

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o texto completo desta Tese será disponibilizado somente a partir de 19/08/2022.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



**Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica**

THIAGO GLISSOI LOPES

**DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ANOMALIAS DURANTE O PROCESSO DE
MANUFATURA ADITIVA POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO POR MEIO DE TRANSDU-
TORES PIEZELÉTRICOS E PROCESSAMENTO DE SINAIS**

**Bauru
2021**

THIAGO GLISSOI LOPES

**DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ANOMALIAS DURANTE O PROCESSO DE
MANUFATURA ADITIVA POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO POR MEIO DE TRANSDU-
TORES PIEZELÉTRICOS E PROCESSAMENTO DE SINAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru/ FEB da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / UNESP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação

Linha de pesquisa: Mecatrônica

Orientador: Prof. Titular Paulo Roberto de Aguiar

**Bauru
2021**

L864d Lopes, Thiago Glissoi
 Detecção e classificação de anomalias
durante o processo de manufatura aditiva por
fusão e deposição por meio de transdutores
piezelétricos e processamento de sinais :
Thiago Glissoi Lopes, 2021
219 p. :il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade
Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Engenharia, Bauru, 2021
Orientador: Paulo Roberto de Aguiar
Coorientador: Thiago Valle França

1.Manufatura por fusão e deposição.
2. Monitoramento. 3.Detecção de anomalias.
I. Universidade Estadual Paulista. Facul-
dade de Engenharia de Bauru. II. Título.



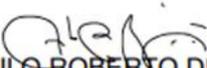
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de THIAGO GLISSOI LOPES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 19 dias do mês de fevereiro do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de THIAGO GLISSOI LOPES, intitulada **DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ANOMALIAS DURANTE O PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO POR MEIO DE TRANSDUTORES PIEZELÉTRICOS E PROCESSAMENTO DE SINAIS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE AGUIAR (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ALESSANDRO ROGER RODRIGUES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade de São Paulo / USP - São Carlos, Prof. Dr. JOSÉ ALFREDO COVOLAN ULSON (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE AGUIAR

**Dedico a minha família que me apoia em tudo
que está ao seu alcance para que eu seja feliz.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Marcia Glissoi, por ter sempre feito tudo que estava em seu alcance por mim.

Agradeço aos meus avós, Maria e Nilton (Cabrera), por terem sempre cuidado de mim.

Agradeço ao meu tio, Reinaldo Glissoi, por ter feito tudo que fez por mim, e por ter sido o modelo de pessoa para quando estava crescendo.

Agradeço ao restante de meus familiares, por terem me incentivado e ajudado.

Agradeço a minha amada noiva, Jessyka Sanches, pelo apoio e incentivo ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Paulo Roberto de Aguiar, gostaria de agradecer profundamente pela oportunidade de poder acompanhar, ainda como aluno especial de mestrado, as atividades do laboratório. Agradeço ainda pelas oportunidades de vir e me tornar parte da equipe de pesquisa do LADAPS. Agradeço a paciência quando houve momentos difíceis, por toda orientação e ensino durante todo este tempo. Por meio de seus exemplos, conselhos e ensinamentos me tornei uma pessoa melhor.

Ao Professor Thiago Valle França, pela disposição em ensinar e orientar. Obrigado pela sinceridade, disponibilidade e por sempre buscar um meio para contribuir com a pesquisa.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia de Bauru – FEB por todo ensino e atendimento prestado durante esse tempo.

Aos meus amigos de laboratório Ana Balarin, Cristiano Soares, Fábio Dotto, Gabriel David, Luanne Barbosa, Martin Auléstia, Pedro Cerri, Pedro Oliveira, Reinaldo Götz, Renata Maia, Rogério Tomazella e Zaqueu Antônio. Além deles, é necessário agradecer aos amigos de outros laboratórios de pesquisa da UNESP – Bauru, Bruno Albuquerque, Christielly Fernandes, Danilo Budoya, Guilherme Beraldi, Laura Queiroz, Leandro Campeiro, Marco Aurélio, Mathews Carmo, Renan, Verena Bombonatti, e Wallace Gabriel, vocês foram simplesmente fantásticos.

Ao meu grande amigo, Felipe Alexandre (*in memoriam*), por todo apoio e por participar de várias etapas de ensaios. Sua ajuda foi fundamental.

Aos meus amigos Adriel Senna, Breno Ortega, Erick Ruas, Igor Bazan, José Vital, e Wenderson Nascimento, pelo companheirismo e preciosos conselhos.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram e apoiaram essa etapa.

“A terra é um cenário muito pequeno em uma imensa arena cósmica.”

- Carl Sagan

RESUMO

O processo de manufatura aditiva por fusão e deposição (FDM – *Fused Deposition Modeling*), também conhecido como processo de impressão 3D, trata da fabricação de objetos tridimensionais por adição de camadas subsequentes de filamento plástico fundido. As camadas de filamento são depositadas seguindo determinados arquétipos de preenchimento (AP), definidos durante a fase de fatiamento por meio das características de impressão adotadas pelo operador do processo. Em cada AP, determinados parâmetros fundamentais de camada são observáveis. Dada a característica sequencial da fabricação das camadas no processo FDM, caso seja detectado uma anomalia durante a fabricação da primeira camada, o processo pode ser interrompido, evitando assim diversas perdas. Os efeitos de uma incorreta definição de características de impressão nos parâmetros fundamentais de camada têm sido estudados. O monitoramento indireto de processos de fabricação por meio do processamento digital de sinais adquiridos a partir de transdutores piezelétricos é uma prática muito comum na atualidade. A prática do monitoramento do processo FDM por sensor de emissão acústica (EA) vem sendo tema de diversos estudos. O diafragma piezelétrico (PZT) vem sendo estudado como alternativa ao sensor EA tradicional para aplicações de monitoramento *in-situ* de processos de manufatura. Os dados estatísticos obtidos da etapa de processamento digital de sinais podem ser utilizados como valores de entrada em modelos de classificação de anomalias em processos monitorados. Na construção destes modelos, diferentes métodos de classificação podem ser avaliados e comparados entre si quanto às acurácias obtidas ao classificar determinado grupo de amostras. O presente trabalho procurou estudar a viabilidade da utilização do PZT como alternativa ao sensor EA no monitoramento da fabricação de primeira camada do processo FDM, visando a detecção de anomalias nos parâmetros fundamentais de camada e na geometria obtida das peças impressas. Ademais, procurou-se a obtenção de modelos de classificação para os dados obtidos pelo sensor EA e pelo PZT. Para tal, diferentes análises estatísticas foram conduzidas nos sinais adquiridos pelos transdutores piezelétricos, e parte dos dados obtidos foram utilizados como entrada na avaliação de diferentes métodos de classificação. Como resultado do trabalho, ficou evidenciada a viabilidade da utilização do PZT como alternativa ao sensor de EA no monitoramento do processo FDM, com a detecção de anomalias nos parâmetros fundamentais de camada e obtenção de modelos de classificação capazes de identificar os diferentes modos de fabricação irregular.

Palavras-chave: manufatura por fusão e deposição, monitoramento, detecção de anomalias

ABSTRACT

The Fused Deposition Modeling (FDM) process, also known as 3D printing process, deals with the manufacture of three-dimensional objects by adding subsequent layers of fused plastic filament. The filament layers are deposited following certain filling archetypes (FA), defined during the slicing phase through the printing characteristics adopted by the process operator. In each FA, certain fundamental layer parameters are observable. Given the sequential characteristic of the fabrication of layers in the FDM process, if an anomaly is detected during the manufacture of the first layer, the process can be interrupted, thus avoiding several losses. The effects of an incorrect definition of printing characteristics on the fundamental layer parameters have been studied. Indirect monitoring of manufacturing processes through digital processing of signals acquired from piezoelectric transducers is a very common practice today. The practice of monitoring the FDM process by an acoustic emission (AE) sensor has been the subject of several studies. The piezoelectric diaphragm (PZT) has been studied as an alternative to the traditional AE sensor for *in-situ* monitoring applications of manufacturing processes. The statistical data obtained from the digital signal processing step can be used as input values in monitored anomalies classification models. In the construction of the classification models, different classification methods can be evaluated and compared with each other regarding the accuracy obtained when classifying a certain group of samples. The present work sought to study the feasibility of using PZT as an alternative to the AE sensor in monitoring the first layer fabrication of the FDM process, aiming at detecting anomalies in the fundamental parameters of the layer and in the geometry obtained from the printed parts. In addition, we sought to obtain classification models for the data obtained by the AE sensor and the PZT. To this end, different statistical analyzes were conducted on the signals acquired by piezoelectric transducers, and part of the data obtained was used as input for the evaluation of different classification methods. As a result of the work, the feasibility of using PZT as an alternative to the AE sensor in monitoring the FDM process was evidenced, with the detection of anomalies in the fundamental layer parameters and obtaining classification models capable of identifying the different modes of irregular manufacture.

Keywords: Fused deposition modeling, monitoring, anomalies detection

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
SUMÁRIO	xi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xiv
LISTA DE TABELAS.....	xxii
LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS	xxiii
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 BREVE ESTADO DA ARTE SOBRE MANUFATURA ADITIVA E SEU MONITORAMENTO	1
1.2 OBJETIVO.....	5
1.3 PUBLICAÇÕES OBTIDAS	6
Capítulo 2 - REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 PROCESSO FDM	8
2.1.1 <i>Programa fatiador</i>	10
2.1.2 <i>Estratégias de preenchimento</i>	11
2.1.2.1 Preenchimento tipo <i>raster</i>	13
2.1.2.2 Preenchimento tipo contorno	14
2.1.2.3 Preenchimento combinado de <i>raster</i> e contorno.....	14
2.1.3 <i>Extrusor</i>	15
2.1.4 <i>Impressora</i>	16
2.1.5 <i>Filamento</i>	18
2.2 MONITORAMENTO E PROCESSAMENTO DE SINAIS NA MANUFATURA	19
2.2.1 <i>Monitoramento dos processos de manufatura aditiva</i>	19
2.2.1.1 Monitoramento do processo FDM	19
2.2.1.2 Detecção e classificação de anomalias em processos de MA	22
2.2.2 <i>Transdutores piezelétricos</i>	23
2.2.3 <i>Processamento de sinais</i>	24
2.2.3.1 Valor Médio Quadrático (RMS) e Contagem de Cruzamentos de Limiar (Counts)	25
2.2.3.2 Transformada Rápida de Fourier (FFT) e Razão de Potência (ROP)	29
2.2.3.3 Desvio do RMS (RMSD) e Métrica do desvio do coeficiente de correlação (CCDM).....	30
2.3 MÉTODO DA QUEBRA DO GRAFITE	31
2.4 MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO	32
2.5 FRONTEIRA DO CONHECIMENTO	34

Capítulo 3 - MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E BANCO DE ENSAIOS	36
3.1.1 <i>Verificação da resposta dos transdutores pelo método PLB</i>	38
3.1.1.1 Testes PLB em mesa isolada	38
3.1.1.2 Testes PLB em mesa aquecida	39
3.1.2 <i>Testes de impressão</i>	41
3.1.2.1 Testes com variação de velocidade de impressão	45
3.1.2.2 Testes com variação de proximidade do extrusor em relação a mesa	47
3.2 INSPEÇÃO VISUAL DE PEÇAS IMPRESSAS.....	49
3.2.1 <i>Digitalização de alta resolução</i>	49
3.2.2 <i>Microscopia óptica</i>	50
3.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS	51
3.3.1 <i>Análise da resposta dos transdutores piezelétricos</i>	52
3.3.2 <i>Análise do tempo de integração</i>	54
3.3.3 <i>Análise dos picos de amplitude em frequência</i>	55
3.3.4 <i>Análise dos arquétipos de preenchimento</i>	57
3.3.5 <i>Análise dos sinais adquiridos dos testes de impressão</i>	59
3.3.5.1 Análise nos sinais dos V-VI.....	59
3.3.5.2 Análise nos sinais dos V-DZ.....	60
3.3.5.3 Classificação de dados	62
Capítulo 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1 RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DDA RESPOSTA DOS TRANSDUTORES PIEZELÉTRICOS.....	65
4.1.1 <i>Verificação da repetibilidade dos sinais no domínio do tempo</i>	65
4.1.1.1 Análise nos testes PLB em mesa isolada	65
4.1.1.2 Análise nos testes PLB em mesa aquecida.....	67
4.1.2 <i>Verificação da repetibilidade dos sinais no domínio da frequência</i>	70
4.1.2.1 Análise nos testes PLB em mesa isolada	70
4.1.2.2 Análise nos testes PLB em mesa aquecida.....	72
4.1.3 <i>Verificação da influência da fixação da mesa</i>	75
4.1.3.1 Análise nos espectros adquiridos pelo sensor EA	75
4.1.3.2 Análise nos espectros adquiridos pelo PZT	77
4.1.4 <i>Verificação da influência da temperatura</i>	79
4.1.4.1 Análise nos espectros adquiridos pelo sensor EA	79
4.1.4.2 Análise nos espectros adquiridos pelo PZT	81
4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DO TEMPO DE INTEGRAÇÃO.....	83
4.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DOS PICOS DE AMPLITUDE EM FREQUÊNCIA.....	89
4.3.1 <i>Análise nos espectros dos sinais adquiridos pelo sensor EA</i>	89
4.3.2 <i>Análise nos espectros dos sinais adquiridos pelo PZT</i>	92

4.4	RESULTADOS DA ANÁLISE DOS ARQUÉTIPOS DE PREENCHIMENTO.....	94
4.4.1	<i>Análise no domínio do tempo</i>	94
4.4.2	<i>Análise no domínio da frequência</i>	100
4.5	RESULTADOS DA INSPEÇÃO VISUAL	104
4.5.1	<i>Análise nas peças digitalizadas</i>	104
4.5.1.1	Peças obtidas nos V-VI	104
4.5.1.2	Peças obtidas nos V-DZ.....	109
4.5.2	<i>Análise por microscopia óptica</i>	121
4.6	RESULTADOS DOS TESTES DE IMPRESSÃO.....	122
4.6.1	<i>Resultados das análises nos sinais dos V-VI</i>	122
4.6.2	<i>Resultados das análises nos sinais dos V-DZ</i>	125
4.6.2.1	Análise da variação em relação a IIR1.....	134
4.6.2.2	Análise da variação em relação a IIR2.....	139
4.6.3	<i>Classificação das condições de impressão</i>	143
4.6.3.1	Dados obtidos pelo sensor EA	143
4.6.3.2	Dados obtidos pelo PZT	145
	Capítulo 5 – CONCLUSÕES	148
5.1	SUGESTÃO PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS.....	149
	Referências	150
	APÊNDICE I	168
	APÊNDICE II	173
	APÊNDICE III	178
	APÊNDICE IV	180
	APÊNDICE V	184
	APÊNDICE VI	188

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Objetivos do trabalho	5
Figura 2.1 - Representação das principais etapas do processo FDM	10
Figura 2.2 – Estratégias de preenchimento. (a) <i>Raster</i> , (b) Contorno, (c) Combinação de <i>raster</i> e contorno	12
Figura 2.3 – Exemplo de trajetórias de posição de uma camada.....	12
Figura 2.4 – Estratégias adicionais de preenchimento de camadas do sistema Slic3r®. (a) colmeia (<i>honeycomb</i>), (b) linha, (c) curva Hilbert, (d) acordes de Arquimedes, (e) espiral Octagram	13
Figura 2.5 – Representação de preenchimento combinado de <i>raster</i> e contorno com parâmetros fundamentais de camada.....	14
Figura 2.6 – Tipos de extrusores, partes e funcionamento. (a) Extrusor direto, (b) Extrusor <i>Bowden</i> , (c) Funcionamento do extrusor direto, (d) Funcionamento do extrusor <i>bowden</i>	16
Figura 2.7 – Modelos comuns de impressoras 3D	17
Figura 2.8 – Representações de camada única de filamento extrudado com os parâmetros indicados: largura do filamento (<i>w</i>), espessura da camada (<i>t</i>), <i>gap</i> (<i>g</i>) e distância (<i>l</i>) entre filamentos	18
Figura 2.9 – Diafragma piezelétrico	24
Figura 2.10 – Um exemplo de sinal EA com algumas características	28
Figura 3.1 – Sequência dos testes realizados.....	36
Figura 3.2 – Esquema do banco de ensaio para os PLB-I.....	38
Figura 3.3 – Foto do banco de ensaio para os PLB-I	39
Figura 3.4 – Esquema do banco de ensaio para os PLB-A	40
Figura 3.5 – Foto do banco de ensaio para os PLB-A.....	41
Figura 3.6 – Detalhamento da impressora 3D Graber i3 em relação as trilhas de movimentação	43
Figura 3.7 – Peças a serem utilizadas nos testes de impressão após terem sido fatiadas	43
Figura 3.8 – Especificações de fabricação do arquétipo de preenchimento 1 (AP1)	44
Figura 3.9 – Especificações de fabricação do arquétipo de preenchimento 2 (AP2)	45
Figura 3.10 – Banco de ensaio para os testes com variação da característica de impressão velocidade de impressão (V-VI).....	46
Figura 3.11 – Banco de ensaio para os V-DZ.....	47
Figura 3.12 – Foto do banco de ensaio para os V-DZ.....	48

Figura 3.13 – Banco de ensaios para a microscopia óptica. (a) Representação da base do microscópio, (b) Visão geral do microscópio com luz auxiliar acesa e câmera fotográfica acoplada.....	51
Figura 3.14 – Codificação para identificação dos dados oriundos dos V-DZ.....	52
Figura 3.15 – Sequência das análises conduzidas	52
Figura 3.16 – Algoritmo de análise da resposta dos transdutores piezelétricos. (a) Análise da influência da fixação da mesa, (b) Análise da influência da temperatura da mesa	53
Figura 3.17 – Algoritmos de análise do tempo de integração. (a) Análise pelo primeiro critério, (b) Análise pelo segundo critério	55
Figura 3.18 – Algoritmo de análise dos picos de amplitude em frequência.....	56
Figura 3.19 – Algoritmo de análise dos arquétipos de preenchimento	58
Figura 3.20 – Representação da análise cruzada	59
Figura 3.21 – Algoritmo de análise nos sinais do V-DZ no domínio do tempo.....	61
Figura 3.22 – Algoritmo de análise nos sinais do V-DZ no domínio da frequência.....	62
Figura 3.23 – Métodos de classificação disponíveis no aplicativo <i>Classification Learner</i>	63
Figura 3.24 – Fluxograma detalhado do procedimento de verificação dos métodos de classificação.....	64
Figura 4.1 – Sinais obtidos para o PLB-I. (a) Sensor EA, (b) PZT.....	66
Figura 4.2 – Aproximação nos sinais obtidos para o PLB-I. (a) Sensor EA, (b) PZT	67
Figura 4.3 – Sinais obtidos para os PLB-A. (a) Sensor EA – 25 °C, (b) Sensor EA – 65 °C, (c) PZT – 25 °C, (d) PZT – 65 °C	68
Figura 4.4 – Aproximação nos sinais obtidos nos PLB-A. (a) Sensor EA – 25 °C, (b) Sensor EA – 65 °C, (c) PZT – 25 °C, (d) PZT – 65 °C	69
Figura 4.5 – Espectros de frequência dos sinais obtidos para os PLB-I. (a) Sensor EA, (b) PZT	71
Figura 4.6 – Espectros de frequência médios dos sinais obtidos para os PLB-I. (a) Sensor EA, (b) PZT	72
Figura 4.7 – Espectros de frequência dos sinais obtidos para os PLB-A. (a) Sensor EA – 25 °C, (b) Sensor EA – 65 °C, (c) PZT – 25 °C, (d) PZT – 65 °C	73
Figura 4.8 – Espectros de frequência médios dos sinais obtidos no PLB-A. (a) Sensor EA – 25 °C, (b) Sensor EA – 65 °C, (c) PZT – 25 °C, (d) PZT – 65 °C	74
Figura 4.9 – Verificação da influência da fixação da mesa nos sinais de EA. (a) Espectros em frequência, (b) CCDM avaliado em determinadas bandas de frequência, (c) RMSD avaliado em determinadas bandas de frequência	75

Figura 4.10 – Verificação da influência da fixação da mesa nos sinais de PZT. (a) Espectros em frequência, (b) CCDM avaliado em determinadas bandas de frequência, (c) RMSD avaliado em determinadas bandas de frequência	77
Figura 4.11 – Verificação da influência da temperatura da mesa nos sinais de EA. (a) Espectros em frequência, (b) CCDM avaliado em determinadas bandas de frequência, (c) RMSD avaliado em determinadas bandas de frequência	79
Figura 4.12 – Verificação da influência da temperatura da mesa nos sinais de PZT. (a) Espectros em frequência, (b) CCDM avaliado em determinadas bandas de frequência, (c) RMSD avaliado em determinadas bandas de frequência	82
Figura 4.13 – Sinal bruto coletado pelo sensor EA em IR dos V-DZ.....	84
Figura 4.14 – AP1 do sinal bruto coletado pelo sensor EA em IR dos V-DZ.....	84
Figura 4.15 – Sinal RMS AP1 avaliado com $T_i = 0,1$ ms	85
Figura 4.16 – Aproximação nas regiões S1-L1 e S2-L1 do sinal RMS AP1 avaliado com $T_i = 0,1$ ms	86
Figura 4.17 – Aproximação na transição entre S1-L1 e S2-L1 do sinal RMS AP1 avaliado com $T_i = 0,1$ ms.....	87
Figura 4.18 – Tempo de subida para diferentes T_i avaliados	88
Figura 4.19 – Sinal RMS AP1 EA para diferentes T_i . (a) R1 – $T_i = 1$ ms, (b) R2 – $T_i = 1$ ms, (c) R3 – $T_i = 1$ ms, (d) R1 – $T_i = 9$ ms, (e) R2 – $T_i = 9$ ms, (f) R3 – $T_i = 9$ ms, (g) R1 – $T_i = 15$ ms, (h) R2 – $T_i = 15$ ms, (i) R3 – $T_i = 15$ ms.....	89
Figura 4.20 – Espectro em análise – EA	90
Figura 4.21 – Picos de amplitude em frequência – sensor EA.....	90
Figura 4.22 – Picos de frequência para todos os espectros obtidos a partir dos V-DZ – sensor EA.....	91
Figura 4.23 – Espectro em análise – PZT.....	92
Figura 4.24 – Picos de amplitude em frequência – PZT	93
Figura 4.25 – Picos de frequência para todos os espectros obtidos a partir dos sinais dos V-DZ – PZT	93
Figura 4.26 – Sinal bruto coletado pelo sensor EA em IR dos V-DZ. (a) AP1, (b) AP2.....	95
Figura 4.27 – Sinal RMS obtido a partir do sinal bruto coletado pelo sensor EA em IR dos V-DZ. (a) AP1, (b) AP2	96
Figura 4.28 – Médias RMS. (a) AP1, (b) AP2	97
Figura 4.29 – Média entre as médias RMS - blocos do AP1	97
Figura 4.30 – Counts. (a) AP1, (b) AP2	98

Figura 4.31 – Médias Counts – Blocos do AP1	99
Figura 4.32 – Médias entre as médias RMS e Médias Counts para os diferentes arquétipos de preenchimento	100
Figura 4.33 – Espectros de frequência para os diferentes arquétipos de preenchimento. (a) AP1, (b) AP2	101
Figura 4.34 – Sinais ROP. (a) AP1, (b) AP2.....	101
Figura 4.35 – Médias ROP. (a) AP1, (b) AP2.....	102
Figura 4.36 – Média ROP blocos AP1	103
Figura 4.37 – Média entre as médias ROP	103
Figura 4.38 – Análise nas peças obtidas em IR dos V-VI.....	104
Figura 4.39 – Análise nas peças obtidas em IIR1 dos V-VI.....	106
Figura 4.40 – Análise nas peças obtidas em IIR2 dos V-VI.....	108
Figura 4.41 – Análise nas peças obtidas em IIR1 dos V-DZ	110
Figura 4.42 – Análise nas peças obtidas em IR dos V-DZ.....	112
Figura 4.43 – Análise nas peças obtidas em IIR2 dos V-DZ	113
Figura 4.44 – Referência para conversão pixel-milímetro do processo de digitalização	114
Figura 4.45 – Avaliação dimensional das peças impressas em IIR1 nos V-DZ.....	115
Figura 4.46 – Avaliação dimensional das peças impressas em IR nos V-DZ.....	115
Figura 4.47 – Avaliação dimensional das peças impressas em IIR2 nos V-DZ.....	116
Figura 4.48 – Altura total das peças	117
Figura 4.49 – Largura total das peças.....	118
Figura 4.50 – Largura segmento 1	119
Figura 4.51 – Largura segmento 2.....	119
Figura 4.52 – Largura segmento 3.....	120
Figura 4.53 – Largura segmento 4.....	121
Figura 4.54 – Larguras de contorno médias das linhas do segmento 1	122
Figura 4.55 – Representação de três sinais brutos obtidos do V-VI. (a) Teste em IR, (b) Teste em IIR1, (c) Teste em IIR2.....	123
Figura 4.56 – Espectros de frequência de três sinais brutos obtidos do V-VI. (a) Teste em IR, (b) Teste em IIR1, (c) Teste em IIR2	124
Figura 4.57 – Sinais obtidos pelo sensor EA em IIR1 dos V-DZ	126
Figura 4.58 – Sinais obtidos pelo PZT em IIR1 dos V-DZ.....	126
Figura 4.59 – Sinais obtidos pelo sensor EA em IR dos V-DZ.....	127
Figura 4.60 – Sinais obtidos pelo PZT em IR dos V-DZ	128

Figura 4.61 – Sinais obtidos pelo sensor EA em IIR2 dos V-DZ	129
Figura 4.62 – Sinais obtidos pelo PZT em IIR2 dos V-DZ.....	130
Figura 4.63 – Espectros de frequência dos sinais obtidos pelo sensor EA representativos das fabricações com MSE. (a) IIR1 – R1, (b) IIR1 – R2, (c) IIR1 – R3, (d) IR – R1, (e) IR – R2, (f) IR – R3, (g) IIR2 – R1, (h) IIR2 – R2, (i) IIR2 – R3	131
Figura 4.64 – Espectros de frequência dos sinais obtidos pelo PZT representativos das fabricações com MSE. (a) IIR1 – R1, (b) IIR1 – R2, (c) IIR1 – R3, (d) IR – R1, (e) IR – R2, (f) IR – R3, (g) IIR2 – R1, (h) IIR2 – R2, (i) IIR2 – R3	132
Figura 4.65 – Espectros de frequência dos sinais obtidos pelo sensor EA representativos das fabricações com MSM. (a) IIR1 – R1, (b) IIR1 – R2, (c) IIR1 – R3, (d) IR – R1, (e) IR – R2, (f) IR – R3, (g) IIR2 – R1, (h) IIR2 – R2, (i) IIR2 – R3	133
Figura 4.66 – Espectros de frequência dos sinais obtidos pelo PZT representativos das fabricações com MSM. (a) IIR1 – R1, (b) IIR1 – R2, (c) IIR1 – R3, (d) IR – R1, (e) IR – R2, (f) IR – R3, (g) IIR2 – R1, (h) IIR2 – R2, (i) IIR2 – R3	134
Figura 4.67 – Análise nos espectros médios de referência obtidos pelo sensor EA para as fabricações de MSE em IIR1 e IR. (a) Espectros na faixa de 1 Hz a 5 kHz; (b) Banda de frequência onde os espectros possuem menor sobreposição; (c) Banda de frequência onde os espectros possuem maior sobreposição	135
Figura 4.68 – Índices de dano RMSD obtidos para as frequências de interesse na detecção de anomalias em IIR1 para as fabricações de MSE nos espectros médios de referência obtidos pelo sensor EA.....	136
Figura 4.69 – Análise nos espectros médios de referência obtidos pelo PZT para as fabricações de MSE em IIR1 e IR. (a) Espectros na faixa de 1 Hz a 800 Hz; (b) Banda de frequência onde os espectros possuem maior sobreposição; (c) Banda de frequência onde os espectros possuem menor sobreposição	137
Figura 4.70 – Índices de dano RMSD obtidos para as frequências de interesse na detecção de anomalias em IIR1 para as fabricações de MSE nos espectros médios de referência obtidos pelo PZT.....	138
Figura 4.71 – Valores resultante da análise no domínio do tempo nos sinais de MovRMS e MovROP de IIR1 e IR referentes a fabricação de S1. (a) Média entre as médias RMS dos sinais adquiridos pelo sensor EA, (b) Média entre as médias ROP dos sinais adquiridos pelo sensor EA, (c) Média entre as médias RMS dos sinais adquiridos pelo PZT, (d) Média entre as médias ROP dos sinais adquiridos pelo PZT.....	138

Figura 4.72 – Análise nos espectros médios de referência obtidos pelo sensor EA para as fabricações de MSE em IIR2 e IR. (a) Espectros na faixa de 1 Hz a 5 kHz; (b) Banda de frequência onde os espectros possuem menor sobreposição; (c) Banda de frequência onde os espectros possuem maior sobreposição	139
Figura 4.73 – Índices de dano RMSD obtidos para as frequências de interesse na detecção de anomalias em IIR2 para as fabricações de MSE nos espectros médios de referência obtidos pelo sensor EA.....	140
Figura 4.74 – Análise nos espectros médios de referência obtidos pelo PZT para as fabricações de MSE em IIR2 e IR. (a) Espectros na faixa de 1 Hz a 800 Hz; (b) Banda de frequência onde os espectros possuem maior sobreposição; (c) Banda de frequência onde os espectros possuem menor sobreposição	141
Figura 4.75 – Índices de dano RMSD obtidos para as frequências de interesse na detecção de anomalias em IIR2 para as fabricações de MSE nos espectros médios de referência obtidos pelo PZT	142
Figura 4.76 – Valores resultante da análise no domínio do tempo nos sinais de MovRMS e MovROP de IIR2 e IR referentes a fabricação de S1. (a) Média entre as médias RMS dos sinais adquiridos pelo sensor EA, (b) Média entre as médias ROP dos sinais adquiridos pelo sensor EA, (c) Média entre as médias RMS dos sinais adquiridos pelo PZT, (d) Média entre as médias ROP dos sinais adquiridos pelo PZT	143
Figura 4.77 – Resultado das rodadas de testes de classificação a partir dos dados obtidos pelo sensor EA.....	144
Figura 4.78 – Resultado das rodadas de testes de classificação a partir dos dados obtidos pelo PZT	146
Figura 6.1 - Aproximação nos sinais obtidos pelo sensor EA para o teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C	178
Figura 6.2 - Aproximação nos sinais obtidos pelo PZT para o teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C	178
Figura 6.3 - Espectros de frequência dos sinais obtidos pelo sensor EA para o teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C	180

Figura 6.4 - Espectro de frequência médio do teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas com sensor EA. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C.....	180
Figura 6.5 - Espectros de frequência dos sinais obtidos pelo PZT para o teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C	181
Figura 6.6 - Espectro de frequência médio do teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas com PZT. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C	182
Figura 6.7 - Espectro de frequência médio do teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas com sensor EA representado na banda de 0 Hz a 5 kHz. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C	182
Figura 6.8 - Espectro de frequência médio do teste de mesa aquecida a diferentes temperaturas com PZT representado na banda de 0 Hz a 4 kHz. (a) 25 °C, (b) 30 °C, (c) 35 °C, (d) 40 °C, (e) 45 °C, (f) 50 °C, (g) 55 °C, (h) 60 °C, (i) 65 °C.....	183
Figura 6.9 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IIR1-R1	184
Figura 6.10 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IIR1-R2	184
Figura 6.11 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IIR1-R3	185
Figura 6.12 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IR-R1.....	185
Figura 6.13 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IR-R2.....	185
Figura 6.14 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IR-R3.....	186
Figura 6.15 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IIR2-R1	186
Figura 6.16 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IIR2-R2	186
Figura 6.17 – Larguras de contorno das linhas do S1 da IIR2-R3	187
Figura 6.18 – Sinais RMS obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IIR1. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	188
Figura 6.19 – Sinais ROP obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IIR1. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	188
Figura 6.20 – Sinais RMS obtidos a partir dos sinais coletados pelo PZT para as fabricações do S1 em IIR1. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3	189

Figura 6.21 – Sinais ROP obtidos a partir dos sinais coletados pelo PZT para as fabricações do S1 em IIR1. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3	189
Figura 6.22 – Sinais RMS obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IR. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	190
Figura 6.23 – Sinais ROP obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IR. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	190
Figura 6.24 – Sinais RMS obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IR. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	191
Figura 6.25 – Sinais ROP obtidos a partir dos sinais coletados pelo PZT para as fabricações do S1 em IR. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	191
Figura 6.26 – Sinais RMS obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IIR2. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	192
Figura 6.27 – Sinais ROP obtidos a partir dos sinais coletados pelo sensor EA para as fabricações do S1 em IIR2. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3.....	192
Figura 6.28 – Sinais RMS obtidos a partir dos sinais coletados pelo PZT para as fabricações do S1 em IIR2. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3	193
Figura 6.29 – Sinais ROP obtidos a partir dos sinais coletados pelo PZT para as fabricações do S1 em IIR2. (a) L1 – R1, (b) L2 – R1, (c) L3 – R1, (d) L1 – R2, (e) L2 – R2, (f) L3 – R2, (g) L1 – R3, (h) L2 – R3, (i) L3 – R3	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componentes dos extrusores de tipo normal e <i>bowden</i>	15
Tabela 2: Métodos de classificação disponíveis no aplicativo <i>Classification Learner</i>	33
Tabela 3: Artigos científicos que avaliaram múltiplos métodos de classificação por meio do aplicativo <i>Classification Learner</i>	34
Tabela 4: Características de impressão para os testes com variação da característica de impressão velocidade de impressão (V-VI).....	46
Tabela 5: Características de impressão para os V-DZ.....	48
Tabela 6: Definições de introdução da matriz de dados para a classificação.....	63
Tabela 7: Resultados da análise em relação aos parâmetros fundamentais de camada vázio e	105
Tabela 8: Resultados da análise em relação aos parâmetros fundamentais de camada vázio e espaço nas peças fabricadas em IIR1 nos V-VI	107
Tabela 9: Resultados da análise em relação aos parâmetros fundamentais de camada vázio e espaço nas peças fabricadas em IIR2 nos V-VI	109
Tabela 10: Resultados da análise em relação aos parâmetros fundamentais de camada vázio e espaço nas peças fabricadas em IIR1 nos V-DZ	110
Tabela 11: Resultados da análise em relação aos parâmetros fundamentais de camada vázio e espaço nas peças fabricadas em IR nos V-DZ.....	112
Tabela 12: Resultados da análise em relação aos parâmetros fundamentais de camada vázio e espaço nas peças fabricadas em IIR2 nos V-DZ	114
Tabela 13: Definições do modelo de classificação para os dados obtidos pelo sensor EA....	145
Tabela 14: Definições do modelo de classificação para os dados obtidos pelo PZT	147
Tabela 15: Características completas de impressão para os V-VI.....	168
Tabela 16: Características completas de impressão para V-DZ.....	173

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

°C	Unidade de medida termométrica no sistema métrico (Graus Celsius)
3DPa	Impressão 3D (<i>3D Printing</i>)
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno (<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>)
ABS-Energy	Energia do sinal
AE	Emissão Acústica (<i>Acoustic Emission</i>)
Al-Si	Alumínio-Silício
AM	Manufatura Aditiva (<i>Additive Manufacturing</i>)
AP	Arquétipo de preenchimento
AP1	Arquétipo de preenchimento externo
AP2	Arquétipo de preenchimento interno
ASTM	ASTM internacional (<i>American Society for Testing and Materials</i>)
CAD	Projeto Assistido por Computador (<i>Computer-Aided Design</i>)
CCDM	Métrica do Desvio do Coeficiente de Correlao (<i>Correlation Coefficient Deviation Metric</i>)
CF	Com filamento
Counts	Contagem de cruzamentos de limiar
DAQ	Dispositivo de Aquisio de Dados (<i>Data Acquisition</i>)
DFT	Transformada Discreta de Fourier (<i>Discrete Fourier Transform</i>)
dpi	Pontos por polegada (<i>dots per inch</i>)
EA	Emissão Acústica
FDM	Manufatura por Fusão e Deposio (<i>Fused Deposition Modeling</i>)
FFE	Extrusão de Forma Livre (<i>Free Form Extrusion</i>)
FFF	Fabricao por Filamento Fundido (<i>Fused Filament Fabrication</i>)
FFT	Transformada Rápida de Fourier (<i>Fast Fourier Transform</i>)
FIR	Resposta ao impulso finita (<i>Finite Impulse Response</i>)
GNU GPL	Lica Pública Geral GNU (<i>GNU General Public License</i>)
HSMM	Modelo Oculto semi-Markov (<i>Hidden Semi-Markov Model</i>)
Hz	Unidade de medida de frequência no sistema internacional (Hertz)
IIR1	Condio de impressão irregular 1
IIR2	Condio de impressão irregular 2
IR	Condio de impressão regular

ISO	Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>)
kHz	Unidade de medida de frequência no sistema internacional (quilohertz)
L1	Linha 1
L2	Linha 2
L3	Linha 3
MA	Manufatura Aditiva
MatEx	Extrusão de material (<i>Material Extrusion</i>)
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
mm	Unidade de medida de comprimento no sistema métrico (milímetro)
MSE	Movimentação somente do extrusor
MSM	Movimentação somente da mesa
NTC	Termistor de coeficiente de temperatura negativo (<i>Negative Temperature Coefficient</i>)
obj	Abreviação de objeto
PCA	Análise de componentes principais (<i>Principal Component Analysis</i>)
PETG	Politereftalato de Etileno Glicol (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>)
PLA	Ácido Poliático (<i>Polylactic Acid</i>)
PLB	Método da Quebra de Grafite (<i>Pencil Lead Break</i>)
PLB-A	Testes PLB em mesa aquecida
PLB-I	Testes PLB em mesa isolada
PNG	Gráficos Portáteis de Rede (<i>Portable Network Graphics</i>)
PSD	Densidade Espectral de Potência (<i>Power Spectral Density</i>)
px	Número de pixels em uma imagem
PZT	Diafragma Piezelétrico (<i>Lead Zirconate Titanate</i>)
R1	Repetição 1
R2	Repetição 2
R3	Repetição 3
Reg	Região de análise
RepRap	Prototipagem rápida replicadora (<i>Replicating Rapid Prototyping</i>)
RMS	Valor Médio Quadrático (<i>Root Mean Square</i>)
RMSD	Desvio do Valor Médio Quadrático (<i>Root Mean Square Deviation</i>)
ROP	Razão de potência (<i>Ratio of Power</i>)
S1	Segmento 1

S2	Segmento 2
S3	Segmento 3
S4	Segmento 4
s	Unidade de medida de tempo no sistema internacional (segundo)
seg	Abreviação da unidade de medida segundo
SF	Sem filamento
SHM	Monitoramento da integridade estrutural (<i>Structural Health Monitoring</i>)
STFT	Transformada de Fourier de Tempo Curto (<i>Short Time Fourier Transform</i>)
SLA	Processo de fabricação por Estereolitografia (<i>Stereolithography</i>)
SLS	Sinterização Seletiva a Laser (<i>Selective Laser Sintering</i>)
std	Desvio padrão
STL	Formato de Arquivo de Estereolitografia (<i>Stereolithography File Format</i>)
SVM	Máquina de Vetores de Suporte (<i>Support Vector Machine</i>)
T_i	Tempo de integração
TIF	Formato de imagem rotulada (<i>Tagged Image Format</i>)
TIFF	Formato de arquivo de imagem rotulado (<i>Tagged Image File Format</i>)
TIM	Motor de indução trifásico (<i>Triphasic Induction Motor</i>)
USB	Porta Serial Universal (<i>Universal Serial Bus</i>)
V	Volts
V-VI	Testes de impressão com variação da característica velocidade de impressão
V-DZ	Testes de impressão com variação da característica defasagem no eixo Z
X	Veze

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 BREVE ESTADO DA ARTE SOBRE MANUFATURA ADITIVA E SEU MONITORAMENTO

A nomenclatura manufatura aditiva (MA) descreve, de acordo com o padrão ISO ASTM 52900 (ISO/ASTM, 2015), o processo de confecção de objetos pela união subsequente de camadas de material seguindo um modelo tridimensional (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; SCHNIEDERJANS, 2017). Existe ainda a definição da nomenclatura MA encontrado na ASTM 2792-12, que descreve-a como sendo processos de junção de materiais para a confecção de objetos a partir de dados digitais tridimensionais, usualmente camada sobre camada, em oposição a metodologias de fabricação subtrativas (MONZÓN *et al.*, 2014). Encontram-se variadas tecnologias de confecção em MA, como o processo de manufatura por fusão e deposição (FDM), a estereolitografia, e a sinterização seletiva a laser (LI; KUCUKKOC; ZHANG, 2017; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; MONZÓN *et al.*, 2014; VOLPATO, 2017).

De acordo com Schniederjans (2017), existem muitos debates acerca da utilização da nomenclatura impressão 3D (3DP) para a descrição de processos de manufatura aditiva. Alguns descrevem tais termos como sinônimos, como visto em Torrado *et al.* (2014) e Garas *et al.* (2018), outros apontam suas diferenças (KULKARNI *et al.* apud MELLOR *et al.*, 2014). É possível ainda verificar a utilização da nomenclatura impressão 3D para descrever especificamente o processo FDM, como visto em Torrado *et al.* (2014), Hall *et al.* (2017) e Lopes *et al.* (2018).

Inicialmente a nomenclatura impressão 3D fazia alusão direta a um processo de manufatura aditiva específico desenvolvido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) (KRUTH, 1991). No entanto, em seu livro publicado no ano de 2017, Volpato (2017, p.18) descreve que a nomenclatura impressão 3D vem sendo mais comumente aplicado aos processos e equipamentos de manufatura aditiva por FDM de menor custo, conforme discussão contida na norma ISO/ASTM 52900:2015(E) (ISO/ASTM, 2015).

A estereolitografia (SLA) é descrita como uma técnica de fabricação de MA baseada na fotopolimerização (KLETETSCHKA *et al.*, 2018). A fotopolimerização na fabricação por SLA ocorre quando a luz ultravioleta emitida por um laser é absorvida pelo fotoinicializador, o que resulta na geração de um radical que inicializa a polimerização da resina, que em última instância resulta na cadeia polimérica estruturante do objeto (KRUTH, 1991).

Outra técnica de fabricação camada a camada é a sinterização seletiva a laser (SLS), na qual por meio da utilização de uma emissão a laser, a confecção de objetos tridimensionais

é realizada pela fusão de metais ou polímeros em camadas bidimensionais (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). Entretanto, de acordo com Shevchik *et al.* (2018), o número de materiais que podem ser confiavelmente processados pela técnica SLS é ainda muito limitado (ex: aço inoxidável austenítico e ligas eutéticas de Al-Si).

Para um objeto ser passível de confecção via processo FDM, este, inicialmente, deve possuir um modelo tridimensional digital (HALL *et al.*, 2017; VOLPATO, 2007). Em seguida, este modelo tridimensional digital deverá passar por um programa, o qual realizará a preparação e conversão do modelo para um formato de representação geométrica tridimensional (KOCISKO *et al.*, 2017; VOLPATO, 2017). O mais comum destes é o denominado formato de arquivo de estereolitografia (STL) (VOLPATO, 2017).

Dentre os meios pelos quais os modelos tridimensionais podem ser obtidos encontram-se: modelagem em programas de projeto assistido por computador (CAD) (HALL *et al.*, 2017), obtenção direta a partir de representação matemática (DA SILVA, 2007), ou a partir de tecnologias que permitem a obtenção de uma representação digital de um volume real, como a imagem de ressonância magnética (DA SILVA, 2007; VOLPATO, 2017; YEH; CHEN, 2018) ou digitalização tridimensional (CELANI; CANCHERINI, 2009).

O tempo de impressão e a qualidade final de um objeto obtido pelo processo FDM são de difícil padrão previsão (KOCISKO *et al.*, 2017). Isto ocorre devido a quantidade de etapas do processo nos quais alterações de fabricação são definidas. Inicialmente, o arquivo STL passa por um programa de preparo, denominado pós-processador, onde é realizada a parametrização inicial do processo. Nesta parametrização, realizada no processo denominado de fatiamento, as características de impressão são definidas. Outro fator que insere incertezas no tempo de impressão e na qualidade final de um objeto obtido pelo processo FDM é a escolha do pós-processador para a realização da parametrização inicial do processo. Cada pós-processador escolhido possui parâmetros intrínsecos, que estabelecem, entre outros fatores, quais características de impressão poderão ser definidas durante o fatiamento (DA SILVA, 2007; KOCISKO *et al.*, 2017). Que por si, insere um grau de incerteza na previsibilidade das características finais de um objeto obtido pelo processo FDM (NATH *et al.*, 2020). Estas alterações nas características finais de um objeto podem ser tão pequenas que se tornam de difícil percepção a um operador humano (HARTCHER-O'BRIEN; EVERS; TEMPELMAN, 2019).

As alterações indesejadas nas características finais de um objeto podem ser retratadas como anomalias de impressão em parâmetros fundamentais de camada (VOLPATO, 2017) ou em variações geométricas entre o objeto idealizado e o objeto impresso (LOPES *et al.*, 2020).

Segundo Volpato (2017, p.16), quanto ao início do processo FDM utilizando o arquivo

STL: “O processo tem início com o modelo 3D da peça sendo fatiado eletronicamente, obtendo-se as curvas de nível 2D que definirão, em cada camada, onde será ou não adicionado material.”

A fabricação de cada camada pelo processo FDM é alcançada por meio da deposição de filamento derretido em diferentes estratégias de fabricação ou de preenchimento (VOLPATO, 2007). A combinação de diferentes estratégias de fabricação, tais como as estratégias *raster* e contorno (*contour*), ou a variação de parâmetros de uma mesma estratégia, tal como o ângulo de *raster*, resulta na existência, em uma mesma camada, de múltiplos padrões ou arquétipos de preenchimento (AP) (WENDT *et al.*, 2016).

Dentre todo o período do processo FDM, o verificado como mais crítico para a detecção de anormalidades que podem indicar falhas é o de impressão da primeira camada (BHAVSAR *et al.*, 2020). Dentre os motivos para tal, encontra-se o fato de que no processo FDM a primeira camada é o que fornece fundação para o objeto em confecção (WU; YU; WANG, 2016).

As matérias primas utilizadas no processo FDM são escolhidas para cada necessidade de aplicação e viabilidade de emprego na impressora 3D disponível para uso (LEE; AN; CHUA, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017). Dentre as matérias primas, encontram-se polímeros plásticos, cerâmicas, metais, e materiais inteligentes (HALL *et al.*, 2017; NGO *et al.*, 2018; VOLPATO, 2007). Para prototipagem rápida e aplicações domésticas, alguns dos polímeros plásticos disponíveis mais populares são o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), o Politereftalato de Etileno Glicol (PETG), e o Ácido Poliático (PLA) (CICALA *et al.*, 2017; KARAKURT; LIN, 2020; SANTANA *et al.*, 2018; SIVA *et al.*, 2020). O PLA possui maior alcance de utilização, dada, entre outros fatores, a sua viabilidade de utilização em impressoras 3D sem mesa aquecida (ABEYKOON; SRI-AMPHORN; FERNANDO, 2020).

Existem dois tipos principais de extrusores utilizados em FDM, extrusor direto e extrusor *Bowden*. Em impressoras que contam com extrusor *Bowden*, o aquecimento para fusão do filamento no extrusor ocorre separadamente do “ponto de movimentação” do filamento. De outra maneira, nas impressoras com extrusor direto, o aquecimento para fusão do filamento no extrusor ocorre junto ao “ponto de movimentação” do filamento (TLEGENOV; HONG; LU, 2018).

Dentre os métodos de monitoramento não invasivos, o sensoriamento por emissão acústica (EA) aplicado a um material possibilita a detecção de alterações internas como resultado de uma força externa, por meio de ondas elásticas geradas quando a energia no material ou em sua superfície é liberada rapidamente (KUMAR; VISHWAKARMA; AKHILESH, 2018). Estas ondas elásticas, detectadas pelo sensoriamento via EA, podem, após analisadas,

indicar a ocorrência de fenômenos que auxiliam a caracterização do correto funcionamento de um processo de manufatura, ou auxiliam a indicar anormalidades (ALEXANDRE *et al.*, 2018). Isto ocorre, por exemplo, quando durante o processo de interesse, em um período definido, o sistema de aquisição de dados armazena as ondas detectadas por um sensor EA, disponibilizando-as para posteriores análises por meio de técnicas de processamento digital de sinais (SILVA DE FREITAS; GUIMARÃES BAPTISTA, 2016).

O diafragma piezelétrico (PZT), comumente conhecido como *buzzer*, é um componente acústico de baixo custo, utilizado em variadas aplicações eletrônicas. O PZT tem sido apresentado em diversos trabalhos como uma alternativa de baixo custo ao sensor EA tradicional, na aquisição de dados em diferentes processos para fins de monitoramento, inclusive em processos de monitoramento da integridade estrutural (SHM) (RIBEIRO *et al.*, 2017; SILVA DE FREITAS; GUIMARÃES BAPTISTA, 2016).

A análise da resposta de sensores, tal como o sensor de EA e o diafragma piezelétrico, sob determinadas condições de utilização tem o sido o tema de diferentes trabalhos (DE ALMEIDA; BAPTISTA; DE AGUIAR, 2015; LUCAS *et al.*, 2019). O método da quebra do grafite (PLB) pode ser utilizado de forma a se verificar da resposta de determinado sensor quando fixado à superfície de análise, ou quando sob influência de variáveis aquém ao processo em estudo, tal como a temperatura da superfície de análise (LOPES *et al.*, 2018a, 2019b).

As técnicas de processamento digital de sinais utilizam ferramentas de análise tais como: o Valor Médio Quadrático (RMS), Contagem de Cruzamentos de Limiar (Counts), Transformada de Fourier de Tempo Curto (STFT), e energia do sinal (ABS-Energy) (WU; YU; WANG, 2016). Algumas destas ferramentas foram empregadas por Wu; Yu; Wang. (2016) e Liu *et al.* (2018) em sinais adquiridos por sensores EA, as quais se mostraram úteis na detecção e posterior classificação de diferentes anomalias em fabricações de peças pelo processo FDM.

A utilização da ferramenta de análise RMS em sinais no domínio do tempo requer que diferentes parâmetros sejam definidos (WEBSTER; DONG; LINDSAY, 1996). Dentre estes, o tempo de integração (T_i) é um parâmetro que varia muito em relação ao processo no qual o sinal foi adquirido (JEMIELNIAK, 2001; KIM *et al.*, 2001; WEBSTER; DONG; LINDSAY, 1996).

A classificação de anomalias por meio de dados estatísticos oriundos do processamento digital de sinais é uma prática utilizada em trabalhos acadêmicos (GRIFFIN; CHEN, 2006, 2009; KHARRAT *et al.*, 2016; MALHI; GAO, 2004). É possível encontrar ainda a utilização de diferentes métodos de classificação em estudos visando a detecção de falhas no processo FDM (KIM *et al.*, 2018; WU; WANG; YU, 2015; WU; YU; WANG, 2016, 2017)

Ao estudar a classificação de variadas condições em um grupo de dados, diferentes métodos de classificação podem ser avaliados e comparados por meio da utilização do aplicativo *Classification Learner*, que faz parte da *toolbox* de *machine learning and deep learning* do Matlab® (MATHWORKS, 2019; YAN *et al.*, 2020). O aplicativo *Classification Learner* viabiliza ainda a obtenção de modelos de classificação de dados a partir de determinados métodos de classificação (MATHWORKS, 2019; YAN *et al.*, 2020). A utilização do aplicativo *Classification Learner* para avaliar e com

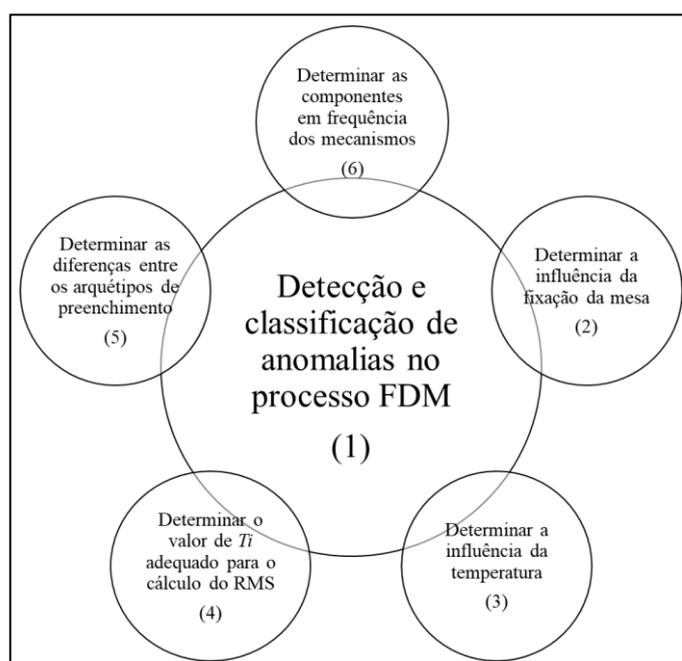
parar diferentes métodos de classificação pode ser encontrado em pesquisas na área da saúde (TUNCER; ERTAM, 2020), em estudos geológicos (AKTAS; SAN, 2019), em estudos visando a avaliação de rugosidade superficial (PANDIYAN; TJAHJOWIDODO; SAMY, 2016), e em estudos de física nuclear (GLENN *et al.*, 2021).

1.2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um método de detecção e classificação de anomalias durante o início do processo de manufatura por fusão e deposição (FDM), empregando-se dois transdutores piezelétricos, o sensor de emissão acústica e o diafragma piezelétrico, bem como técnicas de processamento digital de sinais.

De forma a alcançar o objetivo principal do trabalho, objetivos secundários foram estabelecidos. A Figura 1.1 retrata o objetivo principal do trabalho, identificado pelo círculo central, e os demais círculos retratando os objetivos secundários.

Figura 1.1 – Objetivos do trabalho



Fonte: Autor

1.3 PUBLICAÇÕES OBTIDAS

A seguir são apresentados os trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Aquisição de Dados e Processamento de Sinais (LADAPS) da UNESP – Bauru, que o autor dessa dissertação publicou durante seu período de Mestrado, e que estão diretamente relacionados ao monitoramento do processo de fusão e deposição, tema central desta dissertação.

- ❖ **GLISSOI LOPES, THIAGO.**; DE AGUIAR, PAULO ROBERTO. DETECÇÃO DE FALHA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D POR MONITORAMENTO INDIRECTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS. In Proceedings of the IX Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica; de Aguiar, P.R., Baptista, F.G., Andreoli, A.L., Covolan Ulson, J.A., Eds.; Bauru: UNESP/FEB: Bauru, 2019; p. 206.
- ❖ **LOPES, THIAGO GLISSOI.**; ROCHA, RENATA MAIA.; AGUIAR, PAULO ROBERTO DE.; ALEXANDRE, FELIPE APARECIDO.; CONCEICAO, PEDRO DE OLIVEIRA.; VIERA, MARTIN ANTONIO AULESTIA.; FRANCA, THIAGO VALLE. Study of the Influence of Temperature on Low-Cost Piezoelectric Transducer Response for 3D Printing Process Monitoring. In Proceedings of the 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC); IEEE, 2019; p. 544–549.
- ❖ **GLISSOI LOPES, THIAGO.**; ROCHA, RENATA.; DE AGUIAR, PAULO.; ALEXANDRE, FELIPE.; FRANÇA, THIAGO. Evaluating Temperature Influence on Low-Cost Piezoelectric Transducer Response for 3D Printing Process Monitoring. Proceedings, Basel, Switzerland, v. 42, n. 1, p. 26, 2019.
- ❖ CARMO, MATHEUS GODOY FONSECA.; **LOPES, THIAGO GLISSOI.**; BOMBONATTI, VERENA SOARES.; AGUIAR, PAULO ROBERTO.; FRANÇA, THIAGO VALLE. Study of the Defects and Geometric Anomalies on Monolayer Parts Obtained by Fused Deposition Modeling Process. Proceedings, Online, v. 69, n. 1, p. 40, 2020.
- ❖ **LOPES, THIAGO GLISSOI.**; ANTONIO, ZAQUEU RICARDO FERNANDO.; JUNIOR, CRISTIANO SOARES.; RUAS, ERICK LUIZ VIEIRA.; AGUIAR, PAULO ROBERTO. A PRIMEIRA CAMADA COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D. In: 2020, Bauru. Anais do XXVII SIMPEP. Bauru: [s. n.], 2020. p. 1–12.

A seguir são apresentados os trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Aquisição de Dados e Processamento de Sinais (LADAPS) da UNESP – Bauru, em que houve participação do autor dessa dissertação durante seu período de Mestrado, e possuem temas relacionados ao desenvolvimento deste trabalho.

- ❖ ALEXANDRE, FELIPE.; DE AGUIAR, PAULO.; GÖTZ, REINALDO.; AULESTIA VIERA, MARTIN.; **LOPES, THIAGO.**; D’ADDONA, DORIANA.; BIANCHI, EDUARDO.; SILVA, ROSEMAR BATISTA DA. Emitter-Receiver Piezoelectric Transducers Applied in Monitoring Material Removal of Workpiece during Grinding Process. Proceedings, v. 4, n. 1,9, p. 6, 2019.
- ❖ **GLISSOI LOPES, THIAGO.**; LOPES, WENDERSON NASCIMENTO.; ALEXANDRE, FELIPE.; RODRIGUES, RODRIGO.; GIROTO, PEDRO.; AGUIAR, PAULO.; BIANCHI, EDUARDO CARLOS. A Influência da Determinação de Limiar a Ser Aplicado na Métrica “Counts” no Estudo do Processo de Dressagem. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Anais. p.3–7, 2019. São Carlos: ABCM.
- ❖ ALEXANDRE, FELIPE APARECIDO.; AGUIAR, PAULO ROBERTO.; GÖTZ, REINALDO.; AULESTIA VIERA, MARTIN ANTONIO.; **LOPES, THIAGO GLISSOI.**; BIANCHI, EDUARDO CARLOS. A Novel Ultrasound Technique Based on Piezoelectric Diaphragms Applied to Material Removal Monitoring in the Grinding Process. Sensors, v. 19, n. 18, p. 3932, 2019
- ❖ GIROTO, PEDRO CERRI.; VIERA, MARTIN ANTONIO AULESTIA.; JUNIOR, PEDRO OLIVEIRA.; ALEXANDRE, FELIPE APARECIDO.; DOTTO, FABIO ROMANO.; GOTZ, REINALDO.; **LOPES, THIAGO GLISSOI.**; AGUIAR, PAULO ROBERTO. Development of a Piezoelectric Transducer Coupling System for Structural Health Monitoring Applications. In Proceedings of the 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC); IEEE, 2019; p. 538–543.

CAPÍTULO 5– CONCLUSÕES

Neste trabalho um sensor de emissão acústica (EA) e um PZT foram utilizados para monitorar a fabricação da primeira camada do processo FDM, com o objetivo principal de auxiliar na identificação e classificação de diferentes anomalias no início do processo. Para tanto, fez-se uso de processamento digital de sinais, tais como: transformada rápida de Fourier (FFT), valor médio quadrático (RMS), razão de potência (ROP) e desvio do valor médio quadrático (RMSD). Ademais, diferentes métodos de classificação foram avaliados por meio do aplicativo *Classification Learner*, a fim de determinar qual seria mais adequado para gerar um modelo de classificação dos diferentes tipos de anomalias nas peças obtidas por meio dos dados estatísticos levantados no processamento digital de sinais.

Da revisão bibliográfica, observou-se que existem vários trabalhos voltados ao monitoramento do processo FDM por meio do processamento digital de sinais em dados adquiridos por transdutores piezelétricos alocados a mesa de impressão. Inclusive a partir de análises empregando a estatística RMS. No entanto, algumas lacunas foram identificadas. Por exemplo, não foram encontrados trabalhos científicos que abordassem, dentre outros tópicos, qual seria o valor de tempo de integração adequado para o cálculo do RMS neste processo. Por esta razão, objetivos secundários deste trabalho foram estabelecidos, a fim de procurar preencher tais lacunas encontradas.

Em relação aos resultados obtidos para os objetivos secundários deste trabalho, pode-se chegar as seguintes conclusões: que os elementos de fixação da mesa de impressão no arcabouço da impressora afetam diretamente da resposta dos transdutores piezelétricos; que a variação de temperatura da mesa no processo FDM afeta diretamente da resposta dos transdutores piezelétricos; que para o cálculo do sinal RMS a partir de um sinal adquirido por transdutor piezelétrico do processo FDM, um valor de tempo de integração de 9 ms é adequado; que nos sinais adquiridos pelos transdutores piezelétricos durante o processo FDM, determinados componentes em frequências estão relacionados com o acionamento dos motores de passo e com outros elementos da transmissão mecânica de movimento; e que os arquétipos de preenchimento adotados na fabricação de cada camada pelo processo FDM possuem grande influência nos sinais adquiridos pelos transdutores piezelétricos.

Em relação ao objetivo principal deste trabalho, conclui-se, com base nos resultados obtidos para o PZT e para o sensor EA, que é viável a utilização das estatísticas RMS e ROP, e do índice de dano RMSD, para a detecção de anomalias na fabricação da primeira camada do

processo FDM. E que utilizando o método de classificação SVM Gaussiana Fina em configuração de método multiclasse Um-vs-Todos no aplicativo *Classification Learner*, foi possível obter modelos capazes de classificar as diferentes condições de impressão a partir de sinais coletados pelo sensor EA e pelo PZT com acurácia de 100 %.

5.1 Sugestão para os próximos trabalhos.

- ❖ Ampliar o conhecimento das anomalias geradas pela alteração de características de impressão nas peças obtidas pelo processo FDM, tais como temperatura na mesa, multiplicador de filamento, entre outras;
- ❖ Estudar a detecção de anomalias na fabricação pelo processo FDM de uma única linha de determinado arquétipo de preenchimento;
- ❖ Verificar a validade de utilização do T_i de 9 ms na obtenção do sinal RMS a partir de sinais obtidos do processo FDM com diferentes matérias primas (Ex: PETG, ABS).

REFERÊNCIAS

ABEYKOON, Chamil; SRI-AMPHORN, Pimpisut; FERNANDO, Anura. Optimization of fused deposition modeling parameters for improved PLA and ABS 3D printed structures. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 284–297, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2020.03.003>

AGARWALA, Mukesh K. *et al.* Structural quality of parts processed by fused deposition. **Rapid Prototyping Journal**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 4–19, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/13552549610732034>. Acesso em: 15 mar. 2019.

AGUIAR, P. R. *et al.* In-process grinding monitoring by acoustic emission. **2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing**, [S. l.], v. 5, p. V-405–408, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/icassp.2004.1327133>

AGUIAR, Paulo R. *et al.* In-process grinding monitoring through acoustic emission. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 118–124, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-58782006000100014>

AHRENS, Carlos Henrique *et al.* **Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007. *E-book*.

AKTAS, Hakan; SAN, Bekir Taner. Landslide susceptibility mapping using an automatic sampling algorithm based on two level random sampling. **Computers and Geosciences**, [S. l.], v. 133, n. September, p. 104329, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.104329>

AL FARUQUE, Mohammad Abdullah *et al.* Acoustic Side-Channel Attacks on Additive Manufacturing Systems. **2016 ACM/IEEE 7th International Conference on Cyber-Physical Systems, ICCPS 2016 - Proceedings**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICCPS.2016.7479068>

ALEXANDRE, Felipe *et al.* Emitter-Receiver Piezoelectric Transducers Applied in Monitoring Material Removal of Workpiece during Grinding Process. **Proceedings**, Basel, Switzerland, v. 4, n. 1,9, p. 6, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecsa-5-05732>

ALEXANDRE, Felipe A. *et al.* A Novel Ultrasound Technique Based on Piezoelectric Diaphragms Applied to Material Removal Monitoring in the Grinding Process. **Sensors**, [S. l.], v. 19, n. 18, p. 3932, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19183932>

ALEXANDRE, Felipe A. *et al.* A Novel Ultrasound Technique Based on Piezoelectric Diaphragms Applied to Material Removal Monitoring in the Grinding Process. **Sensors**, [S. l.], v. 19, n. 18, p. 3932, 2019 c. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19183932>

ALEXANDRE, Felipe Aparecido *et al.* Chatter Vibration Monitoring in the Surface Grinding Process through Digital Signal Processing of Acceleration Signal. **Proceedings**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecsa-4-04927>

ALEXANDRE, Felipe Aparecido *et al.* Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel using AE and fuzzy model. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 96, n. 1–4, p. 67–79, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1582-0>. Acesso em: 10 set. 2018.

ALIHEIDARI, Nahal *et al.* Interlayer adhesion and fracture resistance of polymers printed through melt extrusion additive manufacturing process. **Materials and Design**, [S. l.], v. 156, p. 351–361, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.07.001>

ALIMI, Oyekunle Azeez; BINGWA, Ndzondelelo; MEIJBOOM, Reinout. Homemade 3-D printed flow reactors for heterogeneous catalysis. **Chemical Engineering Research and Design**, [S. l.], v. 150, p. 116–129, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.07.024>

ANDEREGG, David A. *et al.* In-situ monitoring of polymer flow temperature and pressure in extrusion based additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 26, n. December 2018, p. 76–83, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.01.002>

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS). **ASTM Standard E976-10 - Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response**. [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/10.1520/E0976-15>

ATTARAN, Mohsen. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. **Business Horizons**, [S. l.], v. 60, n. 5, p. 677–688, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>

AULESTIA VIERA, Martin A. *et al.* A Time–Frequency Acoustic Emission-Based Technique to Assess Workpiece Surface Quality in Ceramic Grinding with PZT Transducer. **Sensors**, [S. l.], v. 19, n. 18, p. 3913, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19183913>

AZEVEDO, Fábio Mariotto de. **Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D**. 2013. - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, [s. l.], 2013.

BÄHR, Friedrich; WESTKÄMPER, Engelbert. Correlations between Influencing Parameters and Quality Properties of Components Produced by Fused Deposition Modeling. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 72, p. 1214–1219, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.048>

BALAJI, V. R. *et al.* Skin disease detection and segmentation using dynamic graph

cut algorithm and classification through Naive Bayes classifier. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, [S. l.], v. 163, p. 107922, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107922>

BAPTISTA, Fabricio *et al.* An Experimental Study on the Effect of Temperature on Piezoelectric Sensors for Impedance-Based Structural Health Monitoring. **Sensors**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1208–1227, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s140101208>

BAUMANN, Felix *et al.* Concept Development of a Sensor Array for 3D Printer. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 51, p. 24–31, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.041>

BAUMANN, Felix; ROLLER, Dieter. Vision based error detection for 3D printing processes. **MATEC Web of Conferences**, [S. l.], v. 59, p. 06003, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20165906003>

BEHERA, Santi Kumari; RATH, Amiya Kumar; SETHY, Prabira Kumar. Maturity status classification of papaya fruits based on machine learning and transfer learning approach. **Information Processing in Agriculture**, [S. l.], n. xxxx, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.05.003>

BELLACICCA, Andrea; SANTANIELLO, Tommaso; MILANI, Paolo. Embedding electronics in 3D printed structures by combining fused filament fabrication and supersonic cluster beam deposition. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 24, n. September, p. 60–66, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.09.010>

BHAVSAR, Pavan *et al.* Detecting first layer bond quality during FDM 3D printing using a discrete wavelet energy approach. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 48, p. 718–724, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.104>

BINDU BHARGAVI, G.; GOPALA KRISHNA SASTRY, K. V. S. Experimental study on mechanical properties of bacterial concrete. **Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems**, [S. l.], v. 9, n. Special issue 14, p. 454–464, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.076>

BONAH, Ernest *et al.* Vis-NIR hyperspectral imaging for the classification of bacterial foodborne pathogens based on pixel-wise analysis and a novel CARS-PSO-SVM model. **Infrared Physics and Technology**, [S. l.], v. 105, n. December 2019, p. 103220, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103220>

CANDAN, Çalatay. Fine resolution frequency estimation from three DFT samples: Case of windowed data. **Signal Processing**, [S. l.], v. 114, p. 245–250, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2015.03.009>

CARMO, Matheus Godoy Fonseca do *et al.* Study of the Defects and Geometric Anomalies on Monolayer Parts Obtained by Fused Deposition Modeling Process. **Proceedings**, Online, v. 69, n. 1, p. 40, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/CGPM2020-07159>

CELANI, Gabriela; CANCHERINI, Laura. Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso. *In:* 2009, **Congresso SiGraDi**. [S. l.: s. n.]

CHANG, Kuo Tsai; CHIANG, Hsuang Chang; LEE, Chun Wei. Design and implementation of a piezoelectric clutch mechanism using piezoelectric buzzers. **Sensors and Actuators, A: Physical**, [S. l.], v. 141, n. 2, p. 515–522, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2007.10.018>

CHENG, Gong *et al.* Determination of acoustic emissions using panel contribution analysis and scale modeling. **Applied Acoustics**, [S. l.], v. 155, p. 63–74, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.05.016>

CICALA, Gianluca *et al.* Engineering thermoplastics for additive manufacturing: A critical perspective with experimental evidence to support functional applications. **Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. e10–e18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000343>

COSTA, S. F.; DUARTE, F. M.; COVAS, J. A. Estimation of filament temperature and adhesion development in fused deposition techniques. **Journal of Materials Processing Technology**, [S. l.], v. 245, p. 167–179, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.02.026>. Acesso em: 15 mar. 2019.

DA SILVA, Jorge Vicente Lopes. Planejamento de processo para prototipagem rápida. *In:* VOLPATO, Neri (org.). **Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007. p. 37. *E-book*.

DA SILVEIRA, Ricardo Zanni Mendes; CAMPEIRO, Leandro Melo; BAPTISTA, Fabricio Guimarães. Performance of three transducer mounting methods in impedance-based structural health monitoring applications. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, [S. l.], v. 28, n. 17, p. 2349–2362, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1045389X17689942>

DADDONA, Dorian M. *et al.* Tool Condition Monitoring of Single-point Dressing Operation by Digital Signal Processing of AE and AI. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 67, p. 307–312, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.218>

DE ALMEIDA, Vinicius Augusto Dare; BAPTISTA, Fabricio Guimaraes; DE AGUIAR, Paulo Roberto. Piezoelectric transducers assessed by the pencil lead break for impedance-based structural health monitoring. **IEEE Sensors Journal**, [S. l.], v. 15, n. 2, p.

693–702, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2352171>. Acesso em: 6 maio. 2019.

DIZON, John Ryan C. *et al.* Mechanical characterization of 3D-printed polymers. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 20, p. 44–67, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>

DUONG, Trung H. *et al.* G-code Visualization and Editing Program for Inexpensive Metal 3D Printing. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 17, p. 22–28, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.007>

ERTAY, Deniz Sera; YUEN, Alexander; ALTINTAS, Yusuf. Synchronized material deposition rate control with path velocity on fused filament fabrication machines. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 19, p. 205–213, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.05.011>

FAROUKI, Rida T.; MANJUNATHAIAH, Jairam; YUAN, Guo Feng. G codes for the specification of Pythagorean-hodograph tool paths and associated feedrate functions on open-architecture CNC machines. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 123–142, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(98\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(98)00018-2)

FERNANDEZ, Breno O. *et al.* Study of Knock Sensors as Low-Cost Alternatives to Acoustic Emission Sensors. **IEEE Sensors Journal**, [S. l.], v. 20, n. 11, p. 6038–6045, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2972778>

FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; DOS SANTOS, Jorge Roberto Lopes; DA SILVA, Jorge Vicente Lopes. Exemplos de aplicações da prototipagem rápida. In: VOLPATO, Neri (org.). **Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007. p. 29. *E-book*.

FRASSINETI, Lorenzo *et al.* Automatic detection and sonification of nonmotor generalized onset epileptic seizures: Preliminary results. **Brain Research**, [S. l.], v. 1721, n. October 2018, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.146341>

GARAS, Monique *et al.* 3D-Printed specimens as a valuable tool in anatomy education: A pilot study. **Annals of Anatomy**, [S. l.], v. 219, p. 57–64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2018.05.006>

GENG, Peng *et al.* Effects of extrusion speed and printing speed on the 3D printing stability of extruded PEEK filament. **Journal of Manufacturing Processes**, [S. l.], v. 37, n. November 2018, p. 266–273, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.11.023>

GIRIDHAR, D.; VIJAYARAGHAVAN, L.; KRISHNAMURTHY, R. Acoustic emission response of sintered alumina zirconia composite during grooving process. **NDT and E International**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 55–62, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2011.11.002>

GLENN, Andrew *et al.* Pulse pileup rejection methods using a two-component Gaussian Mixture Model for fast neutron detection with pulse shape discriminating scintillator. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, [S. l.], v. 988, n. August 2020, p. 164905, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.164905>

GLISSOI LOPES, Thiago *et al.* A INFLUÊNCIA DA DETERMINAÇÃO DE LIMIAR A SER APLICADO NA MÉTRICA “COUNTS” NO ESTUDO DO PROCESSO DE DRESSAGEM. In: 2019, São Carlos. **10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**. São Carlos: ABCM, 2019. p. 3–7. Disponível em: <https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEF2019.COF2019-0423>

GLISSOI LOPES, Thiago; DE AGUIAR, Paulo Roberto. DETECÇÃO DE FALHA NO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D POR MONITORAMENTO INDIRETO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS. In: (Paulo Roberto de Aguiar et al., Org.) 2019, Bauru. **IX Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**. Bauru: Bauru: UNESP/FEB, 2019. p. 206. Disponível em: https://www2.feb.unesp.br/pos/seminarioEletrica/anais/2019/Anais_IX_Seminario_Eletrica_2019.pdf

GO, Jamison *et al.* Rate limits of additive manufacturing by fused filament fabrication and guidelines for high-throughput system design. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 16, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.03.007>

GONZALES, Rafael C.; WOODS, Richard E.; EDDINS, Steven L. **Digital Image Processing Using MATLAB**. 2. ed. [S. l.]: Gatesmark Publishing, 2009. *E-book*.

GREEFF, Gabriel Pieter; SCHILLING, Meinhard. Closed loop control of slippage during filament transport in molten material extrusion. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 14, p. 31–38, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.12.005>

GRIFFIN, James; CHEN, Xun. Classification of the acoustic emission signals of rubbing, ploughing and cutting during single grit scratch tests. **International Journal of Nanomanufacturing**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 189, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJNM.2006.012195>

GRIFFIN, James Marcus; CHEN, Xun. Multiple classification of the acoustic

emission signals extracted during burn and chatter anomalies using genetic programming. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 45, n. 11–12, p. 1152–1168, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2026-7>

HALL, Susan *et al.* A pilot study assessing the value of 3D printed molecular modelling tools for pharmacy student education. **Currents in Pharmacy Teaching and Learning**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 723–728, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2017.03.029>

HARTCHER-O'BRIEN, Jess; EVERS, Jeremy; TEMPELMAN, Erik. Surface roughness of 3D printed materials: Comparing physical measurements and human perception. **Materials Today Communications**, [S. l.], v. 19, n. February, p. 300–305, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.01.008>

HELLER, Blake P.; SMITH, Douglas E.; JACK, David A. Effects of extrudate swell and nozzle geometry on fiber orientation in Fused Filament Fabrication nozzle flow. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 12, p. 252–264, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.06.005>

HERTZ, Alexandria M.; HERTZ, Nicholas M.; JOHNSEN, Niels V. Identifying bladder rupture following traumatic pelvic fracture: A machine learning approach. **Injury**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 334–339, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.12.009>

HIRSCH, Matthias *et al.* Assessing the capability of in-situ nondestructive analysis during layer based additive manufacture. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 13, p. 135–142, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ADDMA.2016.10.004>. Acesso em: 24 maio. 2019.

HSU; N., N. Characterization and calibration of acoustic emission sensors. **Mater. Eval.**, [S. l.], v. 39, p. 60–68, 1981. Disponível em: <http://ci.nii.ac.jp/naid/80000770417/en/>. Acesso em: 31 maio. 2019.

ISO/ASTM. INTERNATIONAL STANDARD ISO / ASTM 52900 Additive manufacturing — General principles — Terminology. **International Organization for Standardization**, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/ISOASTM52900-15>

JEMIELNIAK, Krzysztof. Some aspects of acoustic emission signal pre-processing. **Journal of Materials Processing Technology**, [S. l.], v. 109, n. 3, p. 242–247, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00805-0](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00805-0). Acesso em: 19 ago. 2019.

JIANG, Ruth; KLEER, Robin; PILLER, Frank T. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. **Technological Forecasting and Social Change**, [S. l.], v. 117, p. 84–97, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.006>

KAMPKER, Achim *et al.* Review on Machine Designs of Material Extrusion based Additive Manufacturing (AM) Systems - Status-Quo and Potential Analysis for Future AM Systems. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 81, p. 815–819, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.205>

KARAKURT, Ilbey; LIN, Liwei. 3D printing technologies: techniques, materials, and post-processing. **Current Opinion in Chemical Engineering**, [S. l.], v. 28, p. 134–143, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.04.001>

KATIĆ, Katarina; LI, Rongling; ZEILER, Wim. Machine learning algorithms applied to a prediction of personal overall thermal comfort using skin temperatures and occupants' heating behavior. **Applied Ergonomics**, [S. l.], v. 85, n. October 2018, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103078>

KHAN, M. Attique *et al.* Lungs cancer classification from CT images: An integrated design of contrast based classical features fusion and selection. **Pattern Recognition Letters**, [S. l.], v. 129, p. 77–85, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2019.11.014>

KHARRAT, M. *et al.* Influence of damage accumulation under fatigue loading on the AE-based health assessment of composite materials: Wave distortion and AE-features evolution as a function of damage level. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.03.020>

KIM, H. .. *et al.* Process monitoring of centerless grinding using acoustic emission. **Journal of Materials Processing Technology**, [S. l.], v. 111, n. 1–3, p. 273–278, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00533-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00533-7)

KIM, Jung Sub *et al.* Development of Data-Driven In-Situ Monitoring and Diagnosis System of Fused Deposition Modeling (FDM) Process Based on Support Vector Machine Algorithm. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 479–486, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40684-018-0051-4>. Acesso em: 26 nov. 2018.

KISHAWY, H. A. *et al.* Application of acoustic emissions in machining processes: analysis and critical review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 98, n. 5–8, p. 1391–1407, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2341-y>

KLETETSCHKA, Karel *et al.* Suitability of 3D-Printed devices for low-temperature geochemical experiments. **Applied Geochemistry**, [S. l.], v. 98, n. June, p. 121–126, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.08.012>

KOCISKO, Marek *et al.* Postprocess Options for Home 3D Printers. **Procedia Engineering**, [S. l.], v. 196, n. June, p. 1065–1071, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.063>

KOESTER, Lucas W. *et al.* In-situ acoustic signature monitoring in additive manufacturing processes. In: 2018, **AIP Conference Proceedings**. : AIP Publishing LLC, 2018. p. 020006. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.5031503>. Acesso em: 26 nov. 2018.

KOSTAKIS, Vasilis; PAPACHRISTOU, Marios. Commons-based peer production and digital fabrication: The case of a RepRap-based, Lego-built 3D printing-milling machine. **Telematics and Informatics**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 434–443, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2013.09.006>

KRUTH, J. P. P. Material Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 603–614, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61136-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61136-6)

KUMAR, Sandeep; VISHWAKARMA, Manish; AKHILESH, Prof. ScienceDirect Advances and Researches on Non Destructive Testing : A Review. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 3690–3698, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.620>. Acesso em: 27 jul. 2018.

KUN, Krisztián. Reconstruction and development of a 3D printer using FDM technology. **Procedia Engineering**, [S. l.], v. 149, n. June, p. 203–211, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.657>

LE, Khuyen T. *et al.* An adapted linear discriminant analysis with variable selection for the classification in high-dimension, and an application to medical data. **Computational Statistics and Data Analysis**, [S. l.], v. 152, p. 107031, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csda.2020.107031>

LEE, Jian Yuan; AN, Jia; CHUA, Chee Kai. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. **Applied Materials Today**, [S. l.], v. 7, p. 120–133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>

LI, Chuan *et al.* Fusing convolutional generative adversarial encoders for 3D printer fault detection with only normal condition signals. **Mechanical Systems and Signal Processing**, [S. l.], v. 147, p. 107108, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.107108>

LI, Qiang; KUCUKKOC, Ibrahim; ZHANG, David Z. Production planning in additive manufacturing and 3D printing. **Computers and Operations Research**, [S. l.], v. 83, p. 1339–

1351, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.01.013>

LIANG, Rongjie; WANG, Qing Ming. High sensitivity piezoelectric sensors using flexible PZT thick-film for shock tube pressure testing. **Sensors and Actuators, A: Physical**, [S. l.], v. 235, p. 317–327, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.09.027>

LIM, Philip K. *et al.* Use of 3D Printed Models in Resident Education for the Classification of Acetabulum Fractures. **Journal of Surgical Education**, [S. l.], v. 75, n. 6, p. 1679–1684, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.04.019>

LIU, Chenang *et al.* Image analysis-based closed loop quality control for additive manufacturing with fused filament fabrication. **Journal of Manufacturing Systems**, [S. l.], v. 51, n. April, p. 75–86, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.04.002>

LIU, Fan *et al.* The effect of material mixing on interfacial stiffness and strength of multi-material additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 36, n. January, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101502>

LIU, Jie *et al.* An improved fault diagnosis approach for FDM process with acoustic emission. **Journal of Manufacturing Processes**, [S. l.], v. 35, n. August, p. 570–579, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.08.038>

LOPES, Barbara Guedes *et al.* Study on the effect of the temperature in Acoustic Emission Sensor by the Pencil Lead Break Test. *In*: 2018a, **2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**. : IEEE, 2018. p. 1226–1229. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2018.8627213>. Acesso em: 21 maio. 2019.

LOPES, Thiago Glissoi *et al.* A Utilização de Manufatura Aditiva em Projetos de Pesquisa. *In*: (Anderson Pazin, Fábio Lúcio Meira, Org.) 2018b, Lins-SP. **Anais do II Congresso de Inovação e Tecnologia – FATEC Lins**. Lins-SP: Centro Paula Souza, 2018. p. 104–112. Disponível em: <http://revista.fateclins.edu.br/congresso/edicoes.xhtml>

LOPES, Thiago Glissoi *et al.* Study of the Influence of Temperature on Low-Cost Piezoelectric Transducer Response for 3D Printing Process Monitoring. *In*: 2019a, **2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)**. : IEEE, 2019. p. 544–549. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00103>

LOPES, Thiago Glissoi *et al.* Evaluating Temperature Influence on Low-Cost Piezoelectric Transducer Response for 3D Printing Process Monitoring. **Proceedings**, Basel, Switzerland, v. 42, n. 1, p. 26, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecsa-6-06571>

LOPES, Thiago Glissoi *et al.* A PRIMEIRA CAMADA COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D. *In*: 2020,

Bauru. **Anais do XXVII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**. Bauru: [s. n.], 2020. p. 1–12. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=13

LOPES, Thiago Glissoi; LOOSLI, Victor Lopes; TANOMARU, Julio. DESENVOLVIMENTO DE SONDA PARA COLETA E ANÁLISE DE ÁGUA. *In*: 2018, Bauru. **XXV SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Bauru: [s. n.], 2018. p. 10. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=13

LOPES, Wenderson Nascimento *et al.* Digital signal processing of acoustic emission signals using power spectral density and counts statistic applied to single-point dressing operation. **IET Science, Measurement and Technology**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 631–636, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2016.0317>

LU, Xiang; KUMARAVELU, Giridharan; OKWUDIRE, Chinedum E. An evaluation of data size reduction techniques for improving the reliability of cloud-based CNC for a 3D printer. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 34, p. 903–910, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.157>

LU, Yanglong; WANG, Yan. Monitoring temperature in additive manufacturing with physics-based compressive sensing. **Journal of Manufacturing Systems**, [S. l.], v. 48, n. June, p. 60–70, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.05.010>

LUCAS, Guilherme B. *et al.* Study of a Low-Cost Piezoelectric Sensor for Three Phase Induction Motor Load Estimation. **Proceedings**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 46, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ecsa-5-05723>. Acesso em: 20 fev. 2019.

LUO, Cheng *et al.* Effects of feed rates on temperature profiles and feed forces in material extrusion additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 35, n. January, p. 101361, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101361>

LYONS, Richard G. **Understanding Digital Signal Processing**. 3. ed. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

MALHI, Arnaz; GAO, Robert X. PCA-based feature selection scheme for machine defect classification. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, [S. l.], v. 53, n. 6, p. 1517–1525, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIM.2004.834070>

MARCHI, Marcelo *et al.* Grinding process monitoring based on electromechanical impedance measurements. **Measurement Science and Technology**, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 045601, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/26/4/045601>

MARTINS, Cesar H. R. *et al.* Tool condition monitoring of single-point dresser using acoustic emission and neural networks models. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, [S. l.], v. 63, n. 3, p. 667–679, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2281576>

MATHWORKS. **Statistics and Machine Learning Toolbox**. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://ch.mathworks.com/products/statistics.html>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MATHWORKS. **Choose Classifier Options**. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/stats/choose-a-classifier.html>. Acesso em: 8 fev. 2020.

MELLOR, Stephen; HAO, Liang; ZHANG, David. Additive manufacturing: A framework for implementation. **International Journal of Production Economics**, [S. l.], v. 149, p. 194–201, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.008>

MONZÓN, M. D. *et al.* Standardization in additive manufacturing: activities carried out by international organizations and projects. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 76, n. 5–8, p. 1111–1121, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6334-1>

NALON, José Alexandre. **Introdução ao processamento digital de sinais**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. *E-book*.

NATH, Paromita *et al.* Optimization of fused filament fabrication process parameters under uncertainty to maximize part geometry accuracy. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 35, n. March, p. 101331, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101331>

NGO, Tuan D. *et al.* Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, [S. l.], v. 143, n. February, p. 172–196, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>

NORTHCUTT, Lily A. *et al.* Effect of processing conditions on crystallization kinetics during materials extrusion additive manufacturing. **Polymer (United Kingdom)**, [S. l.], v. 154, n. June, p. 182–187, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.09.018>

PANDA, Biranchi *et al.* Experimental and numerical modelling of mechanical properties of 3D printed honeycomb structures. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, [S. l.], v. 116, n. October 2017, p. 495–506, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.11.037>

PANDIYAN, Vigneashwara; TJAHJOWIDODO, Tegoeh; SAMY, Meena Periya. In-Process Surface Roughness Estimation Model for Compliant Abrasive Belt Machining Process. **Procedia CIRP**, [S. l.], v. 46, p. 254–257, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.126>

PAPON, Easir Arafat; HAQUE, Anwarul; MULANI, Sameer B. Process optimization and stochastic modeling of void contents and mechanical properties in additively manufactured

composites. **Composites Part B: Engineering**, [S. l.], v. 177, n. February, p. 107325, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107325>

PETSIUK, Aliaksei L.; PEARCE, Joshua M. Open source computer vision-based layer-wise 3D printing analysis. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 36, n. March, p. 101473, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101473>

PILNÝ, Lukáš *et al.* Acoustic emission-based in-process monitoring of surface generation in robot-assisted polishing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, [S. l.], v. 29, n. 11, p. 1218–1226, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1034180>. Acesso em: 19 ago. 2019.

POPESCU, Diana *et al.* Effects of multiple sterilizations and natural aging on the mechanical behavior of 3D-printed ABS. **Mechanics of Materials**, [S. l.], v. 148, n. April, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103423>

RAVOORI, Darshan *et al.* Experimental and theoretical investigation of heat transfer in platform bed during polymer extrusion based additive manufacturing. **Polymer Testing**, [S. l.], v. 73, n. November 2018, p. 439–446, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.11.025>

RAVOORI, Darshan *et al.* Nozzle-integrated pre-deposition and post-deposition heating of previously deposited layers in polymer extrusion based additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 28, n. June, p. 719–726, 2019 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.06.006>

RIBEIRO, Danilo M. S. *et al.* Spectra Measurements Using Piezoelectric Diaphragms to Detect Burn in Grinding Process. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, [S. l.], v. 66, n. 11, p. 3052–3063, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIM.2017.2731038>

SALUJA, Aditya; XIE, Jiarui; FAYAZBAKHS, Kazem. A closed-loop in-process warping detection system for fused filament fabrication using convolutional neural networks. **Journal of Manufacturing Processes**, [S. l.], v. 58, n. November 2019, p. 407–415, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.08.036>

SANTANA, Leonardo *et al.* A comparative study between PETG and PLA for 3D printing through thermal, chemical and mechanical characterization. **Revista Materia**, [S. l.], v. 23, n. 4, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0601>

SANTOS, MARCELO AUGUSTO ROZAN DOS. **ENGENHARIA REVERSA: um método orientado a imobilizadores ortopédicos**. 2016. - UNESP, [s. l.], 2016.

SARAL, G. Baby; PRIYA, R. Digital screen addiction with KNN and -Logistic

regression classification. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], n. xxxx, p. 3–6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.360>

SAUSE, Markus G. R. Investigation of Pencil-Lead Breaks as Acoustic Emission Sources. **Journal of Acoustic Emission**, [S. l.], v. 29, p. 184–196, 2011. Disponível em: <https://www.ndt.net/article/jae/papers/29-184.pdf>. Acesso em: 21 maio. 2019.

SCHNIEDERJANS, Dara G. Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis. **International Journal of Production Economics**, [S. l.], v. 183, n. November 2016, p. 287–298, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.008>

SHEVCHIK, S. A. *et al.* Acoustic emission for in situ quality monitoring in additive manufacturing using spectral convolutional neural networks. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 21, p. 598–604, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.11.012>

SHIH, Chin Cheng *et al.* Effects of cold plasma treatment on interlayer bonding strength in FFF process. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 25, n. November 2018, p. 104–111, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.11.005>

SHIN, Seung Jun; SUH, Suk Hwan; STROUD, Ian. Reincarnation of G-code based part programs into STEP-NC for turning applications. **CAD Computer Aided Design**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 1–16, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2006.08.005>

SILVA DE FREITAS, Everaldo; GUIMARÃES BAPTISTA, Fabricio. Experimental analysis of the feasibility of low-cost piezoelectric diaphragms in impedance-based SHM applications. **Sensors and Actuators A: Physical**, [S. l.], v. 238, p. 220–228, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.11.031>. Acesso em: 13 set. 2018.

SINGH, Sunpreet *et al.* Current status and future directions of fused filament fabrication. **Journal of Manufacturing Processes**, [S. l.], v. 55, n. April, p. 288–306, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.049>

SIVA, I. *et al.* Modal analysis on the additive manufactured robotic segments: Effect of printing densities on the vibrational properties. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], n. xxxx, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.230>

SOLOMON, I. John; SEVELL, P.; GUNASEKARAN, J. A review on the various processing parameters in FDM. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], n. xxxx, p. 10–15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.484>

SRINIVAS, M.; BABU, B. Sridhar. A Critical Review on Recent Research Methodologies in Additive Manufacturing. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 4, n. 8, p. 9049–9059, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.258>

SRINIVASAN, R. *et al.* Influence of fused deposition modelling process parameters

on wear strength of carbon fibre PLA. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 27, p. 1794–1800, 2020 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.738>

SRINIVASAN, R. *et al.* Impact of fused deposition process parameter (infill pattern) on the strength of PETG part. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 27, p. 1801–1805, 2020 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.777>

SRINIVASAN, R. *et al.* Comparison of tribological behaviour for parts fabricated through fused deposition modelling (FDM) process on abs and 20% carbon fibre PLA. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], v. 27, p. 1780–1786, 2020 c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.689>

STRANTZA, Maria *et al.* Acoustic emission monitoring of crack propagation in additively manufactured and conventional titanium components. **Mechanics Research Communications**, [S. l.], v. 84, p. 8–13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2017.05.009>. Acesso em: 24 maio. 2019.

TAHAYERI, Anthony *et al.* 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. **Dental Materials**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 192–200, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.10.003>

TLEGENOV, Yedige; HONG, Geok Soon; LU, Wen Feng. Nozzle condition monitoring in 3D printing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, [S. l.], v. 54, n. December 2017, p. 45–55, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.010>

TLEGENOV, Yedige; WONG, Yoke San; HONG, Geok Soon. A dynamic model for nozzle clog monitoring in fused deposition modelling. **Rapid Prototyping Journal**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 391–400, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/RPJ-04-2016-0054>

TORRADO, Angel R. *et al.* Characterizing the effect of additives to ABS on the mechanical property anisotropy of specimens fabricated by material extrusion 3D printing. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 6, p. 16–29, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.02.001>

TORRADO PEREZ, Angel R.; ROBERSON, David A.; WICKER, Ryan B. Fracture surface analysis of 3D-printed tensile specimens of novel ABS-based materials. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 343–353, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11668-014-9803-9>

TUNCER, Turker; ERTAM, Fatih. Neighborhood component analysis and reliefF based survival recognition methods for Hepatocellular carcinoma. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, [S. l.], v. 540, p. 123143, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123143>

VIERA, Martin A. Aulestia *et al.* A Low-Cost Acoustic Emission Sensor based on Piezoelectric Diaphragm. **IEEE Sensors Journal**, [S. l.], p. 1–1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2988478>

VIJAYRAGHAVAN, Praveen; KRISHNAN, R. Noise in Electric Machines: A Review. *In*: 1998, Blacksburg. **Anais [...]**. Blacksburg: [s. n.], 1998.

VOLPATO, Neri. Os principais processos de prototipagem rápida. *In*: VOLPATO, Neri (org.). **Prototipagem Rápida - Tecnologias e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007. p. 45. *E-book*.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2017. *E-book*.

WANG, Bing; LIU, Zhanqiang. Acoustic emission signal analysis during chip formation process in high speed machining of 7050-T7451 aluminum alloy and Inconel 718 superalloy. **Journal of Manufacturing Processes**, [S. l.], v. 27, p. 114–125, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.04.003>

WANG, C. *et al.* Machine learning in additive manufacturing: State-of-the-art and perspectives. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 36, n. January, p. 101538, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101538>

WASMER, K. *et al.* In Situ and Real-Time Monitoring of Powder-Bed AM by Combining Acoustic Emission and Artificial Intelligence. *In*: 2017, Cham. **International Conference on Additive Manufacturing in Products and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 200–209. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66866-6_20. Acesso em: 26 nov. 2018.

WEBSTER, J.; DONG, W. P.; LINDSAY, R. Raw Acoustic Emission Signal Analysis of Grinding Process. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 335–340, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63075-3](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63075-3). Acesso em: 16 jan. 2019.

WENDT, C. *et al.* FEM based evaluation of Fused Layer Modelling monolayers in tensile testing. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 13, p. 916–923, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.160>

WENDT, Christiane *et al.* Processing and Quality Evaluation of Additive Manufacturing Monolayer Specimens. **Advances in Materials Science and Engineering**, [S. l.], v. 2016, p. 1–8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/5780693>

WU, Haixi; WANG, Yan; YU, Zhonghua. In situ monitoring of FDM machine condition via acoustic emission. **The International Journal of Advanced Manufacturing**

Technology, [S. l.], v. 84, n. 5–8, p. 1483–1495, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7809-4>. Acesso em: 26 nov. 2018.

WU, Haixi; YU, Zhonghua; WANG, Yan. A New Approach for Online Monitoring of Additive Manufacturing Based on Acoustic Emission. *In*: 2016, Blacksburg. **Proceedings of the ASME 2016 International Manufacturing Science and Engineering Conference (MSEC2016)**. Blacksburg: ASME, 2016. p. 8. Disponível em: <https://doi.org/10.1115/MSEC2016-8551>

WU, Haixi; YU, Zhonghua; WANG, Yan. Real-time FDM machine condition monitoring and diagnosis based on acoustic emission and hidden semi-Markov model. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 90, n. 5–8, p. 2027–2036, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9548-6>. Acesso em: 26 nov. 2018.

XIE, Xiaozhu *et al.* A new monitoring method for metal rust removal states in pulsed laser derusting via acoustic emission techniques. **Journal of Materials Processing Technology**, [S. l.], v. 275, n. July 2019, p. 116321, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116321>

YAMPOLSKIY, Mark *et al.* Security of additive manufacturing: Attack taxonomy and survey. **Additive Manufacturing**, [S. l.], v. 21, n. November 2017, p. 431–457, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.03.015>

YAN, Ziwei *et al.* Rapid identification of benign and malignant pancreatic tumors using serum Raman spectroscopy combined with classification algorithms. **Optik**, [S. l.], v. 208, n. January, p. 164473, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.164473>

YANG, Zhensheng *et al.* Filament breakage monitoring in fused deposition modeling using acoustic emission technique. **Sensors (Switzerland)**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 1–16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s18030749>

YEH, Ching Chiang; CHEN, Yi Fan. Critical success factors for adoption of 3D printing. **Technological Forecasting and Social Change**, [S. l.], v. 132, n. January, p. 209–216, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.003>

YU, Shih Yuan *et al.* Sabotage Attack Detection for Additive Manufacturing Systems. **IEEE Access**, [S. l.], v. 8, p. 27218–27231, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2971947>

YUAN, Bodi *et al.* Machine-Learning-Based Monitoring of Laser Powder Bed Fusion. **Advanced Materials Technologies**, [S. l.], v. 1800136, p. 1–6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/admt.201800136>

ZHANG, Xiao *et al.* Correlation approach for quality assurance of additive manufactured parts based on optical metrology. **Journal of Manufacturing Processes**, [S. l.], v. 53, n. May 2019, p. 310–317, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.02.037>

ZHANG, Yingjie *et al.* Extraction and evaluation of melt pool, plume and spatter information for powder-bed fusion AM process monitoring. **Materials and Design**, [S. l.], v. 156, p. 458–469, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.07.002>

ZHAO, Peng *et al.* Close-looped recycling of polylactic acid used in 3D printing: An experimental investigation and life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 197, p. 1046–1055, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.275>

ZI, Bin *et al.* Design, stiffness analysis and experimental study of a cable-driven parallel 3D printer. **Mechanism and Machine Theory**, [S. l.], v. 132, p. 207–222, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.11.003>