da roda de aço usada nas simulações (autor, 2019)

A modelagem foi realizada usando o software SolidWorks, um programa de modelagem 3D. Na Figura 3, serão apresentadas algumas imagens do processo de modelagem do disco da roda de aço, mostrando brevemente algumas etapas

do perfil para geração de superfície de revolução, arredondamento de arestas, operações booleanas, furos, etc.

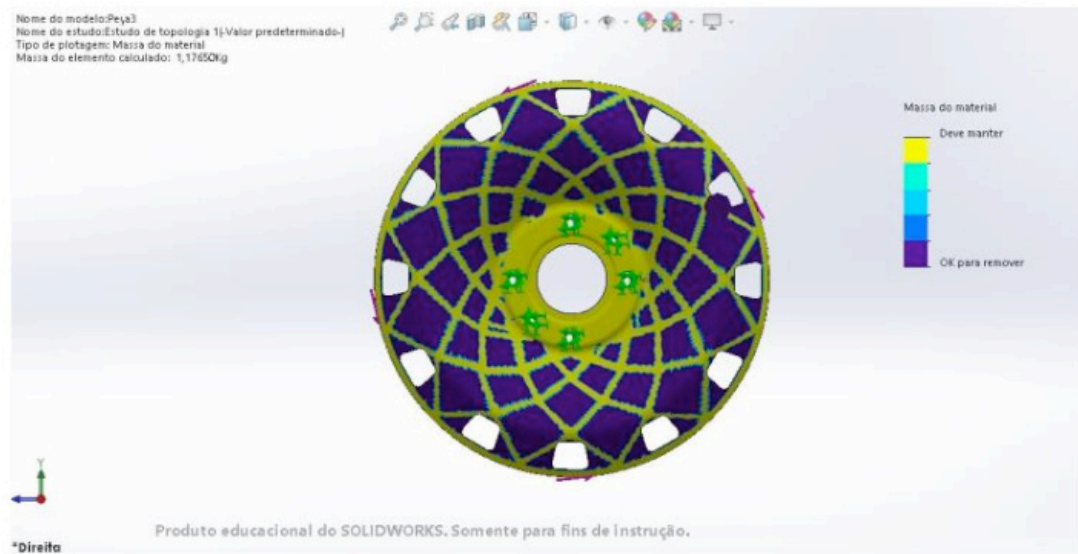


Figura 5: Estudo de topologia 1 (autor, 2019)

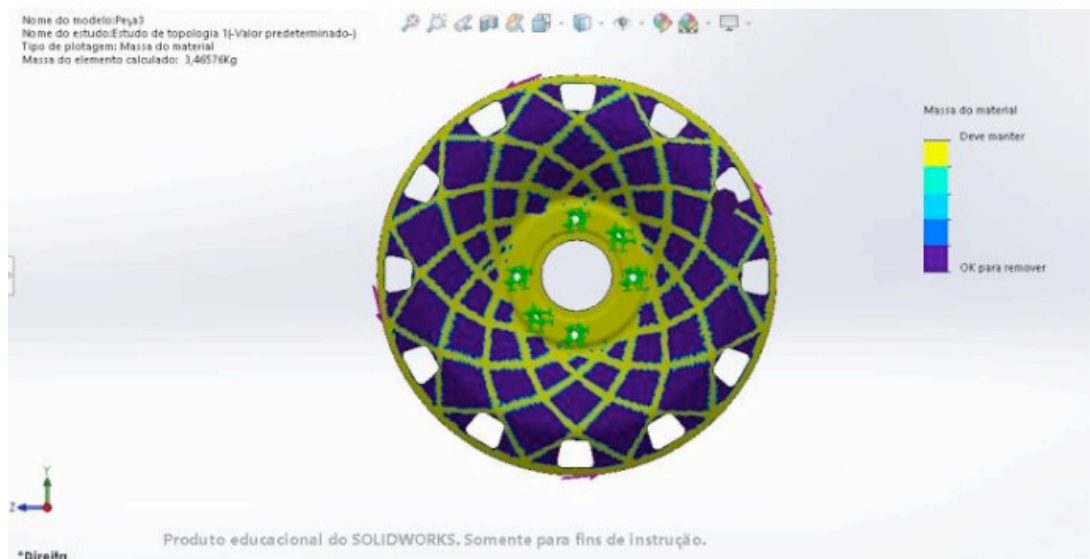


Figura 6: Estudo de topologia 2 (autor, 2019)

De acordo com a análise topológica das rodas de aço e alumínio, e as análises são as mesmas, os materiais em excesso da roda foram removidos, conforme ilustrado nas figuras 5 e 6, portanto, com a redução do material da roda, percebeu-se que o diâmetro, a largura e a força não variam. Assim, o fabricante obtém menor peso da roda, melhor custo benefício sem alterar a resistência.

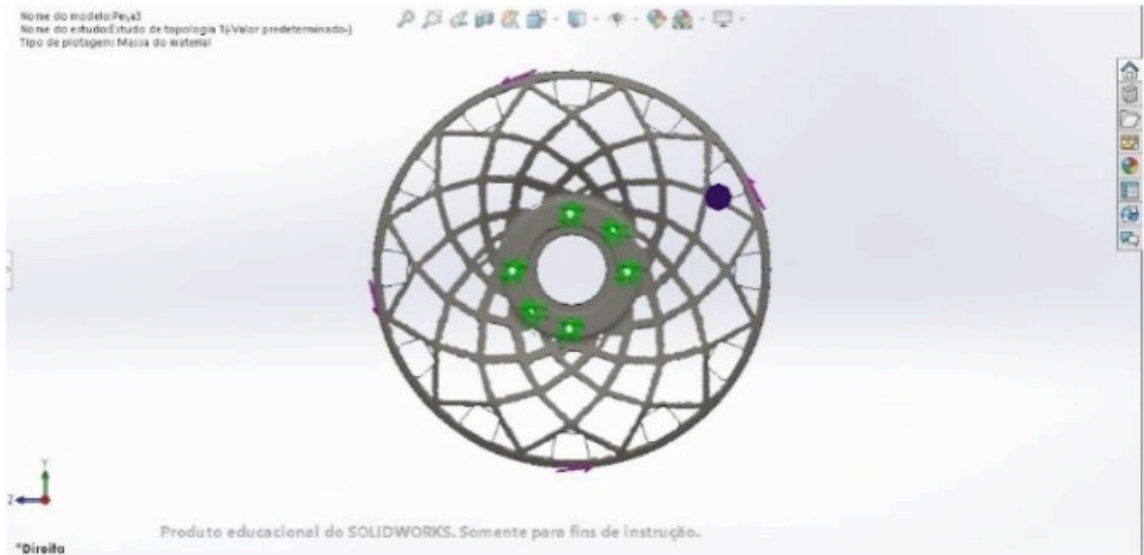


Figura 7 (autor, 2019)

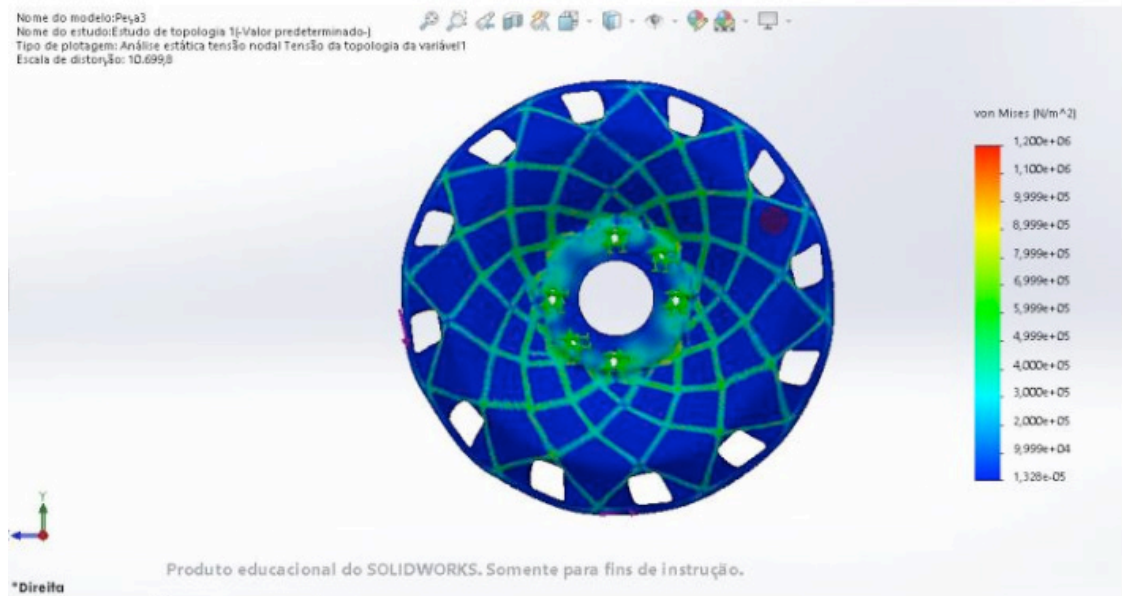


Figura 8: Análise estática da tensão nodal 1 (autor, 2019)

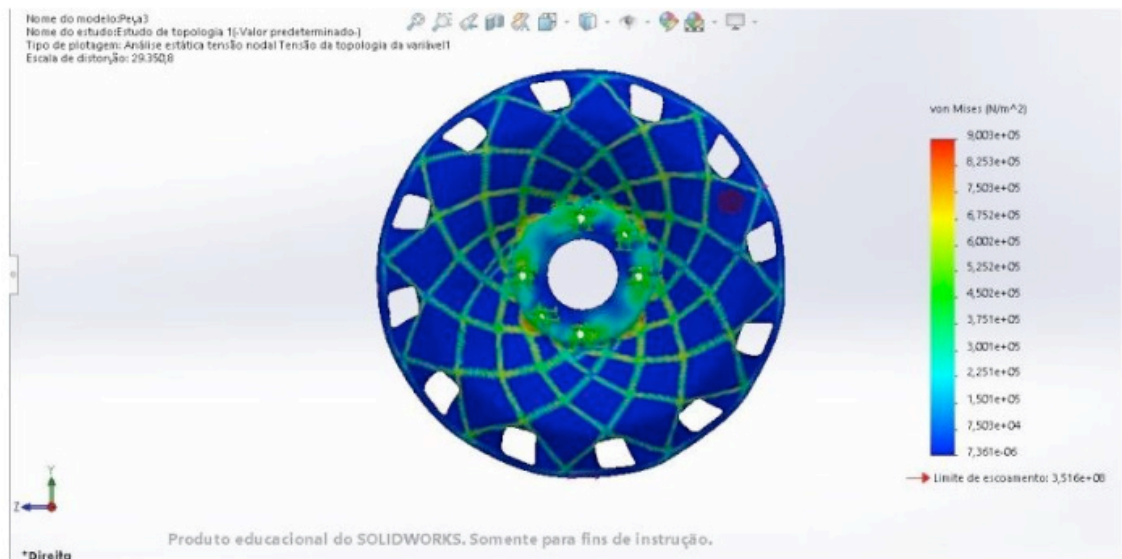


Figura 9: Análise estática da tensão nodal 2 (autor, 2019)

Como pode ser observadas nessas análises, regiões com tensões equivalentes mais altas aparecem dentro do flange, como visto acima. Note-se também que na região do disco da roda as tensões podem ser consideradas uma região segura quanto à intensidade das tensões que atuam sobre ela. Uma região que possui valores de tensão equivalentes consideráveis está na extremidade do flange da borda, mas nessa região o gradiente de tensão é menor do que na região do pé da flange devido à variação repentina na geometria nessa região.

A presença de defeitos dentro das peças é um item que afeta o desempenho do produto. Para (Reilly et al., 2013), o tamanho, a quantidade e a localização dos poros: macro e micro, inclusões ou filmes de óxido, podem ter um impacto significativo nas propriedades mecânicas e na fadiga do material. Nesse cenário, as rodas podem tolerar um número finito de defeitos e ainda atender às especificações do cliente. A quantidade permitida depende do defeito, do seu tipo e da sua localização.

A presença de defeitos como porosidade tem grande influência no processo de formação e no início da trinca. A ocorrência desses defeitos tem uma influência significativa em propriedades mecânicas como ductilidade e fadiga (Asm Internacional, 1998).

A fadiga é um processo de mudança estrutural progressiva, localizada e permanente, em que um componente está sujeito a carga cíclica em algum ponto ou pontos, determinando a ocorrência de trincas ou fraturas completas após vários ciclos (Asm Internacional, 1998).

Para otimizar o processo, é possível adicionar alguns componentes que melhoram o desempenho da roda, ajudando em sua microestrutura e evitando erros futuros, como os processos mencionados abaixo.

Os ARBLs, também conhecidos como aços microligados, foram projetados com o objetivo de fornecer melhores propriedades mecânicas, têm uma tensão de escoamento superior a 275 MPa e / ou melhor resistência à corrosão atmosférica do que os aços carbono convencionais. Sua composição química pode variar de acordo com a espessura do produto final, a fim de atender aos requisitos das propriedades mecânicas. As chapas e chapas dos aços ARBL possuem excelente soldabilidade e conformabilidade, garantidas pelo baixo teor de carbono, entre 0,05 e 0,25% C (Davis, 2001). Permite a obtenção de uma microestrutura composta de grãos refinados na condição de laminado, com benefícios tanto em resistência quanto em resistência (Skobir, 2011).

Os requisitos de aplicação, como resistência à corrosão, formabilidade, soldabilidade, resistência à fadiga, redução de espessura e relação resistência / peso, são fatores decisivos no processo de escolha de um aço ARBL específico. Esse conjunto de características dos aços ARBL levou ao seu crescente uso em componentes automotivos (Skobir, 2011).

Os aços microligados ferríticos perlíticos podem conter V, Nb e Ti como elementos de liga única ou em combinação. O principal papel desses elementos é promover o refino do tamanho dos grãos ferríticos, no entanto, eles podem desenvolver a função adicional de aumentar a resistência dos aços ferrítico - perlíticos por meio do endurecimento por precipitação (Kim, 1983).

O nível de endurecimento por precipitação depende do tamanho e da distribuição dos precipitados. Os precipitados formados na austenita desejam que sejam partículas não dissolvidas retidas durante o processo de reaquecimento ou partículas formadas por precipitação induzida por deformação, contribuem muito pouco para o endurecimento, pois são grossas e espaçadas. Por outro lado, os precipitados formados na interface entre austenita / ferrita durante a transformação de fase e os precipitados durante o resfriamento do resfriador são pequenos e pouco distribuídos, resultando em um endurecimento considerável. Portanto, é necessário manter uma certa quantidade de elemento de liga em solução na austenita para subsequente precipitação na ferrita (Kim, 1983).

Para a fabricação de rodas, é possível usar as ligas 4XXX Al-Si assim que essas ligas de alumínio são amplamente utilizadas nos processos de fundição para a fabricação de peças com geometrias complexas, como as rodas, pois a fluidez aumentada favorece o preenchimento da cavidade do molde, principais peças de paredes finas. Dessa forma, os componentes da liga desempenham um papel extremamente importante no processo de solidificação (Asm Internacional, 1998).

O manganês possui uma solubilidade de 1,8% a 657 ° com alumínio e menos de 0,2% à temperatura ambiente. A adição de manganês nas ligas injetadas ocorre entre 0,2% e 0,55%, a fim de atuar como refinador de grãos para reduzir a contração. A grande função desse elemento é neutralizar o ferro, evitando a precipitação de compostos primários e consequente fragilização da liga. Juntamente com suas formas, o composto chinês escrito (Asm Internacional, 1998).

Magnésio, que aumenta a resistência e a dureza pela formação de um composto intermetálico, Mg₂Si (Asm Internacional, 1998). No estudo de (Santos et al., 2006), foi comparada a resistência à fadiga de duas ligas de Al-Si utilizadas na fabricação de blocos de motor.

4 | CONCLUSÃO

Após o estudo realizado com as rodas acima mencionadas (nomeadamente rodas de aço e rodas de ligas de alumínio), foi necessário melhorá-las e otimizá-las em termos de peso, custo e, claro, propriedades mecânicas. Para isso, propomos e / ou sugerimos mudanças em sua estrutura e seu material (material utilizado na fabricação). O estudo mais detalhado é fundamental para a aplicação dessas

propostas e / ou sugestões. Testes no produto final também são essenciais para garantir segurança e eficiência. Se os resultados dos testes forem favoráveis, a roda obtida apresentará características e propriedades incríveis (por exemplo: valor do peso abaixo do valor apresentado pelas rodas de aço atualmente no mercado e maior capacidade de absorver impactos e tensões, o que, conseqüentemente e respectivamente resulta em economia de combustível e segurança), com um preço acessível, o que seria um grande avanço no desenvolvimento desse elemento tão primordial.

AGRADECIMENTOS

Antes de mais, gostaríamos de agradecer a Deus, que nos deu o conhecimento necessário para realizar este trabalho. Dedicamos essa pesquisa à nossa família, que nos motiva e nos apoia todos os dias.

REFERENCIAS

AsmInternational. Handbook, Vol. 15 Casting. Manual, EUA, 1998.

Barros Neto, E. F. **Testes de fadiga de rodasveiculares: Proposta de estabelecimento, para os testes emlaboratório, dos carregamentos que simulemosocorridos no teste de durabilidadeestrutural de veículoempista.** 2009. Dissertação (Mestrado) – USP: 2009

Callister, William d. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução.**Rio de Janeiro: LTC, 2008. 709

Davis, J. R. **Alloying: Understanding the Basics.**Ohio: ASM International, 2001. ISBN 0- 87170-744-6.

Furlan, T. S. **Influência do teor de estrôncionamodificação da liga A356.** São Paulo, 2008. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2008.

Kim, H.Y., Han, S.W., LEE, H.M. **The Influence of Mn and Cr on the Tensile Properties of A3560.20Fe Alloy.**Materials Letters, v. 60(15), p. 1880-1883, 2006.

http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6340-acos-de-alta-resistencia-e-baixa-liga#V4vNb7grLIU

http://www.tede.udesc.br/tde_arquivos/11/TDE-2010-10-04T084252Z-818/Publico/2%20Estudo%20Bibliografico.pdf

Warmizek, M. **Aluminum-Alloys Casting alloys, Atlas of microfractographs,** ASM international, 2004.

Skobir, D. A. **High-Strenght Low-Alloy (HSLA) Steels.**Materialintehnologije, v. 45, n. 4, p.295 -301, 2011.

MANUFACTURE OF COMPLEX PARTS IN THIN SHEETS OF COMMERCIALY PURE ALUMINIUM USING INCREMENTAL SHEET FORMING METHOD

Data de aceite: 12/02/2020

Felipe Chagas Rodrigues de Souza

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

Felipe dos Anjos Rodrigues Campos

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

Augusto César Santos Peixoto

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

ABSTRACT: This work aims to study the process of Incremental Sheet Forming (ISF) on a pure aluminum sheet. Four tests were made using a CNC machining center, 0.5 mm thickness sheets of commercially pure aluminum, a plate press support and a forming tool with semi-spherical tip. It was assessed in the tests how the pure aluminum plate responded to the variation of feed speed of forming tool. In addition, other test was performed without lubrication in order to verify effects of dry condition in characteristics of final part. Roughness measurements were carried to evaluate surface quality and metallographic analysis were performed on the stamped plates as way of verifying deformation

of the sheet in its thickness direction. A good conformability of aluminum plates was found, and it was demonstrated how lubrication has crucial importance through the process. It was also shown that feed speed has great influence in final part aspects such as cumulated deformation and surface finishing.

KEYWORDS: incremental sheet forming, commercially pure aluminum, feed speed, lubrication.

1 | INTRODUCTION

Used in the production of series and prototyping, incremental sheet forming (ISF) is a major technological development, being able to minimize utilization of expensive tooling and specific equipment in forming processes, thus reducing final cost of products (Daleffe, 2008). Unlike the traditional processes used for stamping of sheets, which usually rely on hard steel dies and hydraulic or mechanical press, simple, low-cost tools are employed in this process. Since the required time to perform incremental sheet forming process is high, it is not a recommended for producing large batches, being more advantageous for small batches and rapid prototyping (Fritzen, 2012). Though it is still not widely used, its main

applications could be in aerospace and medical industry, for example in production of prosthetic devices and or the nose of airplanes. In its most simple configuration, it consists of using a Computerized Numerical Controlled (CNC) machine to drive a rotating tool with spherical tip against the fixed sheet in a determined path, sequentially deforming it at each pass of tool until the desired shape is obtained. The tool path is produced through use of CAD/CAM software (Cardoso, 2018), creating a numerically controlled movement.

Deformation in this process naturally occurs in a localized manner, allowing greater deformations of sheet than it is normally achieved in conventional sheet deformation processes (Silva et al., 2007). The process is governed by several input parameters such as sheet thickness, tool diameter, wall angle, step size, tool rotation and feed speed (Golabi et al., 2014).

The use of lubrication influences directly on many factors like tool wear, surface roughness, reduction of sheet thickness due to stretching, localized temperature, friction, vibration and noises (Castelan, 2007). Some of the common lubricants employed are tallow, oil mixed tallow and lithium-based grease (Daleffe, 2008). Zhang et al. (2010) studied the impact of solid lubricants such as solid graphite, $K_2Ti_4O_9$ and MoS_2 during hot incremental forming on sheets of magnesium alloy AZ31. Results suggested that lubrication methods using solid lubrication have excellent performance with good surface quality as indicated by roughness measurements.

Aluminum is the third most abundant material in the Earth's crust and widely used in industrial applications (Budd, 1999). Compared to other engineering materials it has low melting temperature, around 660 °C (Callister, 2002), which facilitates its metallurgical manipulation. In addition, aluminum contains a much higher ductility than others metals (Manna and Bhattacharyya, 2003), withstanding great plastic strain upon forming.

This material is used in a broad range of applications, from conditioning containers for food and beverages to machines and equipment of high technology as in the aeronautical, naval and automobile industry (Araújo, 2013; All Wood et al., 2014). Its characteristics guarantees good advantages among other materials, like reasonable toughness, good thermal conductivity, excellent corrosion resistance and low specific weight. It also can be easier deformed through lamination, which allows it to be produced as plates without any major concerns (Chiaverini, 1986).

The motivation of this work is to evaluate the effects of ISF process parameters in characteristics of an aluminum final part, regarding feed speed and the lubrication. Also, it aims to investigate the stampability of the material and its performance in the processing conditions employed.

2 | METHODOLOGY

The experimental tests were carried out in a CNC ROMI Discovery 760 machining center. In order to generate tool path and simulate it according to the desired geometry of final part and its dimensions, FUSION 360® software from AUTODESK® was used to generate the code G, which is responsible for trajectory of the tool and helicoidally movement of machine axis (X,Y,Z). To ensure fixation of the plates, a system was developed with four holders having 4-holes each as show at Fig. 1, in such way that the workpiece can be clamped to it.



Figure 1. Support for fixing the pure aluminum sheet.

Stamping tool used in the tests was turned from a rod of AISI 52100 steel, being 98.5 mm long with tip in hemispherical shape having a diameter of 5.65 mm. It was placed in the machine tool holder in place of the usual milling tool. These are shown in Fig. 2.



Figure 2. Hemispherical tip tool fixed at the mandrel at CNC machine.

The plates used were made of commercially pure aluminum (Al) with 0.5 mm thickness. These were acquired with width 1000 mm and 500 mm length, from which samples were cut in square shape of 240 mm wide through the use of electrical scissors. The geometry chosen for this work was a cone trunk with a higher diameter of 120 mm and a depth of 75 mm, yielding a wall angle of 54° . Fig. 3 shows a 2D geometry representation of the theoretical final form of stamped sheet, in software FUSION 360®. A SAE 5W30 oil was used as lubricant. An oil film was poured onto the plate and as the experiment was run, small amounts of lubricating oil were progressively added into the generated cavity since part of it evaporated due to heat generation. In addition, a test was performed with no lubrication (dry condition), with the goal of analyzing the influence of the lubricating fluid.

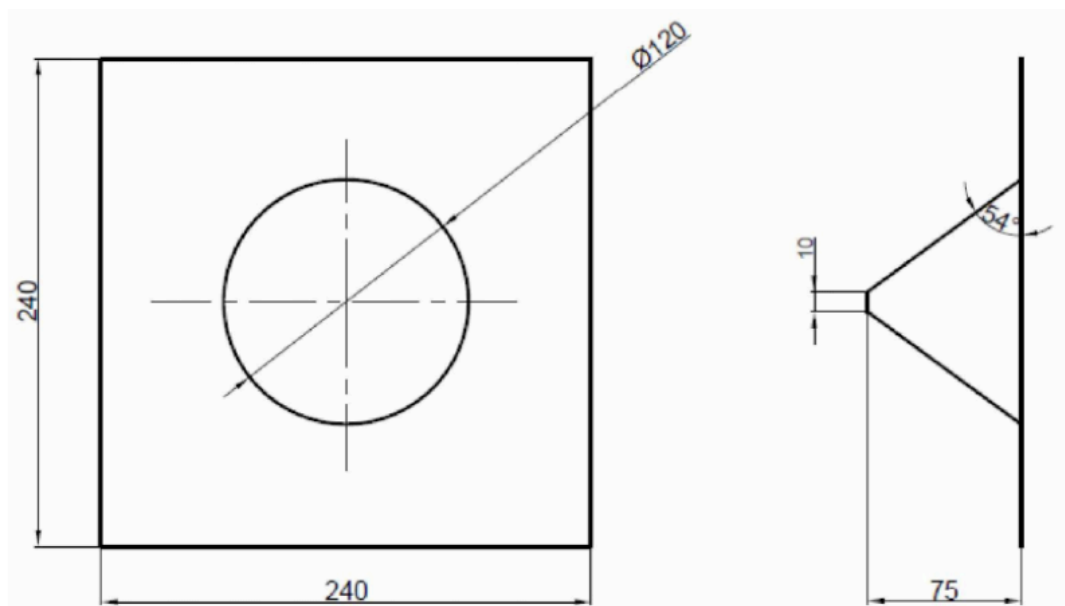


Figure 3. 2D geometry representation of the piece to be stamped.

Square samples of 12 mm width of the aluminum material was removed prior to the stamping tests for metallographic analysis, containing only the rolling stresses. In addition, samples of same dimensions were cut for each test after stamping, in order to compare the metallographic structure after deformation from the process. Samples were grinded in sandpaper of mesh 80, 220 and 320, and then etched with a chemical solution composed by 10 mL of sulfuric acid, 15 mL of concentrated hydrochloric acid, 25 ml of concentrated nitric acid and 50 ml of distilled water.

For each test samples were removed from the stamped region for roughness measurement using a disc saw, in order to obtain the relation between test parameters and the surface roughness achieved. 5 measurements were performed for each part, and the mean and standard deviation of the measured values were then calculated. The parameters evaluated were Rq, Rt and Ra with a cut-off of 0.8 μm and a sampling length of 4.8 mm.

Before each test the tool was visually inspected for wear signs and was grinded in 320 mesh sandpaper when excessive wear was apparent. The parameters employed in the tests, both the constant and the varied ones are shown in Fig. 1.

Parameters	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Used Tool	5.65 mm semi-spherical	5.65 mm semi-spherical	5.65 mm semi-spherical	5.65 mm semi-spherical
Geometry of the workpiece	Cone Trunk	Cone Trunk	Cone Trunk	Cone Trunk
Machine rotation [rpm]	1,000	1,000	1,000	1,000
Lubrication	SAE 5W30	SAE 5W30	SAE 5W30	-
Increment ΔZ [mm]	0.5	0.5	0.5	0.5
Feed speed ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	1,000	3,000	6,000	6,000

Table 1. Incremental sheet forming parameters.

3 | RESULTS AND DISCUSIONS

For test 1, with a feed speed of 1000 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ the test was performed until the end of the process without any interruption, and the generated part along the surface reached a depth of 73.1 mm which is close to the desired 75 mm. Therefore the elastic recovery of the work material was 2.53%. For test 2, in which feed speed was increased to 3000 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, test was also performed until the end, producing a cone trunk 72.3 mm deep and with a elastic return of 2.7 mm, i.e. 3.6% less than when compared with generated model predicted by FUSION 360®. In test 3, with a feed speed of 6000 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, surface appeared to be much coarser when compared to tests 1 and 2. The depth measured was 71.6 mm deep, yielding an elastic return of 4.53% in relation to the designed model. For test 4 done in dry condition and using a feed speed of 6000 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$, operation had to be interrupted after 18 minutes of duration due to cracking of stamped part. Noise was also much greater, indicating

a higher friction coefficient. Besides, a completely degraded surface could be seen. These factors are believed to relate to high temperatures developed during the process, which diminishes material toughness and causes it to reach maximum strain with lower stresses. By the time the trunk was broken as show in Fig. 4(d), it had a depth of 14 mm.

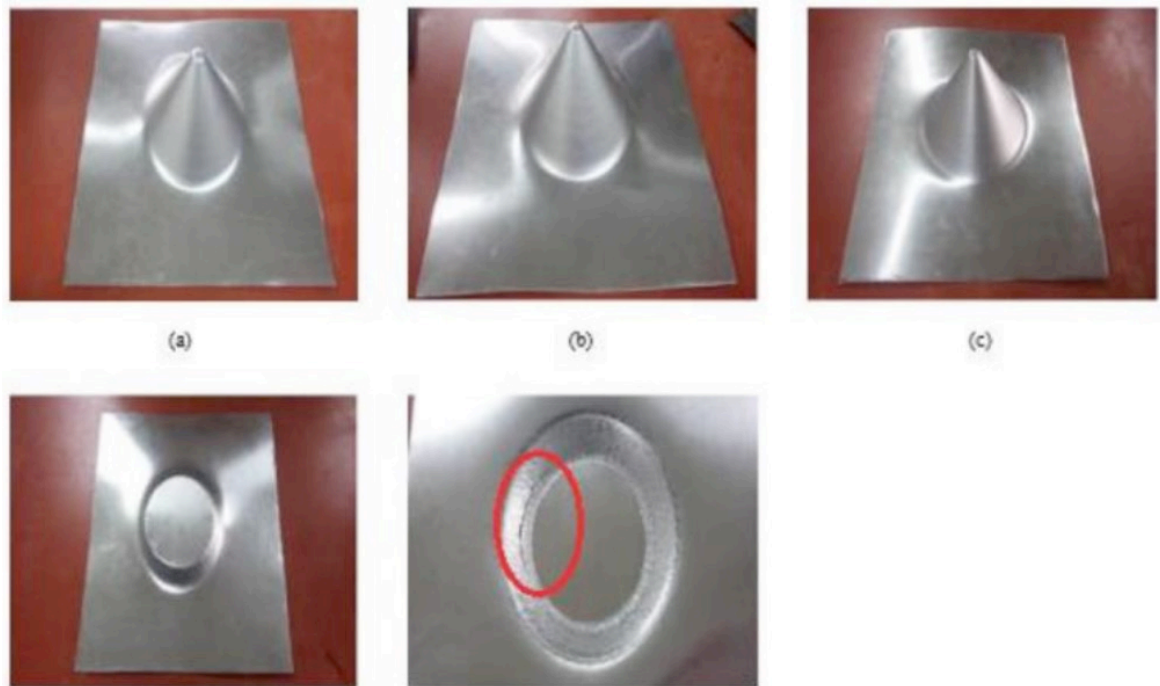


Figure 4. a) Stamped sheet after test 1; b) after test 2; c) after test 3; d) after test 4; e) Detail of surface finish and crack produced in test 4.

Elastic return was slightly enhanced when feed rate increased. The elastic return phenomenon occurs because of regions of the stamped part that were subjected to stresses lower than the yield limit of material, mainly close to the holders of the clamping device. Since the depth reached by the tool in CNC system is fixed, the results indicate that the deformed region of parts was slightly shorter for samples processed at greater feed rates, considering direction Z. It is likely that the greater strain rates produced more heat which resulted in instantaneous decrease of maximum tensile strength on material beneath the tool-workpiece contact area. This way the necessary pressure to deform the material in the trunk cone region was smaller, and a greater part of the force was supported by the elastic deformed zone outside the cone. Since a greater proportion of the sheet was stretched in elastic regime, the return was also greater after tension was removed from the sheet.

It was evident that for commercially pure aluminum in the conditions tested it is essential to use lubrication, since dry condition generates a big friction coefficient at tool-chip interface. Due to tool rotation heat concentration occurs close to this interface, which diminishes material resistance. As the tool revolves in a helicoidally path, several temperature variations occur at the piece during the test. These variations

originate traction and compression stresses in the sheet. This effect contributes to generation and propagation of cracks, as occurred in test 4. Therefore, in order to improve surface quality, decrease frictional forces, temperature of the plate, and improve heat dissipation, lubricant utilization is imperative.

3.1 Roughness analysis

Figure 5 shows the average values of roughness parameters Ra, Rq, Rt, the most commonly measured. Ra is the arithmetic mean of the distance of peaks and valleys to the average line. Rq is the RMS (Root Mean Square) value of the roughness in the evaluation length. Thus, this parameter tends to present greater values than Ra, since it accentuates the values of peaks and valleys that deviate from the mean. Finally, the roughness parameter Rt defines the greatest peak to valley depth measured within the evaluation length range (Cavaler, 2010). Analyzing the graph of Fig. 5 it is possible to notice that while the feed speed increased, the surface and its roughness parameters tend to increase as well. Because of the greater strain rate and heat generation of this condition, it is likely that the sheet was more prone to deform locally in the interface region during tool passage, increasing the spatial frequency of the asperities. In test 4, in which there was no lubrication, a high value of roughness is noticed in comparison to the other ones, result already expected, due to apparent poor quality of produced surface.

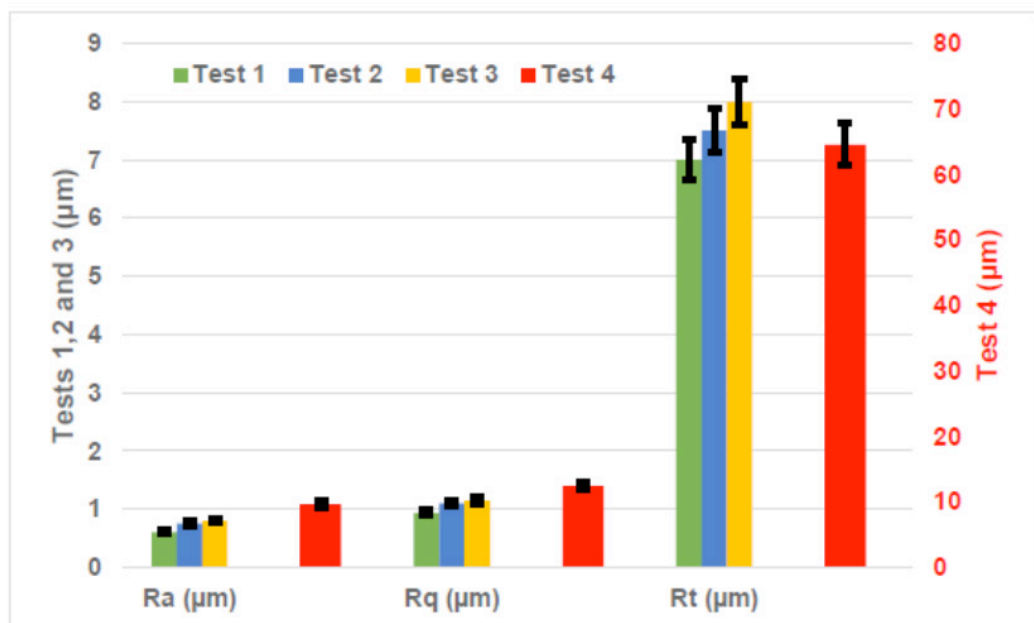


Figure 5. Graph showing results for the roughness parameters Rt, Rq and Rt after ISF tests.

The process is slow, taking from 3h for lower feed speeds and 2h for higher values of this parameter. For this reason, it is not effective to serial production when the work pieces show simple shapes. On the other hand, in case of complex shapes,

this process could be used for manufacturing of medium size batches of work pieces without the need of previous molds and dies manufacturing, reducing substantially the costs of the final product.

3.2 Metallographic analysis

As a criterion for comparison, an aluminum sample was taken before the tests to analyze the change in microstructure of the material due to ISF processing. Figure 6(a) shows the microstructure of the aluminum sheet before the tests. The gray color indicates the aluminum matrix (solid solution α phase) with dispersed particles, while the black spots represent micro-constituents in the matrix. Figure 6(b) shows the microstructure after test 1. It is possible to see a small increase in the amount of micro-constituents and an increase in particle size of the aluminum matrix. Although heating time for a determined point in the sheet is limited, due to low recrystallization temperature of aluminum it is possible for this phenomenon to have taken place in the deformed sheet. In test 2, shown in Fig. 6(c), a significant increase was observed in the micro-constituents quantity along the aluminum matrix, and also an increase of larger precipitates with more rugged characteristic. In test 3, from Fig. 6(d) the trend to increase of the amount of micro-constituents was maintained, and there was also the appearance of large number of gray spots with clearer characteristics in its structure. In test 4, from Fig. 6(e), it is possible to see a rougher structure with a relief characteristic, and larger micro-constituents. Through the metallographic analysis it was not possible to identify the directions of lamination or the grain boundaries in the structure. However, it was possible to verify small surface modifications in the structure in each test and this behavior indicate the anisotropy of the material due to the different angles which the samples were cut off from the work material and its lamination direction. With the increase of the feed speed, a gradual increase of micro-constituents in the structure was generated, mainly in the micrograph of test 4, which was performed without lubrication.

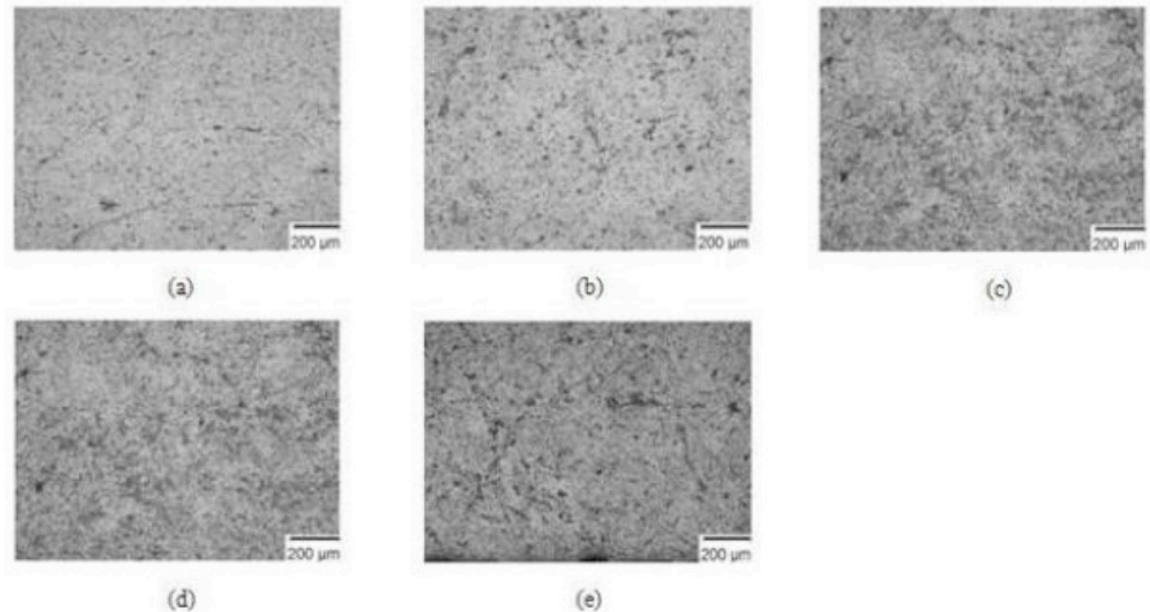


Figure 6. Micrographs of incremental sheet forming tests: a) non-deformed sheet; b) test 1; c) test 2; d) test 3; e) test 4.

4 | CONCLUSION

After this study the following conclusions could be drawn:

- The application of the ISF process has been effective for use with CNC machines. The process is slow (2 to 3h per piece) and for this reason it is not effective to produce large batches when desired part has simple shape.

- Commercially pure aluminum proved to have an excellent behavior for incremental sheet forming, once the produced parts had low roughness and the elastic recovery was relatively low. This effect can be further controlled during the tool path generation when it is previously known or when forming is first simulated by Finite Element Method (FEM), or also through accumulated know-how of the process.

- Lubrication proved to be essential during the process. In the test made using dry condition the sheet fractured and presented the poorest surface quality measured.

- Variation of the feed speed, which was main parameter of this work, presented differences in the geometric aspect, surface quality and microstructural changes. Greater strain rates can be associated with greater heat generation, which leads to decrease of mechanical properties of the material.

- Analyzing the increase in feed speed, it could be concluded that it is prone to increase the elastic recovery, besides damaging the roughness of the part. Microstructural analysis indicates that this higher feed also causes several microstructural variations, indicating that the obtained plastically deformed part is very sensitive to actuating shear forces and strain rates.

It is then possible to conclude that, for smaller feed speed, a better workpiece finish is achieved, but it will take longer machining time. Therefore, for economic purposes one must choose an ideal value to be defined as a parameter in order to

achieve required quality of the part with the shortest production time.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to CNPq, FAPEMIG and CAPES for financial support and funding necessary to carry out this project.

REFERENCES

- Araújo, R. O., Lins, R. S., Carvalho, R.M.B., Franco, D.L., Filho, J.B., 2013. “Usinagem de alumínio com ferramenta de geometria definida a base de zircônio ZrO_2 ”. *Sciencomm*, Vols. 3, pp.25-30.
- Budd, G., 1999. *Resources and Production of Aluminum*. Birmingham: European Aluminum Association.
- Callister, W.D, 2002. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons, New Jersey, 7nd edition.
- Cardoso. J. F. et al., 2018. “Efeito do lubrificante na estampagem incremental de chapas de zinco”. *Sciencomm*, Vols. 8, pp.23-29.
- Castelan, J., 2007. *Utilização das tecnologias CAD/CAM para estampagem incremental do alumínio série 1000*. MSc dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Cavaler, L. C. C., 2010. *Parâmetros de conformação para a estampagem incremental de chapas de aço inoxidável AISI 304L*. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Chiaverini, V., 1986. *Tecnologia Mecânica, materiais de construção mecânica*. Editora Makron Books, São Paulo, 2nd edition.
- Daleffe, A., 2008. *Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de alumínio puro*. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Fritzen, D., 2012. *Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de latão 70/30*. Ph.D. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Golabi S. and Khazaali H., 2014. “Determining frustum depth of 304 stainless steel plates with various diameters and thicknesses by incremental forming”. *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vols. 28, pp. 3273-3278.
- Manna, A., Bhattacharyya, B. A., 2003.” Study on Different tooling systems during machining of Al/SiC-MMC”. *Journal of Materials Processing Technology*, Vols. 123, pp. 711-716.
- Silva M. B., Nielsen P. S., Bay N., Martins P. A. F., 2011. “Failure mechanisms in single point incremental forming of metals”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vols. 56, pp. 893-903.
- Zhang, Q. et al, 2010. “Warm negative incremental forming of magnesium alloy AZ31 sheet: new lubricating method”. *Journal of Materials Processing Technology*, Vols 210, pp. 323-229.

STUDY OF DIFFERENT LUBRI-COOLANT CONDITIONS FOR INCREMENTAL SHEET FORMING OF THIN ZINC SHEETS

Data de aceite: 12/02/2020

Felipe dos Anjos Rodrigues Campos

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

Felipe Chagas Rodrigues de Souza

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

Pedro Henrique Pires França

FEMEC - UFU Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia

ABSTRACT: This study aims to evaluate the behavior of zinc sheets using single point incremental sheet forming process under four different lubricants. This stamping technique has gained prominence because it allows forming in CNC machining centers, without the need for specialized tooling, allowing the process of sheet forming at a relatively low cost. Part geometry was generated in a CAD/CAM software and plates were fixed in the CNC machine through a clamping device. Parameters were set according to works of previous authors in stamping of zinc and stainless steel parts. Roughness tests were conducted to evaluate surface quality, and material mechanical

properties were assessed through tensile tests. Results indicated that the zinc covered steel used possess good formability. Besides a slightly better surface quality was observed for lubricant containing graphite.

KEYWORDS: Zinc sheets, Incremental Sheet Forming, lubrication.

1 | INTRODUCTION

Mechanical forming process are those that aim to change the shape of a metallic body to another defined form without material removal, through plastic deformation. These include folding, lamination, forging, drawing and stamping, which are traditional strategies and differ as to the type of stresses applied and the working temperature.

Modelling of sheet metal or stamping is of special interest in the automobile, naval and aerospace industry, medical area and even for household items. However, most of the cited processes are intended for the production of large and medium lots, through use of extensive tooling, equipment and resources, such as hot and cold press, hard steel dies and heat treatment oven. These work well for production lines, yielding lower cost per piece. However, when a product is being developed

and a prototype is necessary, or when the quantity to be produced is in small, conventional stamping would be appropriate (TIBURI, 2007). Incremental Stamping or Incremental Sheet Forming (ISF) is an alternative process, which allows obtaining complex geometries with a CNC machine and simple tools, as used by Cao (2015) in studies of incremental forming. Nilsson (2002), whose results serve as a guide, has applied this process to zinc stamping jobs in profitable condition. There is vast literature on the process and it can be applied under various conditions, not only in metals but also in polymers. It also has a proven economic advantage under certain conditions, such as complex parts, when compared to conventional stamping. Mass and volume are kept constant, but material form and mechanical properties change according to process parameters such as tool rotation and feed, lubrication and tool path.

This work presents a study of this technique applied in pure zinc sheets of 0.5 mm thickness under different lubrication conditions. Final depth of stamped parts, presence of cracks due to processing and surface finish were assessed. The material initial mechanical properties and metallography were assessed and help to explain the influence of material characteristics in process results. Anisotropy coefficients were measured, and the influence of lubricating fluid in the process was discussed.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials used

The formability essays were performed on zinc sheets cut from a laminated blank to square shape of 240 mm wide and 0.5 mm thick. The tool used is 12 mm in diameter and a semispherical cap was turned from an AISI52100 steel rod. Before every test, its surface condition was verified by unaided eye and grinded in 300 mesh sandpaper when wear of the tip was apparent. All essays were performed on a CNC ROMI Discovery 760 machining center with 9 kW power capacity in the spindle.

Four different lubricants were used as follows. Semi-synthetic SAE 10W30 oil, which has viscosity of 4.1 mm²/s in room temperature and 9.3 to 12.5 mm²/s at 100°C, besides 0.882 g/cm³ density. Mono-viscous oil for SAE 90 gearbox with viscosity between 13.5 and 24 mm²/s and 0.89 g/cm³ density. Mix of SAE 90 oil with graphite as solid lubricant, which was added at the proportion of 10 g of graphite to 90 g of SAE 90 oil. At last, a test with a minimum quantity of lubricant (MQL) with a flow rate of 50 mL per hour was performed. For the metallographic analysis, samples were sequentially grinded on sandpapers of mesh 120, 250 and 300, polished and then etched in aqua regia. Scanning electron microscope (SEM) from HITACHI model TM 3000 was used to inspect the surface from one of the samples. Finally, tensile

tests were performed using three specimens taken from undeformed sheets, within lamination direction of 0° , 45° and 90° . The machine for the tensile essay was a SHIMADZU AG-X with load cell capacity of 300 kN.

2.2 Experimental Procedure

Initially, geometry of the final part was generated in CAD software, being a cone trunk with a slope of 45° . Tool path was produced through CAD/CAM system. Inside the CNC, a clamping device having several tightening screws was used to fasten the sheet. Tool was placed in the tool holder replacing the traditional milling tools. All the four tests were performed with tool feed rate of 250 mm/min and rotation of 1000 rpm.

After the incremental sheet forming trials, the parts were cut with an abrasive disc and then embedded in bakelite. They were subsequently subjected to manual grinding, changing direction (90°) in each subsequent sanding until the traces of the previous sanding disappear. Lastly, samples were polished with chromium oxide particles of $5\mu\text{m}$. Metallographic analysis was performed in an optical microscope. Etching employed aqua regia for a period of 1 minute. Four samples corresponding to each test and two referring to the non-deformed sheet were analyzed. A chemical composition analysis was performed using Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) from SEM.

The three tensile tests were carried by fixing the test specimens in the machine and placing a strain gauge on them, measuring the deformation during application of the quasi-static load. Obtained values were registered in a spreadsheet and plotted in stress x strain curves. Fig. 1 represents the samples cut by portable electric scissors, in accordance to ASTM E8 – 16a.

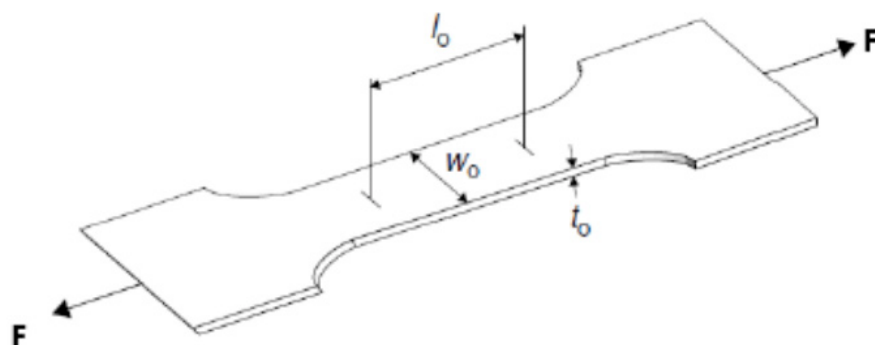


Figure 1. Scheme of the test specimens used in the tensile test

2.3 Governing equations

The following equations were also previously studied in previous related works, as done by Al (2017). From the data collected after the tensile test, it is possible to obtain the conventional stress σ , which is the ratio between the applied force (F) and

the area of the initial transversal section (A_0), as shown in Eq. (1).

$$\sigma = \frac{F}{w_0 \times t_0} = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

The relative tension (ε) is the relationship between the variation of the length by the initial length (l_0) and the instantaneous length of the specimen at the time of the test, as shown in Eq. (2).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2)$$

In fabrication by incremental sheet forming it's desirable for the material to have a high value of medium anisotropy, meaning a greater resistance to the decrease of its thickness during the process. This coefficient is obtained by the tensile essays on specimens at 0° , 45° and 90° of the rolling direction according to ASTM E517-00, and is given as the ratio between the true width deformation (φ_2) and the deformation of the thickness (φ_3). By definition, the anisotropy rate or coefficient of Lankford (r) is the ratio between the true width deformation and the true deformation of the thickness of a tensile test specimen, and can be calculated by Eq. (3).

$$r = \frac{\varphi_2}{\varphi_3} = \frac{\ln \frac{t_0}{w_0}}{\ln \frac{w_0 \cdot l_0}{t_0 \cdot l}} \quad (3)$$

t_0 is the initial thickness of the specimen submitted to the tensile essay, w_0 is the initial width of the specimen and l_0 is the initial length. l is the instantaneous length of the specimen along the test. An ideal material to the ISF would be that in which the coefficient of anisotropy tended to infinity, that is, with deformation only in width and length. Anisotropy can be normal or planar. The normal anisotropy is indicative of the capacity of the metallic sheet to resist to the decrease of the thickness when being pulled and can be calculated by Eq. (4). When it presents value 1, there is equality between the resistance to deformation at the length and at the thickness. When greater than 1, the sheet offers greater resistance to the plastic deformation in its thickness direction. Planar anisotropy is indicative of the variation of the anisotropy coefficient between longitudinal and transverse directions of lamination and can be calculated by Eq. (5).

$$r_m = \frac{1}{4} \cdot (r_{0^\circ} + 2 \cdot r_{45^\circ} + r_{90^\circ}) \quad (4)$$

$$\Delta r = \frac{r_{0^\circ} + r_{90^\circ}}{2} - r_{45^\circ} \quad (5)$$

3 | RESULT AND DISCUSSION

3.1 Incremental sheet forming

Figure 2 shows the side and top views of the generated geometries after the incremental sheet forming trials. The upper and lower marking refers to the beginning site, outermost region, and the region at the end of the process, respectively. The shape of the cone at the end of the process was always the same predicted by the CAD/CAM system, indicating good stampability.

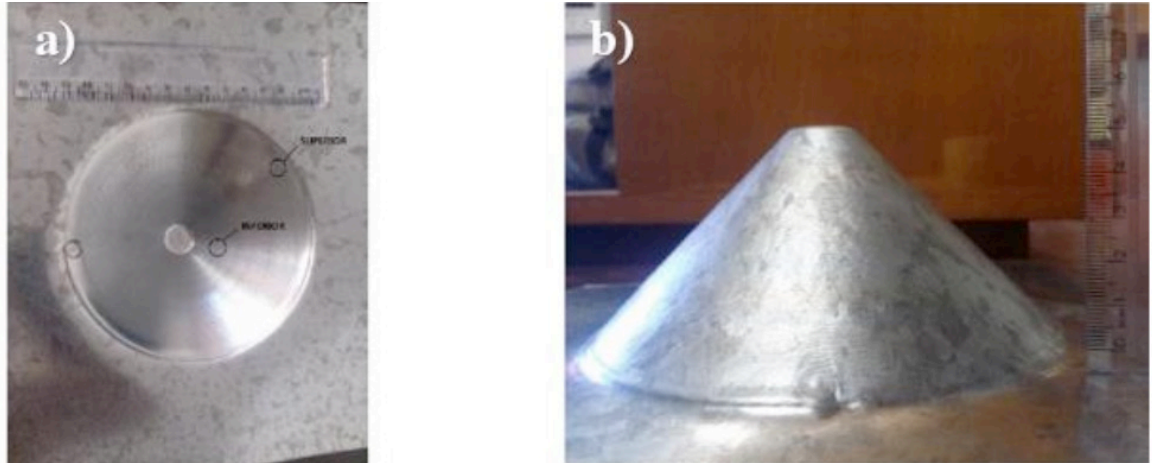


Figure 2. a) Top view of final part. b) Side view.

3.2 Coefficient of anisotropy

The two parameters obtained from tensile tests on zinc sheets were stress (N / mm^2) and displacement (mm). Together with initial measurements, relative deformation (ϵ) can be calculated by Eq. (2) and thus obtaining the true stress curves out from the engineering stress x strain curve, which does not account for reduction of transverse section. Data for samples obtained in lamination direction is presented in Fig. (3).

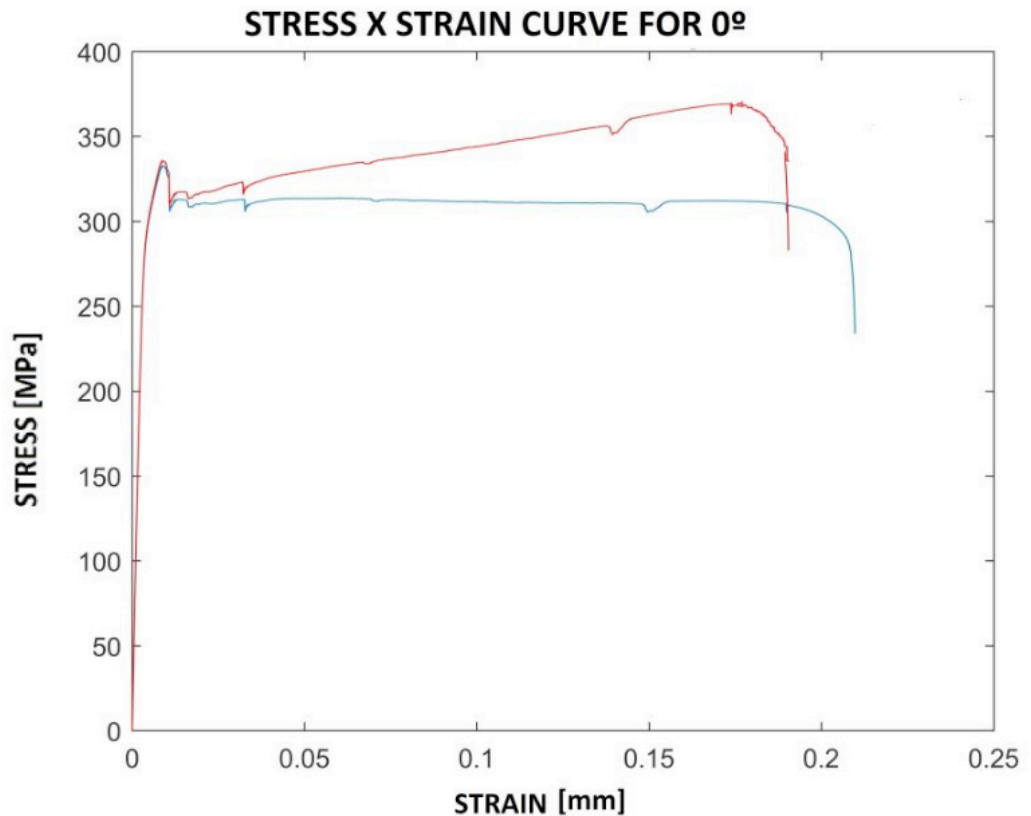


Figure 3. Stress x Strain curve for 0° (Red: true stress curve, Blue: engineering curve).

It is possible to observe a well-defined elastoplastic transition which occurs abruptly, marked by an upper and lower flow limit. The plastic deformation starts at the upper yield stress and, with a decrease in stress, the deformation oscillates slightly around a constant value (lower yield limit). After the transition, the deformation remains at a virtually constant tension value, with a tendency to a straight line. For the test at 45°, a very clear transition is not noticeable as in the first case. However, it is possible to observe the characteristic fluctuation of the lower flow limit, present in the deformation by up to approximately 5%, followed by an increase in tension with the deformation, as shown in Fig. 4.

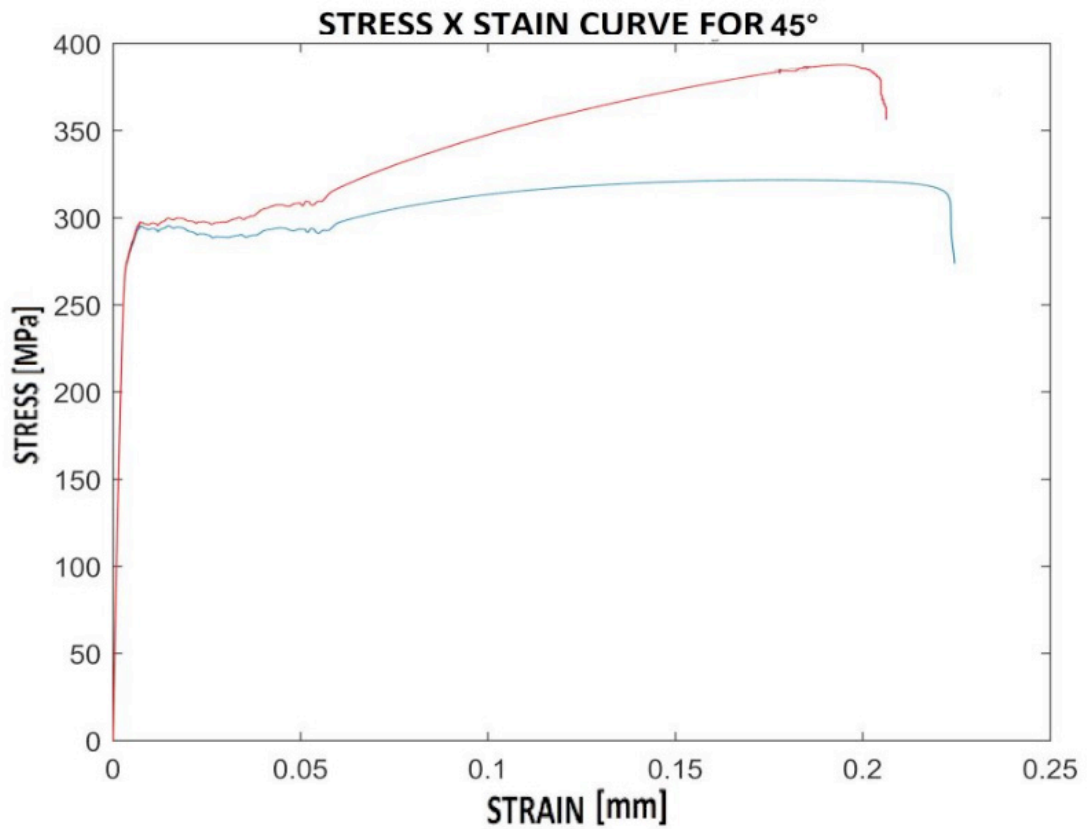


Figure 4. Stress x Strain curve for 45° (Red: true stress curve, Blue: engineering curve).

With a behavior similar to the previous one, in the test with sample orientation perpendicular to lamination direction, shown in Fig. 5, it is also possible to notice the characteristic fluctuation of the lower flow limit until a deformation of 5%, followed by an increase of the tension as the deformation increases.

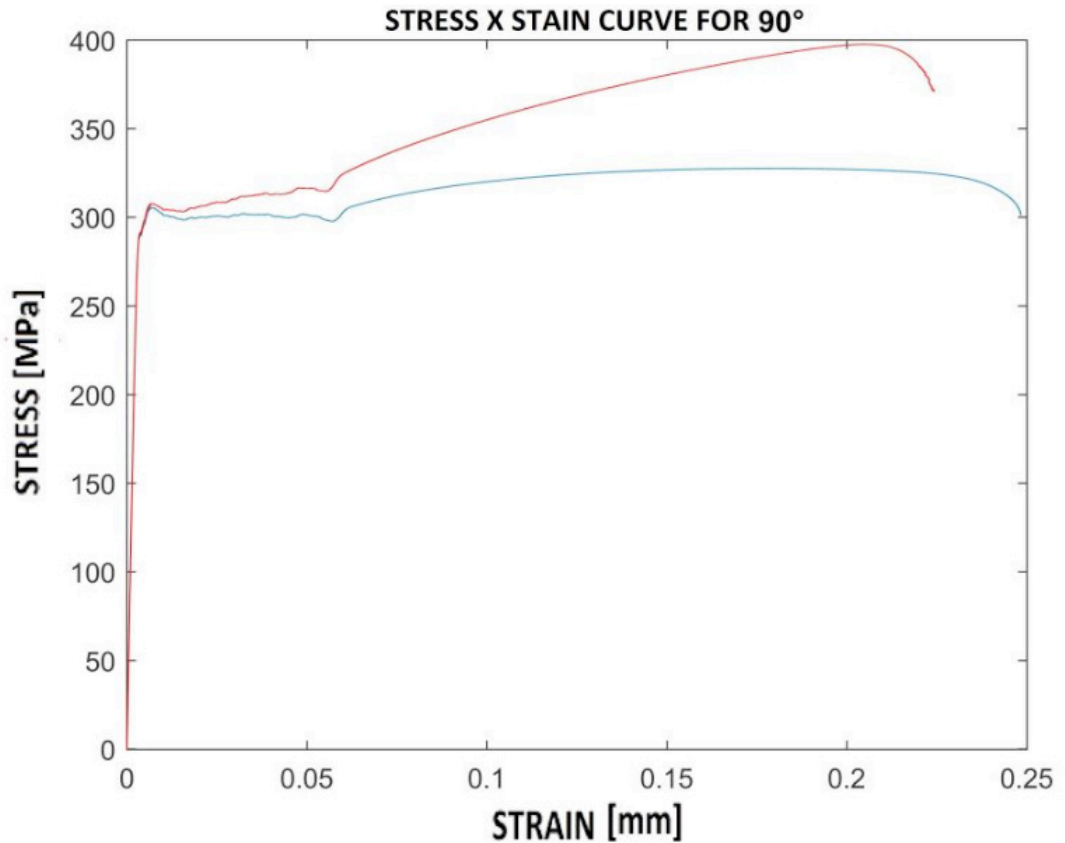


Figure 5. Stress x Strain curve for 90° (Red: true stress, Blue: Engineering)

To evaluate the anisotropy degree, specimens were measured after the tensile tests and then the deformations at length (φ_1), width (φ_2) and thickness (φ_3) were calculated by comparing to the values before the test using Eq. (2) and Eq. (3). Table 1 shows the final dimensions and the deformations of the specimens and the values of Lankford coefficient for each direction.

	LENGTH	WIDTH	THICKNESS	φ_1	φ_2	φ_3	r
0°	157.00	9.83	0.43	0.11	-0.22	-0.15	1.46
45°	160.20	10.17	0.48	0.14	-0.19	-0.04	4.75
90°	163.50	10.08	0.41	0.16	-0.20	-0.20	1.00

Table 1. Final dimensions and deformations of test specimens

Through Eq. (4) and Eq. (5), it is possible to calculate the values of the normal anisotropy (r_m) and planar anisotropy (Δr), yielding 2.99 e -3.5, respectively. Once the value of normal anisotropy is greater than 1, we can conclude that the sheet presents higher resistance to plastic deformation at the thickness, being deformed mainly at length and the width, according to studies of Melconian (2014). Regarding the planar anisotropy (Δr), the value found indicates that there is a great variation of normal anisotropy between the longitudinal and transverse directions.

3.3 Scanning electron microscopy (sem) and energy dispersive spectroscopy (EDS)

Fig. 6 shows an image of the sheet seen from above in SEM equipment, whereas the respective spectrum of EDS was generated for the indicated point. Table 2 shows the results of the EDS evaluation of the whole area seen in Fig. 6, indicating that the material has a zinc purity of about 97.5 %.

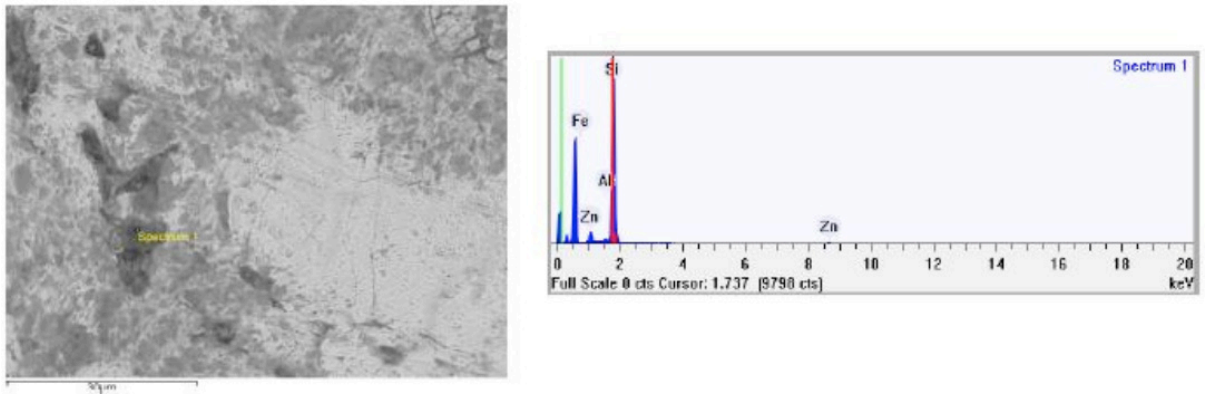


Figure 6. Left: SEM image of surface. Right: EDS spectrum for the indicated yellow point.

Element	% Weight
Zinc	97.772
Iron	1.507
Silicon	0.127
Aluminum	0.594

Table 2. Percentage of metals present in the analyzed region.

From the above, it is possible to conclude that the zinc plate has a large region (lighter region) composed predominantly of zinc with some isolated regions (darker regions) with a predominance of silicon and iron element, possibly in the form of a silicate inclusion.

3.4 Surface roughness

Roughness tests were performed taking into account three parameters: Ra, Rq and Rz. These are the most common parameters for evaluating a metal part made by stamping (LI, 2017). From Fig. 7 it is possible to observe a great change in the surface quality from the plate before the test. However, parameter Ra does not define the shape of the irregularities of the profile.

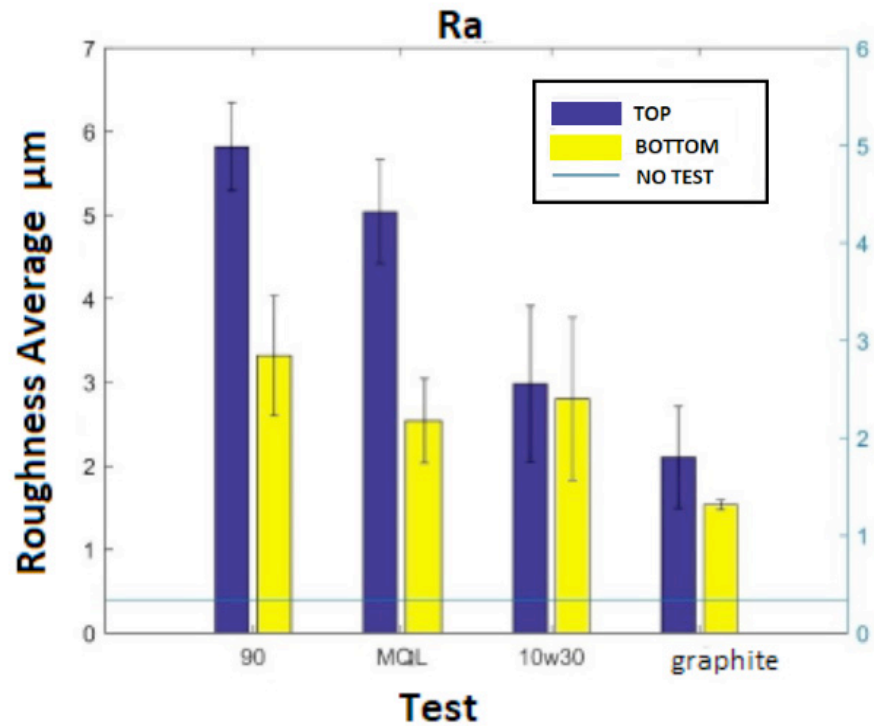


Figure 7. Ra obtained values

As expected, the values of Rq, as shown in Fig. 8, were higher than Ra, because it is more sensitive to a high value of a peak or valley, that is, the parameter Rq accentuates values that deviate from average.

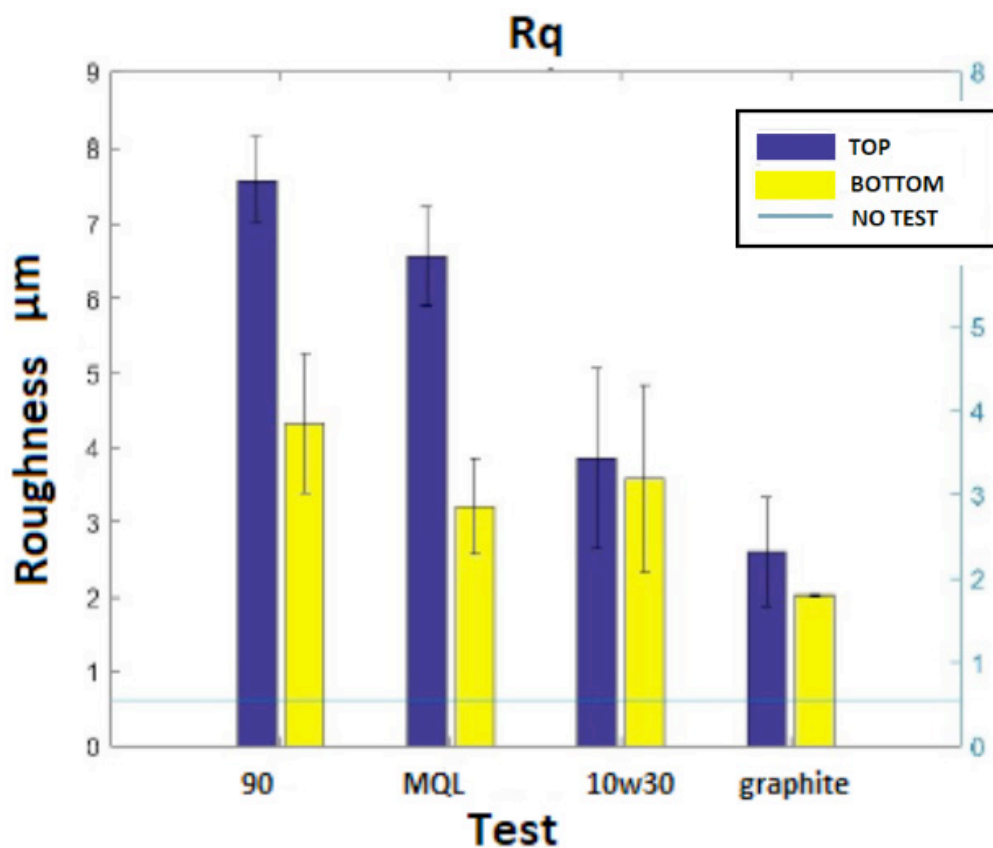


Figure 8. Rq obtained values

Fig. 9 shows the high values of Rz that indicate peaks and valleys in the profile higher than the average roughness. This parameter is more sensitive to changes in finishing than Ra, and captures the valleys produced during tool passage. In this small region, tensions rise above yield strength limit of material, meaning an extreme contact pressure, often accompanied by heat generation.

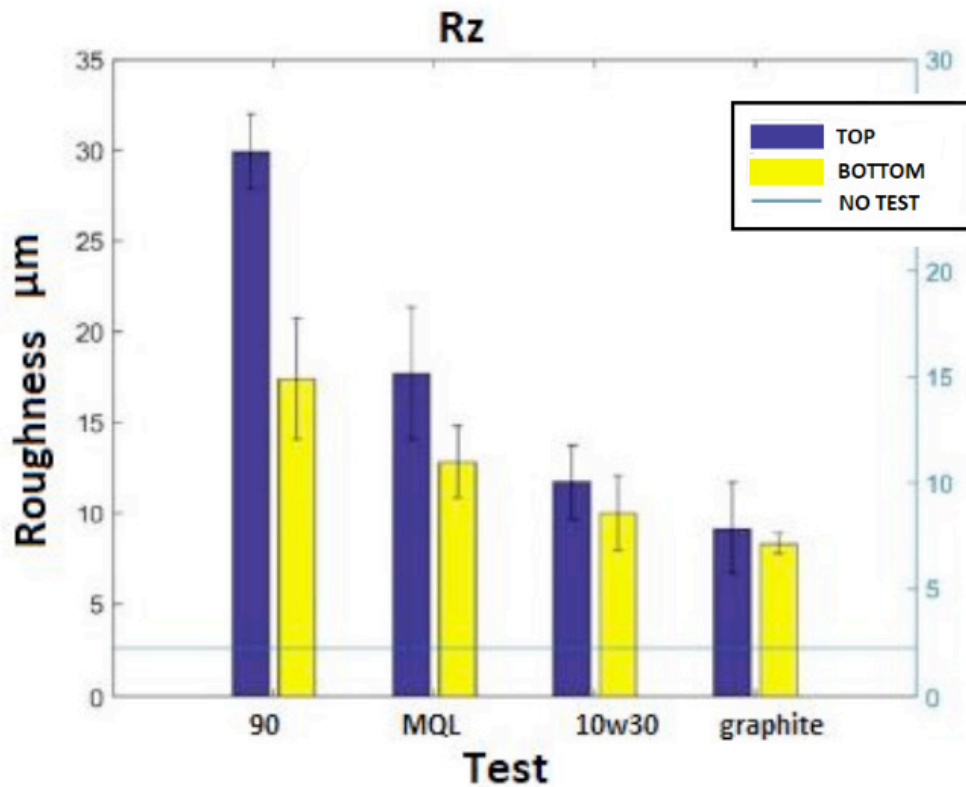


Figure 9. Rz obtained values

A problem during trials was that when the forward speed exceeded the data transmission capacity, bumps happened in the machine because of discontinuity of movement. As a result there were short temporary loss of the second and third degree polynomial interpolation (functions G02 and G03) for an interpolation by straight segments (G01 function), during a few milliseconds along the test, resulting in an undesirable quality finish, with vertical wall striations (SOUZA, 2008).

Another cause for the drop in finish quality is the change in the temperature of the lubri-refrigerant fluid and the consequent alteration of its properties. There is also the presence of particulates that are released from the sheet during the forming process and are retained in the fluid, being able to scratch the part's surface.

3.5 Metallographic analysis

Figure 10(a) shows the transverse section of the untested sheet. Its blue-like color is typical of zinc sheets, but the more intense surface color might indicate a great quantity of concentrated energy because of the plastic deformation occurred

during the cut. Figure 10(b) shows the upper part of the untested sheet. In this case, the presence of plastic deformation is not noticeable, only the microstructure of zinc with darker points, probably made up of silicates.

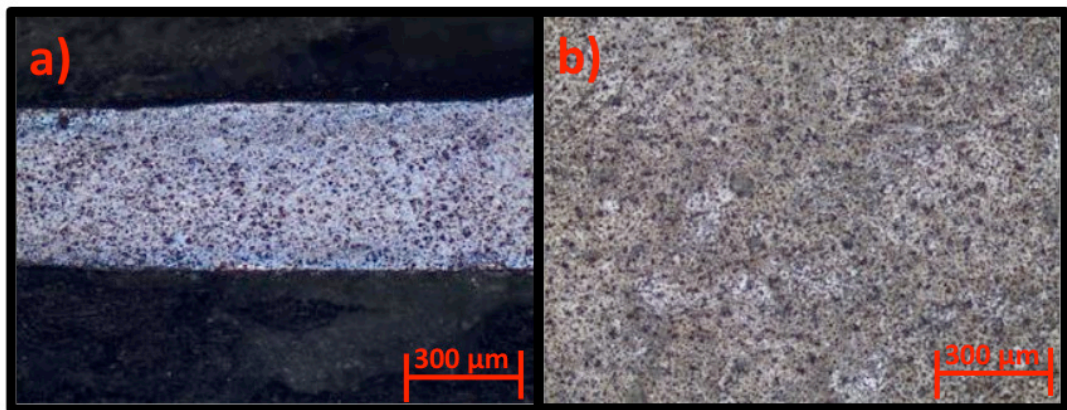


Figure 10. a) View of the transverse section of the sheet before the essay. b) Top view of the sheet before the trial.

Fig. 11(a) shows the microstructure of sample lubricated with SAE 10W30 oil. From the image, it is possible to observe a more deformed (upper) region, in which there was a higher concentration of energy because of the stamping test and, therefore, more etched by the reagent. The deformed region is about 90 micrometers length and the microstructure is mainly composed of zinc and silicates (darker region). Fig. 11(b) shows the microstructure for the test with the lubricant oil SAE 90. The depth of deformed region was about 70 micrometers. Considering the viscosity of the fluid as a resistance to the internal shear, it is possible that the SAE 90 oil being a more viscous fluid than the 10W30 it was able to absorb more deformation, resulting in a lower deformation at the sheet.

Figure 11(c) shows a micrograph to the test with MQL. In this test, the deformed layer had a slightly lower depth than commercial automotive oils, with 55 micrometers. Moreover, Figure 11(d) shows the result for the test with the solid lubricant. This test presented the deformation with lower depth. A hypothesis for this result is that the presence of graphite is an additional component, responsible for absorbing part of the energy by the deformation caused by the shear of its lamellar structure, due to its weak Van der Waals links. Besides, the effective lubricating effect of graphite might also be associated to the better surface quality achieved, diminishing the pressure applied by the tool during its passage through the sheet.

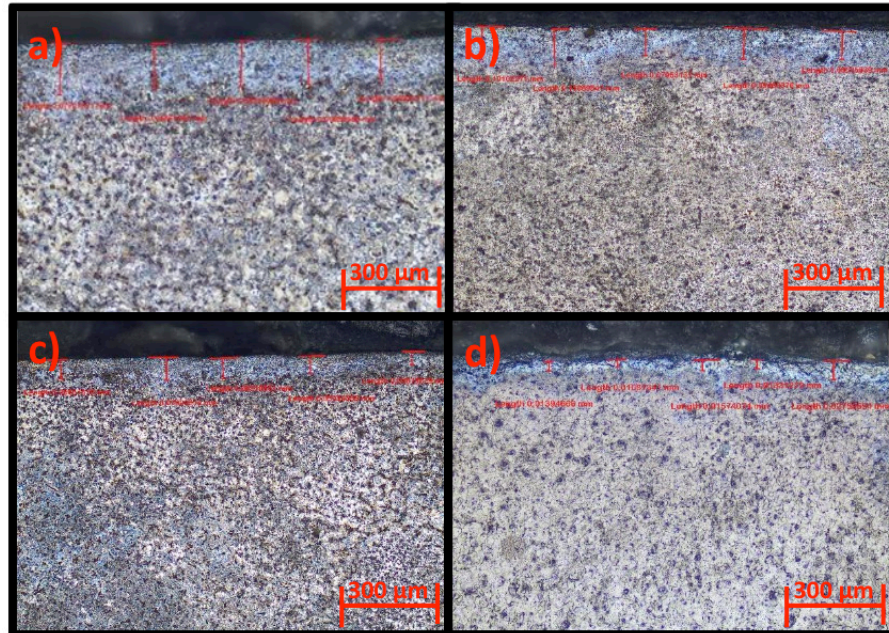


Figure 11. a) SAE 10w30 oil b) SAE 90 oil c) MQL d) Solid Lubricant

4 | CONCLUSION

Through practical experiments, it was possible to demonstrate that it is possible to adapt resources used in machining, such as a CNC machining center, tools and software for the production of geometries employing incremental sheet forming of pure zinc.

This material exhibited a suitable behavior for stamping, with great ductility and elongation, though it presents a low mechanical resistance when compared to other metals such as steel, for example (KONDRATIUK, 2011). The planar anisotropy results indicate that there is a great variation in the mechanical response between the longitudinal and transverse directions. This fact suggests that the use of a previous annealing process could improve even more the formability of the material (LU, 2016). As expected, the process generated increased surface roughness. This increase was, however, smaller at the end of the process, mainly due to the better lubrication conditions at the end of the test, since the cone geometry itself concentrated more lubricant in the shaped region, similar to the findings of Filice (2013). Among the four experiments, the graphite lubrication presented a slightly better surface quality than the others did. The lubrication by MQL was adequate, with results close to the others, proving its effectiveness as lubricating medium. Taking into account the low quantity used, this option is advantageous when analyzed from an economic and environmental perspective. For commercial oils, the less viscous lubricant resulted in a better surface finish as it has a better ability to “wet” the surface and establish a good thermal contact, even though the tests point to a deeper deformed region.

The residual deformations analyzed by metallography analysis indicate that

the viscosity of the fluids was directly correlated with the depth of the plastically deformed zone, in accordance to studies of Gatea (2016) and Maqbool (2019). This can be explained by the fact that higher viscosity usually generates higher lubricity, as observed in the tribological system in question. The use of graphite as a solid lubricant further aided the tribosystem lubricity, reducing even more the depth of the plastically deformed zone and improving surface quality.

REFERENCES

- Al, S. et al. Evaluation of deformation stability and fracture mechanism in incremental sheet forming. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 124, p. 174-184, 2017.
- ASTM E8 – 16a. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2016.
- ASTM E517 – 00. Standard Test Method for Plastic Strain Ratio r for Sheet Metal, 2000.
- CAO, Tingting et al. An efficient method for thickness prediction in multi-pass incremental sheet forming. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 77, n. 1-4, p. 469-483, 2015.
- FILICE, Luigino; AMBROGIO, Giusy; GAUDIOSO, Manlio. Optimised tool-path design to reduce thinning in incremental sheet forming process. **International journal of material forming**, v. 6, n. 1, p. 173-178, 2013.
- GATEA, Shakir; OU, Hengan; MCCARTNEY, Graham. Review on the influence of process parameters in incremental sheet forming. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 87, n. 1-4, p. 479-499, 2016.
- KONDRATIUK, Jens et al. Zinc coatings for hot sheet metal forming: Comparison of phase evolution and microstructure during heat treatment. **Surface and Coatings Technology**, v. 205, n. 17-18, p. 4141-4153, 2011.
- LI, Yanle et al. A review on the recent development of incremental sheet-forming process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 92, n. 5-8, p. 2439-2462, 2017.
- LU, Haibo et al. Model predictive control of incremental sheet forming for geometric accuracy improvement. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 82, n. 9-12, p. 1781-1794, 2016.
- MAQBOOL, Fawad et al. Engineering the residual stress state of the metastable austenitic stainless steel (MASS) disc springs by incremental sheet forming (ISF). **Production Engineering**, v. 13, n. 2, p. 139-148, 2019.
- MELCONIAN, Marcos Vinícius. Modelagem Numérica e Computacional com Similitude e Elementos Finitos: São Paulo: Edgard Blücher, 2014.
- NILSSON, Anders; GABRIELSON, Per; STÅHL, Jan-Eric. Zinc-alloys as tool materials in short-run sheet-metal forming processes: Experimental analysis of three different zinc-alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 125, p. 806-813, 2002.
- TIBURI, F.; SHAEFFER, L. Aspectos técnicos e econômicos da estampagem incremental. In: X Conferência Nacional de Conformação de Chapas (XVII SENAFOR), Bento Gonçalves, RS, p. 255-275, 2007.

COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS REFORÇADOS COM TECIDOS DE FIBRA DE JUTA E TECIDOS DE FIBRA DE VIDRO

Data de aceite: 12/02/2020

Data de submissão: 26/11/2019

Jair Francisco Souza Magalhães

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/1101000133353542>

Douglas Santos Silva

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/6353740518648585>

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM)

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/3165747089941318>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo comparar o comportamento mecânico de compósitos de matriz poliéster com e sem hibridização, laminados em três camadas de tecidos de juta e tecidos de fibra de vidro de gramaturas 145 g/m² e 200 g/m². Os compósitos foram produzidos por processo de laminação manual (*hand lay up*), com as placas

prensadas à temperatura ambiente. Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 3039, de modo a comparar as propriedades mecânicas em função das combinações dos compósitos de Vidro/Vidro/Vidro(200), Vidro/Vidro/Vidro(145), Juta/Juta/Juta, Vidro(200)/Juta/Vidro(200), Vidro(145)/Juta/Vidro(145), Juta/Vidro(200)/Juta e Juta/Vidro(145)/Juta, relacionando os resultados com os aspectos fractográficos dos corpos de prova, obtidos por meio de estereoscópio. Os resultados apontaram ruptura da matriz, exposição das fibras e delaminação, sendo esta devido à falta de ancoragem entre as camadas de vidro e juta. O tecido de vidro é um reforço evidentemente superior em comparação ao tecido de juta, quando consideramos fatores de resistência mecânica e deformação total, pois a inserção de camadas de tecido de juta foi acompanhada de quedas de desempenho no ensaio de tração em todos os compósitos. Somente no compósito JV(145)J, onde as propriedades comparadas ao compósito JJJ, foram ligeiramente semelhantes, com diferença na resistência à tração da ordem de 10,2%.

PALAVRAS-CHAVE: Hibridização; compósitos laminados; resina polimérica; fibra de juta; fibra de vidro.

HYBRID POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH JUTE FIBER FABRICS AND FIBERGLASS FABRICS

ABSTRACT: The objective of this work was to compare the mechanical behavior of polyester matrix composites with and without hybridization, laminated in three layers of jute fabrics and fiberglass fabrics weighing 145 g/m² and 200 g/m². The composites were produced by hand lay up process, with the plates pressed at room temperature. The tensile tests were performed according to ASTM D 3039, in order to compare the mechanical properties as a function of the combinations of the layers in the composites GGG(200), GGG(145), JJJ, G(200)JG(200), G(145)JG(145), JG(200)J and JG(145)J, relating the results to the fractographic aspects of the specimens, obtained by stereoscope. The results indicated matrix rupture, fiber exposure and delamination, due to the lack of anchorage between the layers of glass and jute. The glass fabric is an obviously superior reinforcement in comparison to the jute fabric when we consider factors of mechanical resistance and total deformation, since the insertion of layers of jute fabric was accompanied by gaps in the tensile test in all the composites. Only JG(145)J composite, where the properties compared to the JJJ composite, were slightly similar, with a tensile strength difference of the order of 10,2%.

KEYWORDS: Hybridization; laminated composites; polymeric resin; jute fiber; fiberglass.

1 | INTRODUÇÃO

A manufatura dos compósitos baseia-se em uma ideia simples de combinar e colocar em serviço dois ou mais materiais macroconstituintes distintos que, geralmente, diferem em composição química e/ou física, com o objetivo de obter propriedades específicas, diferentes daquelas que cada constituinte apresenta separadamente, tendo uma interface reconhecível entre os componentes. Cada um dos constituintes mantém suas propriedades físicas e químicas, embora o material resultante dessa combinação apresente propriedades superiores às dos constituintes individuais (REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011).

O estudo em compósito está associado à possibilidade da produção de compósitos com excelentes propriedades mecânicas e baixas densidades, que possam substituir materiais como a madeira e o aço. Dentro da classe dos materiais compósitos, destaca-se o avanço em termos de aplicação dos compósitos à base de resinas poliméricas, devido seu alto grau de confiabilidade, além da economia na produção, redução de peso, resistência mecânica, rigidez e flexibilidade de projeto (DALTRO, 2011).

Assim, buscando a redução do impacto sobre o meio ambiente, estão sendo realizadas pesquisas em compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais e pela combinação de fibras naturais com as fibras sintéticas, sendo esta combinação

denominada de materiais compósitos híbridos.

Das fibras naturais pesquisadas, a juta (*Corchorus capsularis*) foi estudada como reforço de compósito de matriz poliéster insaturada ortoftálica por Cavalcanti (2006) e observado que 14% em massa de fibras levou a um aumento de 34% na resistência à tração do compósito em relação à matriz pura.

Cavalcante (2008) desenvolveu material compósito de matriz de polipropileno reforçado com fibras contínuas e alinhadas de juta em dupla e tripla camada, orientadas a $0^\circ/0^\circ$ e $0^\circ/0^\circ/0^\circ$, obtendo-se, respectivamente resistência à tração de 42,30 MPa e 53,30 MPa, mostrando com isso, o aumento desta propriedade em 20,63% devido ao acréscimo de uma camada de juta.

Santos (2015) realizou pesquisa em compósito de matriz poliéster reforçado por três camadas de tecido bidirecional de juta e verificou que de modo geral, o compósito tende a apresentar maiores valores de resistência à tração com o alinhamento dos fios na direção preferencial ao sentido de aplicação do esforço de tração, isto é, quando os fios da camada central estão orientados na direção longitudinal.

O método de hibridização de fibras naturais com fibra de vidro é um artifício para incrementar as propriedades mecânicas dos compósitos laminados com reforços de fibras vegetais, sendo que o grau de resistência depende do design e da construção do material compósito (NAYAK et al., 2010).

De acordo com THAKUR et al., (2014) e JAWAID et al., (2011), os compósitos híbridos com maior teor volumétrico de fibras de vidro apresentaram maior resistência à tração, que foi atribuído ao fato de que o modo de falha das amostras foi precedido pela falha da fibra de vidro, que apresentava um menor alongamento na ruptura.

Barros (2006), por exemplo, desenvolveu compósito polimérico reforçado por fibras contínuas e alinhadas de fibra de curauá intercalada por fibras de vidro, obtendo, assim, resistência mecânica na ordem de 92,15 MPa. Este comportamento, segundo o autor, está intrinsecamente relacionado com a distribuição das tensões entre camadas e a boa aderência entre as camadas das fibras de vidro e fibras de curauá.

Silva (2010) utilizou mantas de fibra de vidro e fibra de curauá de 50 mm de comprimento, como reforço em compósito polimérico híbrido, e verificou que a resistência à tração destes compósitos depende da eficiência da interação da matriz com o reforço e, portanto, da devida transferência das tensões da matriz para o reforço. Além disso, o aumento da fração volumétrica leva ao aumento das propriedades do material.

Neste mesmo viés, Almeida (2018) mostrou que as propriedades mecânicas de compósitos híbridos de tecido de vidro e tecido de juta estão não só relacionadas ao teor de fibra no compósito e à boa interação da fibra com a matriz, mas à configuração e a forma de empilhamento das camadas de tecido.

Neste contexto, este trabalho de pesquisa refere-se ao desenvolvimento de compósito com e sem hibridização entre tecido de vidro-E e tecido de juta através de compósito laminado, constituído de três camadas, com o objetivo de comparar as propriedades mecânicas através dos ensaios de tração uniaxial, usando a norma ASTM D 3039, em função das combinações das camadas nos compósitos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A matriz utilizada neste trabalho foi a resina poliéster insaturada tereftálica de baixa reatividade, tipo cristal, cor azulada, fabricada pela Ara Química S.A. sob a denominação comercial de Arazyn AZ 1.0 # 34, da Centerglass. O agente de cura de peróxido de metil-etil-cetona (MEKP) na proporção de 0,7 % (v/v), uma vez que com esta, Rodrigues (2015) obteve boas propriedades ao material.

Foram utilizados tecidos de juta (*Corchorus capsularis*), de gramatura 245 g/m² e tecidos de vidro-E, de gramaturas 145 g/m² e de 200 g/m². Estes materiais foram adquiridos no comércio da região metropolitana de Belém.

2.2 Métodos

A metodologia de fabricação dos compósitos, como corte dos tecidos, laminação, prensagem das placas, preparação dos corpos de prova, ensaios de tração e avaliação fractográfica são mostrados conforme o fluxograma da Figura 1.

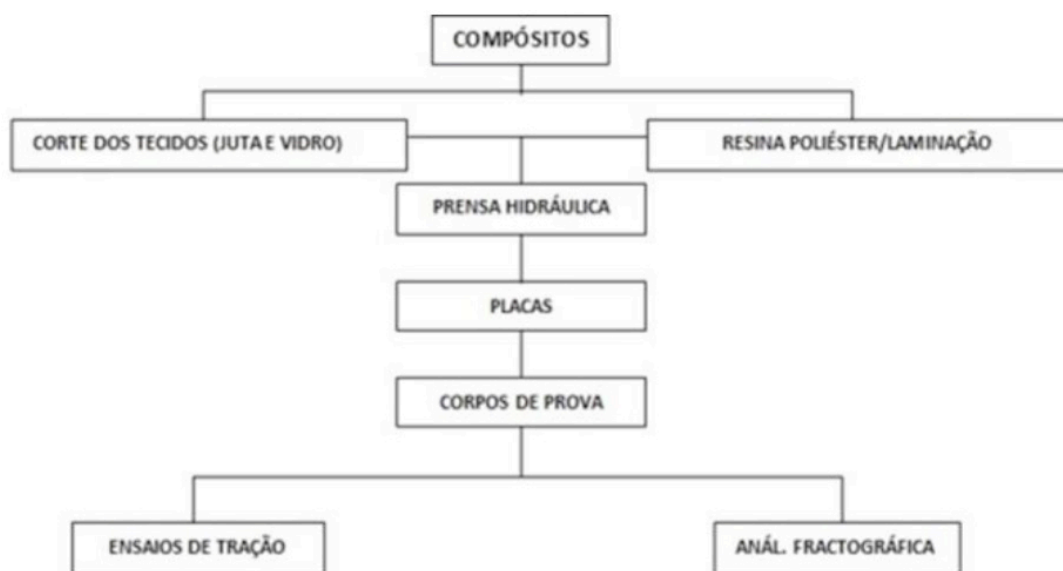


Figura 1: Fluxograma das etapas dos procedimentos experimentais.

Os tecidos de juta e de vidro foram cortados nas dimensões 28 cm x 32 cm e em seguida levados a uma balança de precisão para aferição de suas massas. As massas foram aferidas duas vezes: antes de ir a estufa e depois disso, onde

permaneceram por cinco minutos, para retirada da umidade.

No processo de laminação, foram utilizadas placas de compensado de dimensões 36 cm x 40 cm x 1,3 cm, revestidas com transparência (filme de poliéster transparente utilizado em retroprojeção), presas com fita adesiva. Os tecidos de juta foram pré-impregnados de ambos os lados da placa e em seguida, os tecidos de vidro foram inseridos entre as placas de compensado, conforme aparato ilustrado na Figura 2.

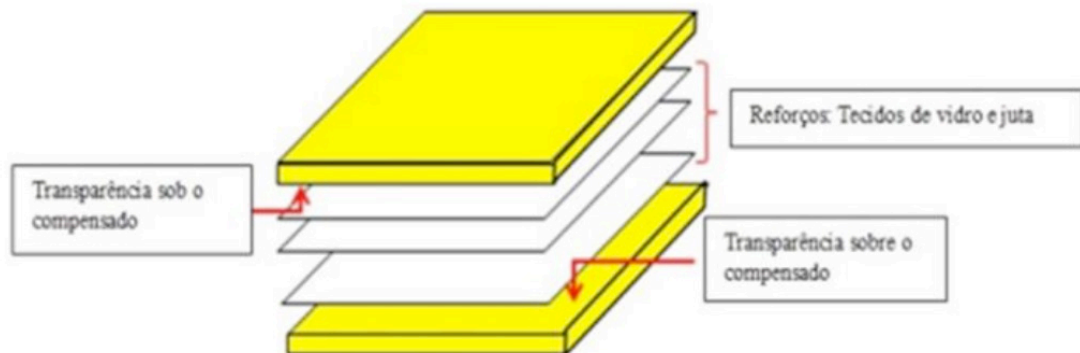


Figura 2: Modelo ilustrativo para a fabricação dos compósitos.

Sobre cada transparência de poliéster fixada ao compensado, foi adicionada 20 g de resina e de acordo com as configurações de cada compósito, aos tecidos de juta, 80 g de resina, de vidro(145), 24 g e tecido de vidro(200), 30 g.

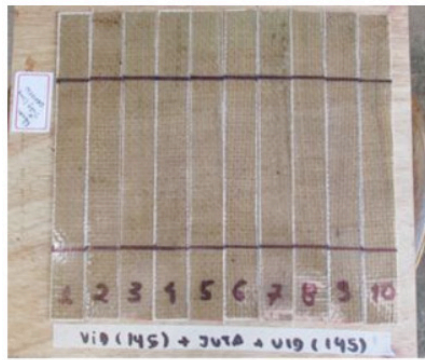
Após a laminação, as placas foram levadas a uma prensa hidráulica e submetidas a uma pressão de 0,5 t, onde ficaram por 2h para a adesão mecânica. Foram confeccionadas sete placas de compósitos, nas configurações VVV(200), VVV(145), JJJ, JV(200)J, V(200)JV(200), JV(145)J e V(145)JV(145).

Depois de sete dias em cura, as placas foram cortadas em uma máquina de corte de disco diamantado, para a retirada dos corpos de prova com as dimensões da norma ASTM D 3039, conforme ilustrado na Figura 3 (a) e (b).

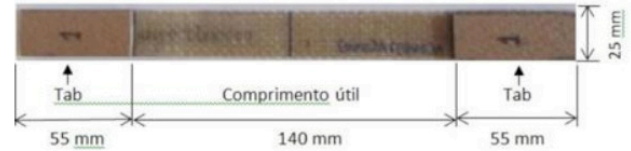
Os Tabs, feitos de Duratex, foram colados nas extremidades dos corpos de prova com adesivo Tek Bond nº 725.

Os ensaios de tração foram realizados no laboratório do curso de engenharia de materiais do Instituto Federal do Pará (IFPA), em Belém-PA, em uma máquina de tração Universal da marca Arotec, modelo WDW-100E, com velocidade de ensaio de 2 mm/min e célula de carga de 5 kN.

Posterior ao ensaio mecânico de tração, as superfícies de fratura das amostras foram analisadas para a verificação dos principais mecanismos de falha. As análises foram feitas utilizando-se um estereoscópio.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Corpos de prova obtidos a partir do compósito fabricado e (b) dimensões dos corpos de prova de acordo com a norma ASTM D 3039.

3 | RESULTADOS

3.1 Ensaio de tração

As propriedades mecânicas, bem como as curvas características de cada combinação de camadas dos compósitos são mostradas na Tabela 1 e Figuras 4, 5 e 6, respectivamente.

Compósitos	Fração Mássica de Tecido de Juta (%)	Fração Mássica de Tecido de Vidro (%)	Tensão na Carga Máxima (MPa)	E (GPa)	Autores
VVV(145)	-	25,41	89,60 ± 3,04	2,35 ± 0,00	Esta Pesquisa
VVV(200)	-	41,23	283,37 ± 76,87	6,64 ± 0,20	Esta Pesquisa
JJJ	17,22	-	24,46 ± 0,74	1,01 ± 0,15	Esta Pesquisa
JV(145)J	13,16	4,76	27,24 ± 2,46	1,06 ± 0,12	Esta Pesquisa
JV(200)J	12,02	10,40	55,74 ± 2,68	1,57 ± 0,00	Esta Pesquisa
V(145)JV(145)	8,72	11,90	87,37 ± 5,05	2,43 ± 0,12	Esta Pesquisa
V(200)JV(200)	7,05	23,63	95,97 ± 8,00	2,74 ± 0,00	Esta Pesquisa
JJJ(0°)	44	-	57,70	3,62	Cavalcante, 2008
VJV(0°)	18,98	7,42	180,93 ± 19,67	4,07 ± 0,42	Almeida, 2018
JVJ(0°)	12,48	6,00	87,72 ± 3,29	2,40 ± 0,26	Almeida, 2018
JJJ(Tecido)	18,00	-	28,54 ± 1,78	1,07 ± 0,30	Santos, 2015
J(Tecido)J(90°)J (Tecido)	18,00	-	17,03 ± 4,44	1,22 ± 0,35	Santos, 2015

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos compósitos desta pesquisa e de autores da literatura.

É possível observar pela Tabela 1, que à medida que se adiciona tecido de vidro à formulação do reforço nos laminados, isto é, quando se aumenta a fração mássica de tecido de vidro, ocorre um aumento dos valores nos módulos elásticos

dos compósitos, o que representa, de acordo com Caraschi (2000), Khondker et al. (2006) e Vieira (2008) um aumento na rigidez dos compósitos.

Isto acontece para os compósitos VVV(145), com fração mássica de tecido de vidro de 25,41% e tensão na carga máxima de 89,60 MPa. Quando a fração mássica passou a ser de 41,23%, devido à mudança da gramatura para 200 g/m², a tensão na carga máxima deu um salto para 283,37 MPa. O módulo de elasticidade, que era de 2,35 GPa, passou a ser de 6,64 GPa.

O compósito reforçado por tecido de juta, JJJ, apresentou a resistência à tração de 24,46 MPa, semelhante à encontrada por Santos (2015) para JJJ(Tecido), com a diferença deste autor ter utilizado 18% de fração mássica de fibra.

A resistência à tração do compósito desta pesquisa, comparada aos demais compósitos de outros pesquisadores, apresentou propriedade bastante inferior, principalmente em relação aos compósitos com camadas de tecido de vidro em sua configuração, devido ao fato de que as propriedades individuais mecânicas de tensões máximas serem maiores para a fibra sintética de vidro em relação às fibras vegetais (AHMED, 2008).

Outro fator importante que influenciou na resistência à tração do compósito JJJ foi a fração mássica do tecido de juta, uma vez que comparando o resultado deste compósito, que foi 24,46 MPa, com o de Cavalcante (2008), igual a 57,70 MPa, verifica-se que o autor utilizou uma fração mássica de juta de 44%.

Observa-se que não é só o aumento da fração mássica de fibra que leva ao aumento da propriedade de tensão na carga máxima dos compósitos, mas a orientação das fibras no mesmo. As camadas de tecido, por exemplo, possuem fibras tanto na direção transversal quanto na direção longitudinal em relação ao esforço de tração.

Dessa maneira, o fato de a propriedade mecânica em tração encontrada por Cavalcante (2008), para o compósito JJJ(0°), ter sido 135% superior em relação ao compósito JJJ, desta pesquisa, deve-se não só ao aumento da fração mássica de juta, mas devido os fios de juta estarem dispostos no sentido preferencial ao esforço de tração, isto é, a 0°.

Neste sentido, como já observado por Msallem et al. (2010) e Hossain et al. (2013), à medida que a orientação dos fios nas lâminas centrais muda da direção transversal para a direção longitudinal, ocorre um aumento significativo na resistência à tração do compósito. Logo, os fios no tecido de juta que estão na direção transversal ao esforço de tração, não contribuem de maneira efetiva à resistência mecânica do compósito.

Isto pode ser avaliado comparando-se os compósitos J(Tecido)J(90°)J(Tecido) e JJJ(Tecido), estudados por Santos (2015), onde só a mudança da camada central do compósito de fios de juta a 90° para o tecido (fios à 90° e a 0°), levou a resistência

à tração de 17,03 MPa para 28,54 MPa.

Assim, comparando-se as configurações analisadas por Almeida (2018), sendo elas JVJ(0°) e VJV(0°), com as desta pesquisa, isto é, V(200)JV(200), V(145)JV(145), JV(200)J e JV(145)J, nota-se que o aumento da resistência à tração ocorre devido não só ao aumento da gramatura do tecido de vidro de 145 g/m² para 200 g/m², o que se relaciona com a elevação da fração mássica de fibra, e/ou ao aumento da quantidade de camadas de fibra de vidro no compósito (de uma para duas), que leva ao deslocamento desta da região central para as extremidades do compósito; mas notoriamente devido ao sentido preferencial dos fios das camadas do compósito em relação aos esforços. Na Figura 4, tem-se as curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, VVV(145) e VVV(200).

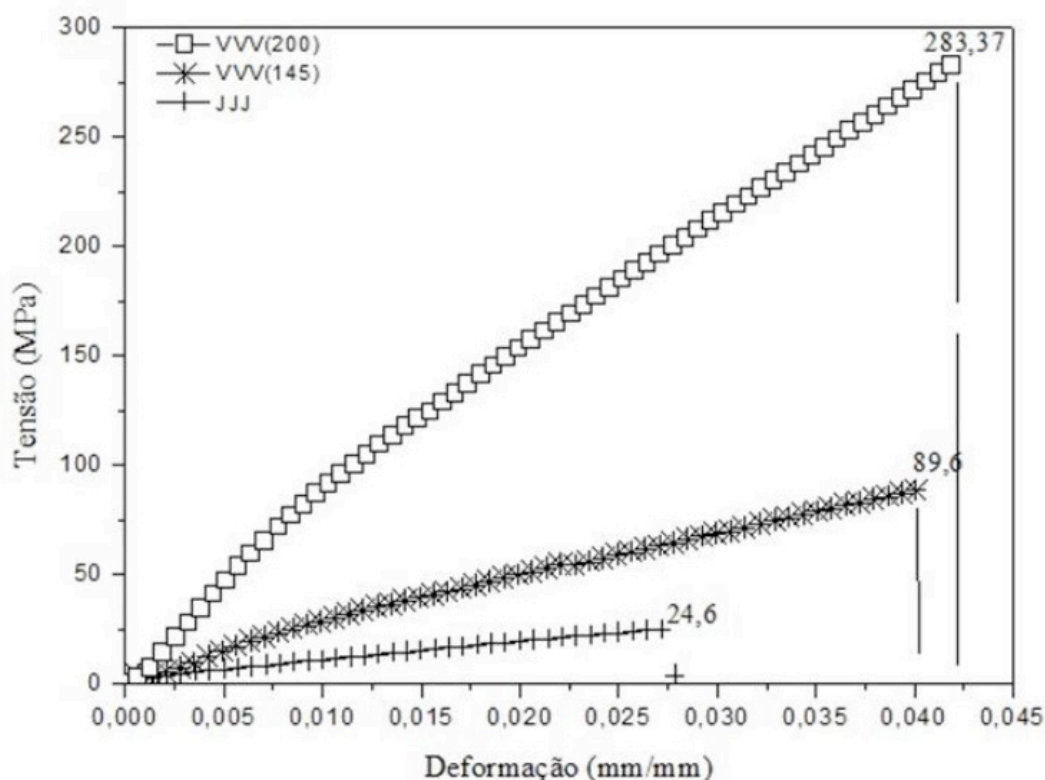


Figura 4: Curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, VVV(145) e VVV(200).

Os compósitos, de modo geral, apresentaram um comportamento linear até a fratura. Este comportamento é característico para muitos tipos de compósitos poliméricos reforçados com fibras sintéticas entre lâminas, sejam eles na forma de estruturas laminares ou do tipo sanduíche (OLIVEIRA, 2005), típico de matrizes termofixas (AQUINO et al., 2007).

De acordo com as curvas representadas na Figura 4, o compósito VVV(200) apresentou resistência à tração máxima de 283,37 MPa, o equivalente a 216,27% superior, mais do que o dobro, ao compósito VVV(145), cuja resistência foi de 89,60 MPa. Em comparação ao compósito JJJ, com resistência à tração máxima de 24,46

MPa, o VVV(200) tem esta propriedade cerca de 12 vezes superior. O fato de o compósito reforçado por tecido de vidro com gramatura 200 g/m² ter a tensão na carga máxima 216,7% superior em relação ao reforçado com o de 145 g/m² está relacionado não só à gramatura, mas à fração mássica de fibra no compósito, onde o aumento do teor de fibra no compósito leva ao aumento de tal propriedade. A fração mássica do compósito VVV(200), como indicado na Tabela 1 foi de 41,23%, sendo que a do compósito VVV(145) foi de 25,41%. Já o compósito JJJ teve uma fração mássica de 17,22%.

Ainda de acordo com as curvas apresentadas na Figura 4, observa-se que os compósitos VVV(200) e VVV(145) apresentaram praticamente o mesmo nível de deformação e inclinação acentuada das curvas no intervalo de 0 mm/mm a aproximadamente 0,010 mm/mm. Já para o compósito JJJ, a inclinação da curva tendeu a ser menos aparente. A mudança na inclinação da curva, isto é, o seu decaimento, está relacionado ao rompimento e/ou descolamento de uma das três camadas do compósito, o que indica a fratura total das camadas ou dos fios destas. Na Figura 5, tem-se as curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, JV(145)J, V(145)JV(145) e VVV(145).

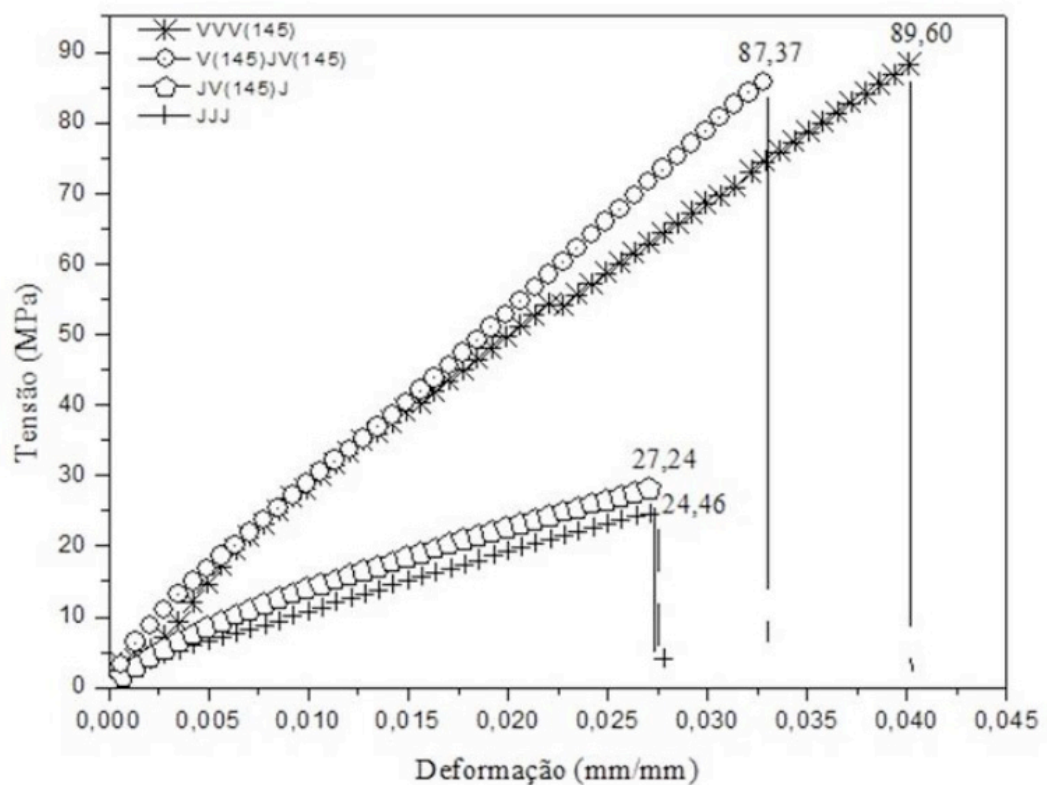


Figura 5: Curvas características dos compósitos JJJ, JV(145)J, V(145)JV(145) e VVV(145).

Na Figura 5, está demonstrado de que forma as configurações e arranjos das camadas de tecido influenciam no comportamento mecânico dos compósitos. O compósito VVV(145), por exemplo, apresenta a resistência à tração de 89,60 MPa e a colocação de uma camada de tecido de juta entre as camadas de tecido de

vidro, V(145)JV(145), reduz esta resistência em apenas 2,7%, o que, considerando o desvio padrão em 3 MPa, é pouco significativo. Ressalta-se, ainda, que os compósitos JV(145)J e JJJ, como indica a curva característica de tensão x deformação, possuem comportamento semelhantes, pois aquém dos 10,2% de diferença na propriedade de tensão, os módulos de elasticidade e deformação são praticamente os mesmos. Os módulos, por exemplo, são 1,06 GPa e 1,01 GPa, e as deformações 0,026 mm/mm e 0,024mm/mm, respectivamente. Na Figura 6, tem-se as curvas características de tensão x deformação dos compósitos JJJ, JV(200)J, V(200)JV(200) e VVV(200).

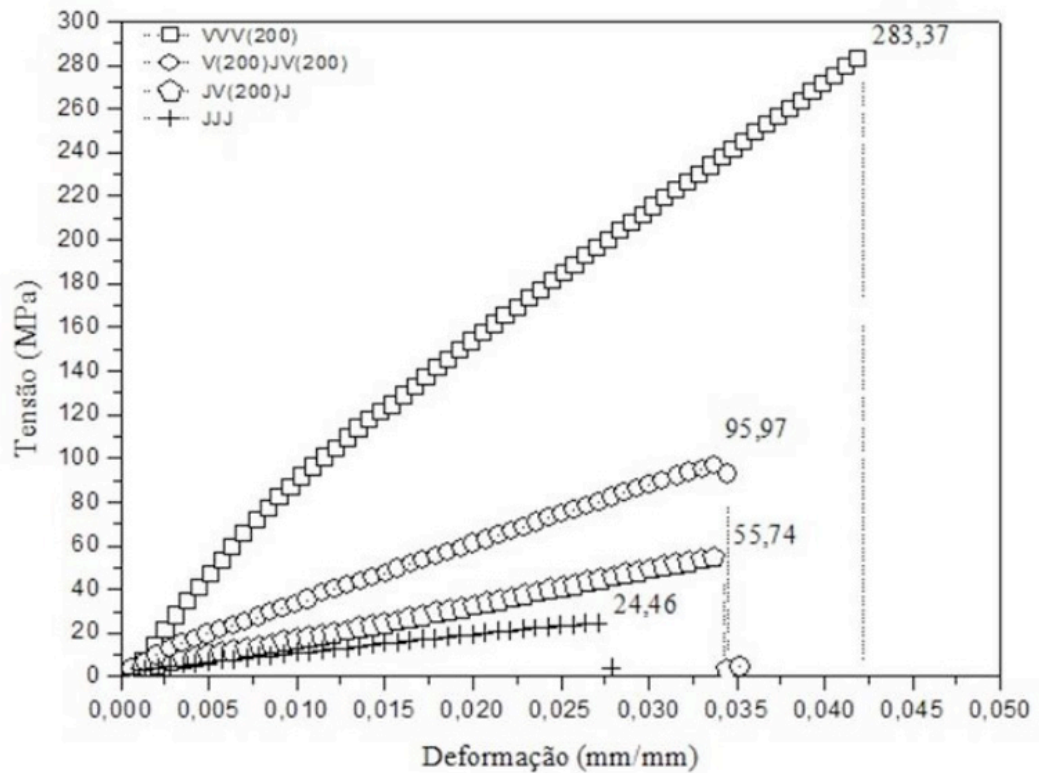


Figura 6: Curvas características dos compósitos JJJ, JV(200)J, V(200)JV(200) e VVV(200).

As curvas da Figura 6 indicam que as configurações e arranjos das camadas de tecido influenciam diretamente no comportamento mecânico dos compósitos, e de modo ainda mais significativo, devido à alta resistência à tração do reforço de tecido de vidro de gramatura 200 g/m².

O compósito VVV(200) mostra uma resistência à tração muito elevada em comparação aos demais, da ordem de 283,37 MPa. O deslocamento da camada de tecido de juta da extremidade para o centro dos compósitos, isto é, V(200)JV(200), leva a uma resistência à tração na carga máxima de 95,97 MPa. Assim, o compósito que possui duas camadas de tecido de vidro, a resistência à tração é visivelmente menor.

A curva que apresenta a maior inclinação e conseqüentemente o maior módulo de elasticidade é o compósito VVV(200), com 6,64 GPa. Os módulos de elasticidade dos compósitos V(200)JV(200) e V(200)V(200)J são semelhantes, 2,74 GPa e 2,52

GPa, respectivamente. Porém, o primeiro apresenta deformação cerca de 20% inferior em relação ao segundo.

O nível de deformação do compósito V(200)JV(200) é semelhante ao do compósito JV(200)J. No entanto, o primeiro, por apresentar duas camadas de vidro, possui maior módulo de elasticidade.

3.2 Aspectos fractográficos

Nas Figuras 7, 8 e 9 são mostrados os aspectos fractográficos dos compósitos de cada configuração estudada.

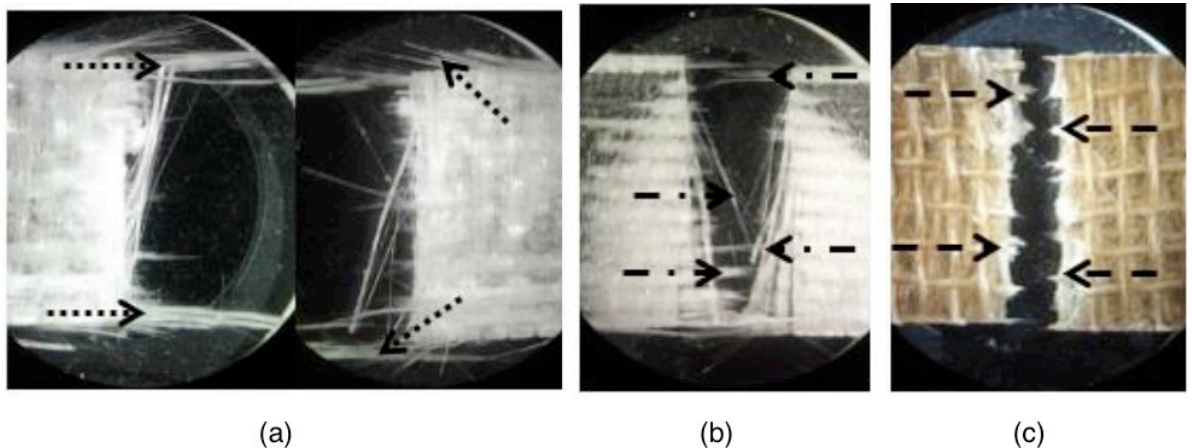


Figura 7: Aspecto da fratura dos compósitos (a) VVV(200), (b) VVV(145) e (c) JJJ.

Como observado na Figura 7(a), o aspecto da fratura do compósito VVV(200) indica que neste houve a completa fratura dos fios ao longo do esforço de tração. Os fios expostos (setas pontilhadas) mostram que pode ter ocorrido o descolamento das camadas devido aos esforços de cisalhamento entre estas. Este comportamento é, do mesmo modo, observado na Figura 7(b), para o compósito VVV(145). Já o aspecto da fratura do compósito JJJ, mostrado na Figura 7(c), assinala o completo rompimento dos fios dispostos na direção preferencial ao esforço de tração, tal como indicam as setas tracejadas. As fibras possivelmente romperam somente na carga máxima, uma vez que a curva característica se mostrou homogênea, isto é, sem gaps. Não houve, portanto, descolamento das camadas.

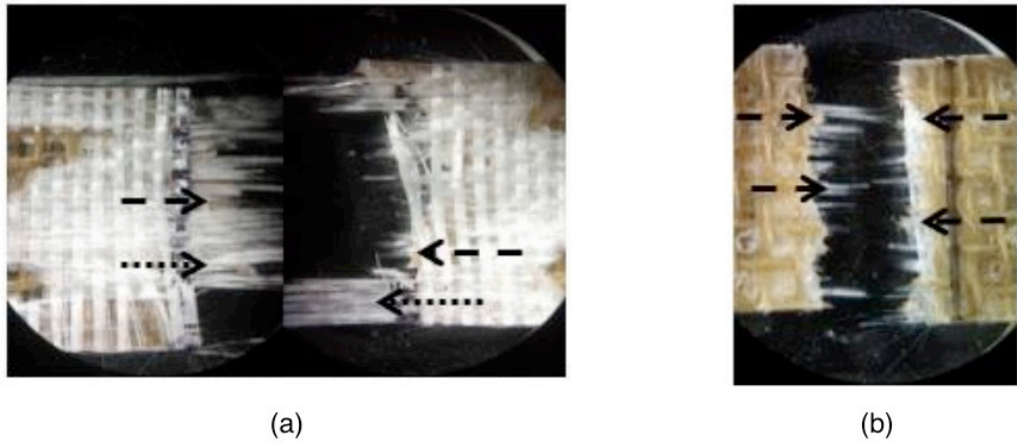


Figura 8: Aspecto da fratura dos compósitos (a) V(145)JV(145) e (b) JV(145)J.

O aspecto da fratura do compósito V(145)JV(145), mostrado na Figura 8(a), indica que houve fratura da camada de tecido de juta, indicado pelas setas tracejadas, possivelmente no momento em que a deformação do compósito era de cerca de 0,08mm/mm. Indica também fraturas nos fios do tecido de vidro, setas pontilhadas. No compósito JV(145)J, mostrado na Figura 8(b), o aspecto da fratura indica que tanto as camadas de fibra de vidro quanto de juta apresentam fibras com fraturas semelhantes (setas tracejadas) indicando que estas atuaram como reforço efetivo, no sentido de que as tensões foram distribuídas de modo equivalente pelas camadas.

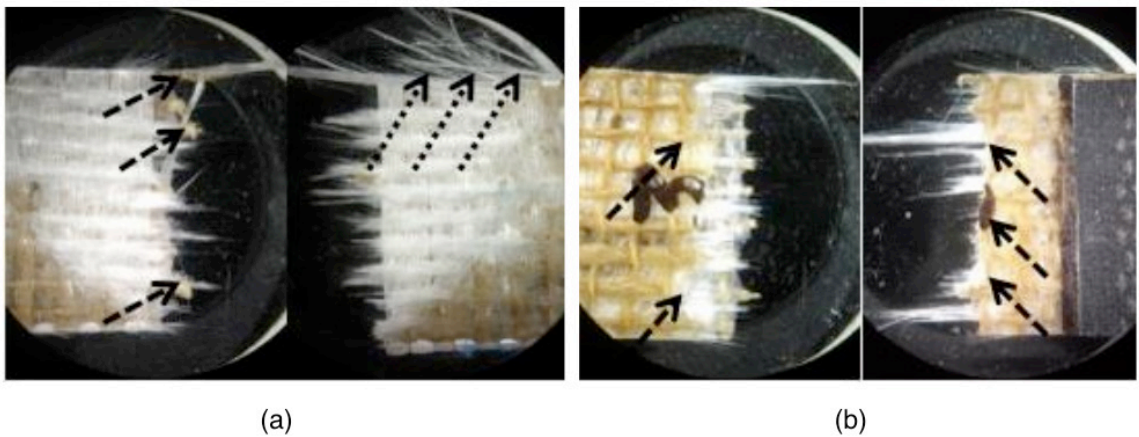


Figura 9: Aspecto da fratura dos compósitos (a) V(200)JV(200) e (b) JV(200)J.

No aspecto da fratura V(200)JV(200), mostrado na Figura 9(a), nota-se os fenômenos da borda lateral “explodida” e concentração de tensões em uma das laterais (setas pontilhadas), além da fratura dos fios do tecido de juta (setas tracejadas), mostrando que esta alcançou o seu limite de resistência à tração. Enquanto que no compósito JV(200)J, mostrado na Figura 9(b), a camada de fibra de juta da parte externa teve delaminação, com fratura coincidente a uma fibra perpendicular (setas tracejadas). A camada de fibra de vidro mostra mecanismos de

falha como arrancamento e ruptura.

4 | CONCLUSÃO

A partir das propriedades obtidas, verificou-se que o tecido de vidro é um reforço evidentemente superior em comparação ao tecido de juta, quando consideramos fatores de resistência mecânica e deformação total, pois a inserção de camadas de tecido de juta foi acompanhada de quedas de desempenho no ensaio de tração em todos os compósitos. Somente no compósito JV(145)J, onde as propriedades comparadas ao compósito JJJ, foram ligeiramente semelhantes, com diferença na resistência à tração da ordem de 10,2%.

O tecido de juta devido desenvolver menor deformação máxima também é um fator determinante na queda de resistência, ocorrendo delaminação devido às camadas de juta romperem primeiro, levando ao comprometimento da integridade do compósito e levando à ocorrência de diversos defeitos, como “mordedura” do tecido de vidro e ancoragem prejudicada, tendendo a se propagar até o tab.

A matriz mostrou precariedade em efetivamente transmitir os esforços mecânicos para a fibra de vidro em boa parte dos compósitos. As rupturas de matriz, exposição das fibras e delaminação indicaram a falta de ancoragem entre as camadas de tecido de vidro e tecido de juta.

A organização das camadas de juta teve influência no material, foi observada uma tendência de resposta mecânica inferior nos compósitos que tinham duas camadas de juta na extremidade, diferentemente dos compósitos com tecido de juta no centro, com os tecidos de vidro na extremidade, onde a resposta foi ligeiramente superior. A fractografia mostra que o comportamento da camada de juta na extremidade acaba por gerar delaminação e separação entre as camadas do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Pará Campus Belém e ao apoio financeiro da CAPES, CNPq e Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

AHMED, K. S., VIJAYARANGAN, S. **Tensile, flexural and interlaminar shear properties of woven jute and jute-glass fabric reinforced polyester composites** Journal of Materials Processing Technology, vol. 207, n. 3, pp. 330–335, Out. 2008.

ALMEIDA, L. M. **Compósitos híbridos com fibras naturais e sintéticas contínuas e alinhadas.** Tese de M.Sc., UFPA, Belém, PA, Brasil, 2018.

AQUINO, E. M. F., MARGARIA, G. **Influence of moisture absorption on the mechanical properties of polyester/fibre glass-E composites** Proceedings of Second international congress on metallurgical and materials technology, 2007.

ASTM D3039/D3039M. **American society for testing and materials**, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, USA, 2014.

BARROS, A.R.F. **Compósitos híbridos: desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**, Tese de M.Sc., UFRN, Natal, RN, Brasil, 2006.

CARASCHI, J. C., LEÃO, A. L. **Mechanical properties of curauá fiber reinforced polypropylene composites**. In: ISNaPol - Third International Symposium on Natural Polymers and Composites, pp. 450-453, São Paulo, 2000.

CAVALCANTE, J. M. de F. **Desenvolvimento de um processo para a incorporação de fios de juta em matriz termoplástica e caracterização dos compósitos**, Tese de D.Sc., UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, 2008.

CAVALCANTI, W. S. **Compósitos poliéster/tecidos tramados vegetal vidro: caracterização mecânica e simulação da adsorção de água**, Tese de D.Sc., UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, 2006.

DALTRO, N. R. **Desenvolvimento de um laminado compósito híbrido a base de fibras de vidro/licuri**, Tese de M.Sc, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2011.

HOSSAIN, M. R. et al. **Effect of Fiber Orientation on the Tensile Properties of Jute Epoxy Laminated Composite**, Journal of Scientific Research, vol. 5, n. 1, pp. 43-54, 2013.

JAWAID, M.H.P.S., ABDUL KHALIL, H.P.S.; BAKAR, A.A. **Hybrid composites of oil palm empty fruit bunches/woven jute fiber: chemical resistance, physical, and impact properties** Journal of Composite Materials, vol. 45, n. 24, pp. 2515-2522, Mai. 2011.

KHONDKER, O.A., ISHIAKU, U.S., NAKAI, A., HAMADA, H. **A novel processing technique for thermoplastic manufacturing of unidirectional composites reinforced with jute yarns** Composites: Part A, Applied Science Manufacturing, vol. 37, n. 12, pp. 2274-2284, Dez. 2006.

MSALLEM, Y. A. et al. **Material characterization and residual stresses simulation during the manufacturing process of epoxy matrix composites**, Composites Part A, applied science and manufacturing, vol. 41, n. 1, pp. 108-115, Jan. 2010.

NAYAK, S. K., MOHANTY, S., SAMAL, S. K. **Influence of interfacial adhesion on the structural and mechanical behavior of PP-banana/glass hybrid composites** Polym Compos, vol. 31, N. 7, pp. 1247-1257, Jul. 2010.

OLIVEIRA, W. **Comportamento mecânico e Característica da Fratura em Compósitos Híbridos**. Tese de M.Sc., UFRN, Natal, RN, Brasil, 2005.

REZENDE, M.I.C., COSTA, M. L., BOTELHO, E. C. **Compósitos estruturais: tecnologia e prática**. São Paulo, Artliber, 2011.

RODRIGUES, J. S, SOUZA, J.A., FUJIYAMA, R.T. **Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão**, Revista Matéria, vol. 20, n. 4, pp. 946-960, Jun. 2015.

SANTOS, J. E. M. dos. **Placas laminadas de poliéster e fibras de juta em diferentes configurações**, Tese de M.Sc., UFPA, Belém, PA, Brasil, 2015.

SILVA, H.S.P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**, Tese de M.Sc., UFRS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2010.

THAKUR, V.K., THAKUR, M.K., GUPTA, R.K. **Review: raw natural fiber-based polymer composites** Inter J Polym Anal Charact, vol. 19, n. 3, pp. 256–271, Fev. 2014.

VIEIRA, C.A.B. **Avaliação de métodos de fabricação de mantas híbridas de fibras curtas de vidro e sisal em compósitos poliméricos**, Tese de M.Sc., UCS, Caxias do Sul, RS, Brasil, 2008.

PROJETO DE MAPA TÁTIL DO IFSUL– SAPUCAIA DO SUL PARA ACESSIBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS

Data de aceite: 12/02/2020

Data de submissão: 02/12/2019

Daniela Oliveira Raupp

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul-Rio-Grandense

Sapucaia do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/3164777480747623>

Carmen Iara Walter Calcagno

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul-Rio-Grandense

Sapucaia do Sul - RS

<http://lattes.cnpq.br/0917832739193743>

RESUMO: No Brasil, existem leis e decretos que regulamentam a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência. Mesmo sendo uma exigência a ser cumprida pelas edificações de acesso público, nestes locais, ainda há uma carência de disponibilização de ferramentas que auxiliem a mobilidade de portadores de deficiências visuais. A proposta desse trabalho tem a finalidade de melhorar a acessibilidade dos portadores de deficiência visual em espaços públicos, para isto, foi projetado um mapa tátil do campus IFSul – Sapucaia do Sul. Para o desenvolvimento do projeto foram coletados dados da planta baixa do campus, bem como, foram definidos os requisitos e especificações de mapas táteis a partir de pesquisa bibliográfica.

O projeto do mapa tátil foi elaborado em CAD, e está disponível para execução.

PALAVRAS-CHAVE: Mapa tátil; acessibilidade; deficiência visual.

PROJECT OF THE TACTILE MAP IFSUL – SAPUCAIA DO SUL FOR ACCESSIBILITY OF VISUAL IMPAIRMENT

ABSTRACT: In Brasil, there are laws that regulate the promotion of the accessibility of people with disabilities. Even though a requirement on the public buildings, in this places, still exist lack of mobility of people with visual impairment. The proposal of this study is improve the accessibility of people with visual impairment in a public spaces, for this, will be developed a tactile map of IFSul Campus - Sapucaia do Sul. For the developement of this project, will be collect the campus plant data, as well as, will be definied specifications and legal requiriments there need have in a tactile maps, from the bibliographic searching. The Project was be elaborated at SolidWorks Software. In the end of the elaboration, is expected to make it available to be executed.

KEYWORDS: Tactile map; accessibility; visual impairment

1 | INTRODUÇÃO

A partir de 02 de dezembro de 2004 entrou em vigor o decreto N° 5.296 que regulamenta as leis 10.048/2000 e 10.098/2000, previstas na constituição brasileira, que tratam respectivamente da prioridade de atendimento, e da promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência. Neste decreto, ficaram sujeitos ao cumprimento de suas disposições, os projetos arquitetônicos e urbanísticos, tendo como referências básicas as normas técnicas de acessibilidade da ABNT (BRASIL, 2004).

A normalização utilizada para padronizar a acessibilidade em edificações é a ABNT NBR 9050 (2015), que especifica os critérios a serem seguidos nos projetos de construção e adaptação, quanto às condições de acessibilidade das obras, tais como aeroportos, escolas, rodoviárias, assim como, ao mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.

Mesmo que, previsto em lei, ainda há uma carência, em ambientes públicos, de sinalização e de disponibilização de ferramentas para auxílio de pessoas com deficiências visuais. Por este motivo, eles se tornam dependentes dos préstimos de terceiros. Visando favorecer sua locomoção e autonomia, este projeto teve a finalidade de buscar o desenvolvimento de um produto que melhore a acessibilidade de deficientes visuais em espaços públicos.

A deficiência visual é definida como a perda total ou parcial da visão, podendo ter diferentes graus e ser classificada como congênita, quando a pessoa já nasce com ela, ou classificada como adquirida, quando em algum momento da vida o indivíduo a adquire (ALMEIDA; ARAÚJO, 2013). O nível de acuidade visual determina dois grupos de deficiência, a cegueira e a baixa visão ou visão subnormal, consecutivamente conceituados como, a perda total da visão ou pouquíssima capacidade de enxergar, e o segundo grupo caracteriza-se pelo comprometimento do funcionamento visual dos olhos, mesmo após receber tratamento.

O objeto de estudo escolhido por este trabalho foi o mapa tátil. Ele é uma ferramenta utilizada pelas pessoas com deficiência visual, para auxiliá-las em seu deslocamento e tomada de decisão sobre o trajeto a ser percorrido para chegar ao seu destino. Possuem características generalizadas sobre uma planta arquitetônica, podendo ser omitidos contornos reais que dificultariam a compreensão da leitura tátil da pessoa com deficiência. Em sua elaboração emprega-se o uso de elementos simbólicos, em alto relevo, tais como, pontos, linhas e superfícies (BEM, 2016).

Buscou-se com este projeto elaborar um instrumento de inclusão social, que colabore com a independência e autonomia dos portadores de deficiência visual, em prol do seu bem-estar social, contribuindo desta forma no desenvolvimento de uma postura mais humana por parte da sociedade.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para definir o processo de elaboração do mapa tátil, bem como, definir os elementos de informações que o compõe, foi realizado uma pesquisa bibliográfica com as palavras-chave: “Normalização mapa tátil” e “Símbolos táteis”. Os trabalhos selecionados foram analisados na fundamentação teórica e na metodologia quanto aos meios utilizados para adequar dimensionamentos e, também, quanto às estratégias utilizadas para a transformação de plantas arquitetônicas na idealização de mapas táteis. Nesta busca, também foram avaliados tópicos que foram utilizados pelos autores, como elementos de informações nos mapas desenvolvidos por eles.

Para projetar o mapa tátil foi utilizada a planta arquitetônica do campus para transformação em esboço com características táteis utilizando os elementos e especificações definidas na etapa anterior. O mapa foi elaborado em CAD.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cartografia tátil

A cartografia possui uma linha específica de confecção de mapas e outros produtos cartográficos que possam ser lidos por pessoas cegas ou com baixa visão, a este ramo é dado o nome de cartografia tátil. No Brasil, as informações sobre este tipo de cartografia são insuficientes, e percebe-se que, a preocupação com a fabricação de mapas táteis ainda é muito recente (LOCH, 2008). Corroborando com a autora mencionada anteriormente, Araújo (2018) narra em sua publicação que na cartografia convencional existem técnicas cartográficas bem estabelecidas e definidas, diferentemente dos mapas táteis, onde não existem padronizações universais.

Sendo assim, durante a pesquisa bibliográfica verificou-se que não existem padrões ou normas que guiem a confecção de mapas táteis no Brasil, por este motivo, compilou-se informações de diferentes autores com o intuito de elaborar um projeto que seja acessível à leitura tátil.

Para o ensino geográfico, existem três tipologias de mapas táteis: mapas de orientação, de mobilidade e de topologia. Descreve-se como mapas de orientação àqueles que esboçam uma visão geral e superficial de uma determinada área, relaciona-se este modelo na linguagem arquitetônica tátil, com uma escala de representação pequena, além de, não ter o detalhamento como principal foco. Enquanto que, os mapas de mobilidade têm a intenção de auxiliar no deslocamento, a partir de pontos de orientação, que indicam os principais obstáculos de uma edificação. Por fim, os mapas topológicos são aqueles que têm a finalidade de apresentar uma rota específica de circulação, neste caso, a escala é maior e mais rica no detalhamento

(SCHNEIDER, 2000 apud BERNARDI, D'ABREU & KOAWLTOWSKI, 2009).

Em virtude destes três tipos de mapas mencionados anteriormente, conclui-se que cada mapa é construído com objetivos específicos daquilo que se pretende transmitir. No caso deste trabalho, optou-se por construir um mapa do tipo orientação, que esboçará uma perspectiva geral de todos os prédios construídos dentro do perímetro do terreno do Instituto.

3.2 Desenvolvimento do mapa tátil

No desenvolvimento de um mapa tátil, existe o desafio de transpor as informações para uma área pequena de forma a serem reconhecidas pela percepção tátil sem tornar a área poluída, visto que, este tipo de leitura é mais limitado e fragmentado, comparada a leitura visual (BERNARDI, 2007).

Com o objetivo de melhorar a legibilidade das informações geográficas, bem como, facilitar a compreensão dos elementos expostos, utiliza-se a generalização cartográfica. Este processo de generalização permite que linhas muito próximas sejam afastadas; que áreas sejam ampliadas; assim como, sejam feitas a simplificação dos contornos existentes na construção de uma edificação (CUSTÓDIO; NOGUEIRA, 2014). Lopes, (2015) ainda identifica dois tipos de generalização, a semântica e a geométrica. A generalização semântica está baseada na origem das informações escolhidas, pelo fato de serem julgadas como relevantes na representação no mapa. A generalização geométrica estabelece a manipulação das características gráficas, como a mudança de dimensões ou deslocamento de objetos (LOPES, 2015).

Conforme o processo de generalização semântica as áreas de maior relevância do câmpus foram selecionadas e agrupadas analogamente. Estas áreas estão destacadas na Figura 1, e sucessivamente denominadas como: (A) dois prédios de Laboratórios e (B) três prédios de Salas de aula. O prédio (C) do Auditório será dividido e apresentará a área da Cantina. Os demais prédios serão únicos e representarão as seguintes áreas: (D) Sede social, (E) Sede esportiva, (F) Salas administrativas, (G) Biblioteca e (H) Portaria.



Figura 1: Imagem aérea do IFSul - Sapucaia do Sul. Adaptado de IFSul (2016)

Neste processo de classificação, algumas regiões foram agregadas para proporcionar uma visão menos poluída e reduzir a complexidade da imagem cartográfica, como por exemplo, nos prédios Laboratórios, esta região possui salas de aula, porém, predominam os Laboratórios.

Da mesma forma, o conceito de generalização geométrica foi aplicado, objetivando a simplificação dos detalhes e contornos da edificação, que pudessem prejudicar a interpretação dos usuários (LOPES, 2015). Foi o caso de um prédio de Salas de aula e do prédio da Biblioteca, estes possuem formatos arquitetônicos diferenciados, e são chamados de “pétala”. Sua representação foi simplificada ao formato geométrico tipo quadrado, conforme demonstrado na Figura 2, mantendo as proporções em escala.

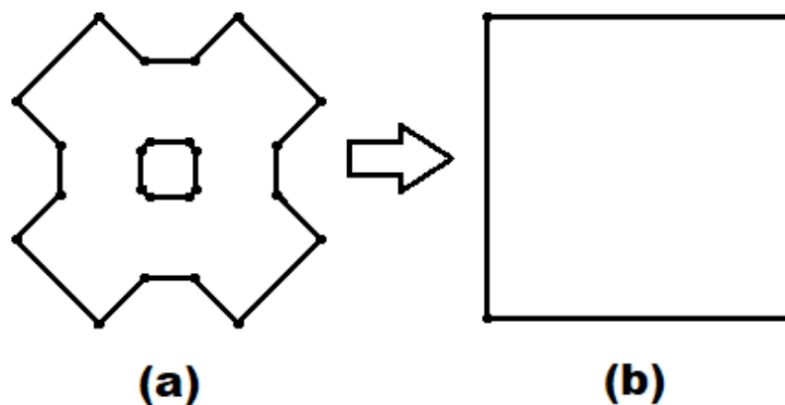


Figura 2: Imagem (a) Forma atual da edificação, tipo pétala; Imagem (b) Forma simplificada da edificação, tipo quadrado.

Bem como, sofreram um processo de ampliação às áreas da Sede social e Portaria. Este tipo de técnica é utilizado para alterar o tamanho dos objetos, de modo a se tornar maior para satisfazer aos requisitos específicos de um mapa (LOPES, 2015). Oposto ao processo de ampliação, para a Sede esportiva utilizou-se a técnica de redução das dimensões da sua construção. Tanto a ampliação quanto à redução das áreas citadas anteriormente, teve a intenção de estabelecer uma dimensão padronizada para a fabricação das matrizes que produzirão as texturas destas áreas nos trabalhos que darão seguimento a este projeto futuramente.

Em sua publicação, Bem (2016) recomenda que as dimensões máximas de um mapa fiquem com as medidas de 420x297mm, ou seja, do tamanho de uma folha A3. Nas medidas sugeridas pelo autor, a leitura fica restrita ao tamanho de duas mãos abertas (BEM, 2016). Nogueira (2007) em seus estudos, igualmente pactuava com a ideia das dimensões para confecção do mapa ser de, no máximo, duas mãos, segundo ela, este é o tamanho adequado para o usuário explorar e decodificar as informações.

Este mapa foi elaborado com base nas dimensões sugeridas pelo autor pesquisado (BEM, 2016). Sendo assim, utilizou-se uma redução da escala do câmpus, até que as medidas comportassem dimensões aproximadas às sugeridas pelo autor, desta maneira obteve-se as seguintes dimensões: 327x167 mm.

3.3 Elementos de Informação em um mapa tátil

3.3.1 Escala

Para a projeção topográfica de uma superfície em um mapa, os detalhes devem ser representados sobre um plano horizontal. Os objetos ou elementos devem ser detalhados, e geralmente suas dimensões não possibilitam a projeção em tamanho real. Tendo assim, a necessidade de reduzir suas proporções, a fim de, tornar possível a sua representação em um espaço limitado, desta forma, utiliza-se a escala. Para entendimento, a escala é definida como a relação entre o tamanho de um objeto ou local representado no papel e sua medida real (IBGE, 1999).

A escala escolhida para este mapa tátil foi de 1:750, esta escala numérica em forma de fração indica quantas vezes foi reduzida a imagem reproduzida no mapa. Ou seja, significa que, cada 1 cm desenhado no mapa corresponde a 750cm no terreno.

3.3.2 Texturas, Relevo e Símbolos

As texturas são utilizadas para diferenciar superfícies com significados distintos, distinguir os limites de regiões determinadas ou indicar áreas, tais como: estacionamentos, salas, lagoas, etc. Bem como, auxiliam o usuário na identificação

do local que ele está lendo. O espaçamento mínimo de 3 mm entre os símbolos deve ser respeitado, visto que, podem ser confundidos se estiverem muito próximos (EDMAN, 1992 apud BEM, 2016).

Bernardi (2007) defende que o espaçamento mínimo entre os símbolos deve ser de 6mm, visto que, a compreensão das informações pode ser dificultada quando colocados a uma distância menor .

Ferreira e da Silva (2012) compilaram em seu estudo, cinco tipos de texturas; sendo essas as mais usuais no ramo da produção tátil; para a produção de uma matriz tátil, representando as cinco regiões geográficas brasileiras. As texturas utilizadas para representar cada região foram diferenciadas apenas por suas formas.

Salienta-se ainda, sobre o projeto de Ferreira e da Silva (2012) os parâmetros analisados no teste de percepção tátil, realizado por um revisor braille, os quais foram: altura, largura e espaçamento das texturas, com o objetivo de verificar a possibilidade de decodificação por uma pessoa com deficiência visual. O resultado quanto à percepção das texturas foi positivo, não houve dificuldades em diferenciar cada textura, apesar de, segundo ele, o tamanho de 1 mm no quesito altura seria suficiente. Outra melhoria sugerida pelo revisor, que demonstrou ser de grande relevância, diz respeito às delimitações de cada região, ele sugeriu que as mesmas fossem delimitadas por um contorno (FERREIRA; Da SILVA, 2012).

Com base nas texturas utilizadas no projeto de Ferreira e da Silva (2012), para a criação deste mapa foram escolhidas 7 texturas, que representarão as seguintes áreas: Laboratórios, Salas de Aula, Auditório, Sede Social, Sede Esportiva, Salas Administrativas e Biblioteca ⁽¹⁶⁾. Bem como, foram selecionados 3 símbolos, para representar as áreas da Cantina e Portaria, assim como, o símbolo “Eu Estou Aqui”, representado por um “X”, o qual, localiza o usuário ao local onde será instalado o mapa, conforme Figura 3.

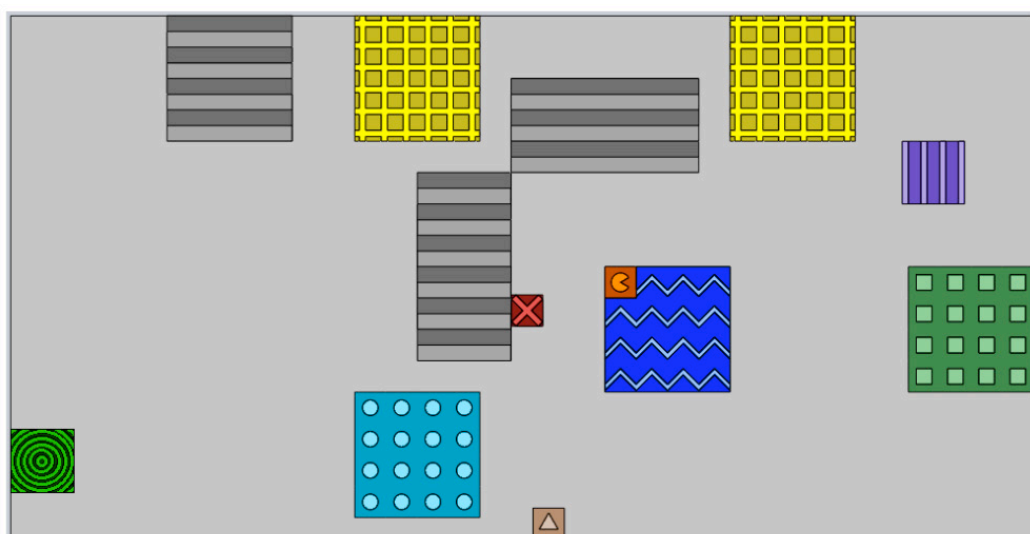


Figura 3: Mapa Tátil do IFSul-Sapucaia do Sul.

Para o desenvolvimento dos relevos, utilizou-se a altura de 1 mm, conforme sugerido pelo revisor braile, no estudo de Ferreira e da Silva (2012). Quanto às delimitações de contorno de cada região, não se julgou necessário neste projeto, visto que, na maioria das representações existem espaços entre os prédios do Instituto, que levam a pressupor uma delimitação de espaço. Porém, na situação do prédio do Auditório, que divide o espaço com a Cantina, seria o caso de aplicar um contorno, contudo, não foi possível, por se tratar de uma área muito pequena, deste modo, considerou-se mais apropriado a sua omissão, visto que, o mesmo poderia perturbar a leitura tátil.

Os demais parâmetros utilizados para a elaboração deste mapa, como: espaçamento e largura dos relevos, bem como, a legenda que identifica cada região do câmpus, podem ser visualizados na Tabela 1.










Textura	Área	Espaçamento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)
	Laboratórios	5	1	2
	Salas de Aula	5	1	5
	Auditório	Entre cristas: 10	1	2
	Cantina	---	1	Raio: 3
	Sede Social	4	1	2
	Sede Esportiva	1	1	1
	Salas Administrativas	5	1	Raio: 2,5
	Biblioteca	5	1	5
	Portaria	---	1	Aresta: 6
	Eu Estou Aqui	---	1	2

Tabela 1: Legenda do Mapa, com texturas e dimensões utilizadas.

3.3.3 Legenda

Bernardi (2007) relata a importância da legenda, ela não identifica apenas as funções de cada ambiente, também traz o significado dos diversos símbolos táteis

utilizados. Ainda sobre a legenda, Bem (2016) comenta que ela aponta os elementos presentes no mapa, tais como, uma lista de símbolos, linhas, pontos, texturas, combinações de letras e números e uma explicação a respeito.

A legenda pode ser exibida em uma parte separada do mapa, e sua formatação deve seguir os seguintes critérios (EDMAN, 1992, apud BEM, 2016).

- a) Os símbolos devem estar dispostos em uma coluna à esquerda. Em outra coluna, do lado oposto de cada símbolo devem estar às descrições em braile. A distância entre as duas colunas deve ser suficiente para que os dedos do usuário consigam percorrer facilmente do símbolo à sua descrição;
- b) Legendas formadas por apenas uma coluna de símbolos e uma coluna de significados tendem a ser mais legíveis;
- c) Linhas, pontos e símbolos de área são inseridos geralmente em primeiro lugar no mapa. Seu tamanho deve corresponder à mesma escala utilizada no mapa. Para se conseguir a legibilidade, as linhas devem ter no mínimo 13mm, as texturas devem ser representadas em um quadrado com lado mínimo de 13mm;
- d) As letras devem ser listadas em ordem alfabética e os números em sequência numérica crescente (EDMAN, 1992, apud BEM, 2016).

Conforme Tabela 1, pode-se ter uma idealização de como será projetada a legenda deste mapa tátil. Os símbolos encontram-se dispostos na primeira coluna, à esquerda, identificam-se neles as texturas utilizadas no projeto, as quais diferenciam cada região. Ao lado direito dos símbolos, na segunda coluna, encontram-se as descrições das áreas.

3.3.4 Título

Segundo o método desenvolvido pelo Laboratório de Cartografia Tátil e Escolar - LabTATE, da Universidade Federal de Santa Catarina, o posicionamento do título em um mapa tátil fica disposto na parte superior, ao lado dos outros elementos de informações. O texto para leitura do título, para pessoas cegas ou com deficiência visual é representado em forma de Braille (CUSTÓDIO; NOGUEIRA, 2014).

Araújo (2018) comenta em sua publicação, que o Sistema Braille corresponde a uma escrita pontográfica onde há a representação de letras e números por meio de sinais pontuais em relevo, e que, assim como no sistema de escrita convencional, o Braille também possui ortografia.

Apesar de, não ter sido apresentado na Figura 3, o título será posicionado na parte superior do mapa. Ele apresentará a escrita em alto relevo, bem como, em Braille.

4 | CONCLUSÃO

Esta pesquisa possibilitou definir o processo de elaboração de um mapa tátil, assim como, foi possível definir os elementos de informações que o constituem. A partir destas definições, tornou-se executável a fase de projeto do mapa tátil cujo detalhamento apresentado nesse trabalho possibilitará a construção do mesmo em etapa posterior.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T.S.; ARAÚJO F.V. **Diferenças experienciais entre pessoas com cegueira congênita e adquirida: uma breve apreciação.** Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia. Ano 1, v. 1, n.3, jun, 2013. Faculdade Leão Sampaio. 21 f. Artigo Científico ISSN 2317 – 434X.
- ARAÚJO, Niédja S. **Desenvolvimento de símbolos para mapa tátil indoor a partir de impressora 3D.** 2018. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- BEM, G. M. **Parâmetros de fabricação de símbolos para mapas táteis arquitetônicos.** 2016. 204 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.
- BERNARDI, Núbia. **A aplicação do conceito do desenho universal no ensino de arquitetura: o uso de mapa tátil como leitura de projeto.** 2007. 339 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.
- BRASIL. Decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nºs 10.048, de 8 de novembro de 2000, que **Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica**, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que **Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida**, e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2004. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- BRASIL. Lei nº 10.048, de 08 de novembro de 2000. **Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica**, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2000. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10048.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- BRASIL. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. **Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida**, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2000. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10098.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- CUSTÓDIO, G. A. & NOGUEIRA, R. E. **O aporte da cartografia tátil no ensino de conceitos cartográficos para alunos com deficiência visual.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, Nº 63/4, p. 757-772, Jul/Ago/2014.
- EDMAN, 1992 apud BEM, G. M. **Parâmetros de fabricação de símbolos para mapas táteis arquitetônicos.** 2016. 204 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade

Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.

FERREIRA, M. E.S., & da SILVA, L. F. C. F. **Construção de matrizes táteis pelo processo de prototipagem rápida**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N0 64/1, p. 45-55, 2012.

IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999, 130p. (Manuais Técnicos em Geociência, número 8). Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv8595_v1.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2018.

LOCH, Ruth E. N. **Cartografia Tátil: mapas para deficientes visuais**. Portal da Cartografia. Londrina, v.1, n.1, maio/ago., p. 35 - 58, 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/1362/1087>. Acesso em 24 ago. 2018.

LOPES, José A. T. **Generalização Cartográfica com recurso a inteligência artificial**. 2015. 175f. Tese (Doutorado em Ciências Geofísicas e da Geoinformação) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências Departamento de Engenharia Geográfica Geofísica e Energia Portugal.

NOGUEIRA, R. E. **Padronização de mapas táteis: um projeto colaborativo para a inclusão escolar e social**. Ponto de Vista, Florianópolis, n. 9, p. 87-111, 2007.

SCHNEIDER, 2000 apud BERNARDI, N.; D'ABREU, J. V. V.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Orientação espacial no campus da UNICAMP**: diretrizes para o desenvolvimento de um mapa de uso tátil e sonoro como ferramenta de auxílio ao percurso do usuário com deficiência visual. In: ENCONTRO NACIONAL, 10; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6. Natal, 2009. [Anais...]. Natal, 2009. p. 1827-1830.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Accessibility 50

Acessibilidade 50, 51, 59

C

Commercially pure aluminum 11, 13, 16, 19

Compósitos laminados 35, 37

D

Deficiência visual 50, 51, 56, 58, 59, 60

F

Failures 2

Falhas 1, 2, 3, 5

Feed speed 11, 12, 15, 17, 18, 19

Fiberglass 36

Fibra de juta 35, 46

Fibra de vidro 35, 37, 42, 46, 47

H

Hibridização 35, 37, 38

Hybridization 36

I

Incremental sheet forming 11, 15, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 33, 34

J

Jute fiber 36, 48

L

Laminated composites 36

Lubrication 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 33

M

Mapa tátil 50, 51, 52, 53, 55, 56, 58, 59

P

Polymeric resin 36

R

Resina polimérica 35

Rodas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

S

Soldagem 2, 61

T

Tactile map 50

V

Visual impairment 50

W

Welding 2

Wheels 2

Z

Zinc sheets 21, 22, 25, 31

 **Atena**
Editora

2 0 2 0