

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Eduardo Rorato Guarienti

**PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA
PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA
IMPRESSORAS 3D.**

Cachoeira do Sul, RS
2019

Eduardo Rorato Guarienti

**PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO
DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

Cachoeira do Sul, RS
2019

Ficha Catalográfica
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul | UFSM-CS
Biblioteca Setorial de Cachoeira do Sul
Bibliotecário-Documentalista Carlos Eduardo Gianetti - CRB-10/2485

G915p Guarienti, Eduardo Rorato, 1995-

Projeto preliminar de uma máquina extrusora para produção de filamento de polietileno para impressoras 3D / Eduardo Rorato Guarienti. - Cachoeira do Sul, RS : [s.n.], 2019.

Orientador: Cesar Gabriel dos Santos.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul.

106 p. ; il.

1. Máquina extrusora 2. Polietileno 3. Impressão 3D FDM 4. Reciclagem 5. Estudo de caso 6. Engenharia Mecânica I. Santos, Cesar Gabriel dos, 1988- II. Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul III. Título.

Eduardo Rorato Guarienti

**PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO
DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Aprovado em 4 de dezembro de 2019:

César Gabriel dos Santos, Dr. (UFSM)
(Orientador)

Leander Luiz Klein, Dr. (UFSM)

Lucas Veiga Ávila, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho principalmente aos meus pais e as minhas irmãs por sempre me incentivarem em meus objetivos, aos meus colegas pelo constante apoio, aos professores pelo conhecimento e dedicação pregados e a toda comunidade acadêmica do Campus UFSM Cachoeira do Sul.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho foi possível pelo auxílio, ajuda, compreensão e ensinamentos dedicados por várias pessoas. Agradeço a todos amigos e comunidade acadêmica que de alguma forma contribuíram para a concretização deste estudo, em especial, agradeço:

- ao meu orientador e amigo César Gabriel dos Santos pela oportunidade, confiança, pelos ensinamentos, pelo exemplo de profissionalismo, pela cobrança e por sempre acreditar em mim.

- a minha mãe Mirian Elisa Rorato Guarienti, pelo amor incondicional, dedicação, carinho, respeito, pelas dicas, pelo incentivo durante todos os momentos, e por sempre estar presente.

- ao meu pai Vicente Celestino Guarienti, pelo incentivo profissional, admiração e inspiração.

- as minhas irmãs Gabriela Rorato Guarienti, Gisela Rorato Guarienti e Carolina Rorato Guarienti, pelo amor incondicional e por compreender a minha ausência.

- a Universidade Federal de Santa Maria, pública, gratuita e de qualidade, pela oportunidade no desenvolvimento de conteúdo científico nacional e pela honra de levar o nome desta instituição.

- ao Núcleo de Automação e Processos de Fabricação (NAFA) e técnicos pelas disponibilidades do local para a fabricação dos componentes.

- aos meus amigos, colegas e irmãos de vida Patrick Sheffer Chequeller e Aquilles da Silva Schauenberg por sempre estarem ao meu lado, tem meu eterno respeito.

- a minha colega e amiga Brenda Melo Maijo, por ter feito parte da minha vida, por ter acreditado no meu potencial e por ter me incentivado em ser uma pessoa melhor.

- aos meus colegas Robson Shneider, Bryan Lauxen, Jéssica Dotto Vizzotto, Matheus Brondani de Vargas, Bruno Maijo Pivoto, Higor Machado de Freitas, Felipe Mulazzani Melo, pelo incentivo e inspiração.

- ao meu amigo Maicon Cirineu Pereira, por ajuda incondicional.

Aos demais um muito obrigado a todos.

RESUMO

PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.

AUTOR: Eduardo Rorato Guarienti.

ORIENTADOR: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos.

Com o crescente consumo global de resíduos sólidos em sua maioria plásticos oriundos de embalagens e bens de consumo, o rápido descarte pelo usuário encerra o ciclo de vida útil de produtos manufaturados, porém não encerrando o ciclo de vida do material polimérico, este podendo levar anos para sua decomposição, isto porque o descarte não é destinado de forma correta para o reprocessamento, onde a sua maioria acaba sendo depositada em aterros comuns. Os polímeros são importantes para o processo produtivo e desenvolvimento de novos produtos, devido as suas propriedades de resistência estrutural, sobretudo apresentam um baixo custo. A reciclagem é um fator importante para que a reinserção de polímeros termoplásticos (como o polietileno) possam retornar ao mercado de consumo. A impressão 3D ganha destaque na produção e desenvolvimento de produtos e protótipos, podendo estes serem fabricados por filamentos de termoplásticos reciclados. Diante da preocupação ambiental referente ao aumento da produção do polietileno, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um projeto preliminar de uma máquina extrusora para a produção de filamento de polietileno reciclado como uso alternativa em impressoras 3D do tipo FDM com a finalidade de uso acadêmico. Para isso foi necessário um estudo de caso de um extrusora já existente, e uma reformulação foi necessária visto problemas conceituais encontrados no sistema mecânico. Assim foi possível estabelecer novas especificações de projeto para o sistema, e o dimensionamento dos componentes importantes do sistema mecânico foi necessário, tendo como principal resultado o sistema mecânico remodelado para o uso de polietileno como matéria-prima.

Palavras-chave: máquina extrusora, polietileno, impressão 3D FDM, reciclagem, estudo de caso.

ABSTRACT

EXTRUSION MACHINE PRELIMINAR DESIGN FOR POLYETHYLENE FILAMENT PRODUCTION APPLIED TO 3D PRINTING.

AUTHOR: Eduardo Rorato Guarienti.

ADVISOR: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos.

The constant growing of solid residues utilisation in majority of plastics from binds and rapid disposal by the user ends its lifecycle soon. Therefore this disposal usually it's not praticated in proper way being discarded on regular landfills. Polymers are important for production and development of new products due to its properties for structural resistance as well as low cost. Recycling is an important factor for reinserting thermoplastic polymers such as polyethylene in consumption market. 3D printing gets contrast in production with ability to develop products and prototypes being able for manufacture using thermoplastic recycled filaments. In front of the big environmental concern related with growing of polyethylene production, this paper aims to preliminary design an extrusion machine for polyethylene recycling and filament production as an alternative usage in 3D printing with FDM model. An existing extrusion machine was studied and redesigned due to previous conceptual matters in mechanical system. So was stablished new design specifications, new dimensions for the mechanical system obtaining as main result the remodelled mechanical system to support polyethylene as raw material.

Keywords: extrusion machine, polyethylene, FDM 3D printing, recycling, case study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais processos de fabricação.....	20
Figura 2 - Tensão x Deformação de misturas de PEAD.....	23
Figura 3 - Passos para a fabricação de peças em 3D.....	24
Figura 4 - Típica extrusora monorrosca.....	27
Figura 5 - Regiões de uma rosca extrusora.....	28
Figura 6 - Dimensões da rosca extrusora.....	29
Figura 7 - Razão H_i/W	30
Figura 8 - Fases de projeto.....	34
Figura 9 - Extrusora para PLA.....	35
Figura 10 - Extrusora real pós funcionamento.....	36
Figura 11 - Leiaute.....	44
Figura 12 - Rosca extrusora para PEAD.....	46
Figura 13 - Árvore genealógica.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas da Reciclagem Mecânica	19
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da reciclagem.....	19
Quadro 3 - Polímeros mais utilizados na indústria.....	21
Quadro 4 - Principais processos na manufatura aditiva.....	25
Quadro 5 - Problemas identificados	36
Quadro 6 - Especificações de projeto (versão antiga)	38
Quadro 7 - Especificações de projeto do sistema mecânico	39
Quadro 8 - Catálogo de peças	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Misturas de PEAD	23
Tabela 2 - Temperaturas de extrusão	23
Tabela 3 - Eficiência de transporte de polímeros	32
Tabela 4 - Variáveis para projeto da broca.	45
Tabela 5 - Custo de projeto.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	MATERIAIS POLIMÉRICOS	17
2.2	DESCARTE DE MATERIAIS POLIMÉRICOS	17
2.3	RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO	18
2.4	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	19
2.5	POLIETILENO	21
2.5.1	Estudo do PEAD reciclado	22
2.6	MÁQUINAS E PROCESSOS PARA MANUFATURA ADITIVA.....	24
2.6.1	Modelagem por fusão e deposição	26
2.7	PROCESSO DE EXTRUSÃO	26
2.7.1	Rosca	27
2.7.2	Alimentador	32
2.7.3	Tubo	32
2.7.4	Bico	33
2.7.5	Aquecedores	33
2.7.6	Resfriadores	33
2.8	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	33
2.8.1	Fase de projeto preliminar	34
3	METODOLOGIA	35
3.1	ESTUDO DE CASO	35
3.1.1	Problemas encontrados	36
3.1.2	Materiais Usados	37
3.1.3	Especificações de projeto	38
3.2	PROJETO PRELIMINAR DE MELHORIA.....	40
3.2.1	Tubo	40
3.2.2	Rosca	40
3.2.3	Bico	42
3.2.4	Estrutura	42
3.2.5	Motor e redução	42
3.2.6	Resfriamento e Aquecimento	43
3.2.7	Viabilidade econômica	43
3.2.8	Leiaute	43
4	RESULTADOS	45
4.1	PROJETO PRELIMINAR	45
4.1.1	Dimensões para projeto da rosca	45
4.1.2	Árvore genealógica	46
4.1.3	Lista de peças	47
4.1.4	Custo de projeto	50
4.1.5	Período de retorno de capital - Payback	51
5	CONCLUSÕES	52
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53

APÊNDICE A.....	56
------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O processamento de materiais poliméricos teve seu início em meados do século XIX, baseado principalmente na utilização de borrachas naturais, incentivado pela Revolução Industrial. A primeira máquina foi desenvolvida por Thomas Hancock a qual recuperava restos de borracha natural como o látex, e em 1851 extrusoras para borracha eram utilizadas com a finalidade de proteção de cabos de energia e cabos de comunicação submersos como na comunicação entre Inglaterra e França (entre Dover e Calais) (TADMOR, 2006).

A extrusora desempenha um papel importante no processamento de polímeros na indústria, possibilitando a fabricação de estruturas com perfis característicos contínuo, onde o material é forçado a sair por uma abertura com o formato da cavidade, geralmente envolvendo calor (RAWENDAAL, 2014). Além disso, a extrusão é responsável por transformar a matéria polimérica bruta em estruturas e produtos acabados, envolvendo modelagens e reações químicas, produzindo estruturas com valor agregado, como: tubos, filamentos e revestimentos de proteção (TADMOR, 2006).

Os materiais poliméricos são classificados como plásticos, podendo ser elastômeros, termoplásticos ou termofixos, estes os quais possuem boa resistência estrutural sob carga, sendo utilizados para diversas aplicações devido a combinações de propriedades, como: rígidos, frágeis, flexíveis ou deformáveis (CALLISTER, 2018); pode-se, então, justificar a importância do uso do plástico em detrimento a outros materiais, bem como a importância do seu estudo.

No entanto pelo processo de globalização o consumo de plástico em 2018 atingiu a marca de 320 milhões de toneladas. Essa quantidade de material é descartada rapidamente pelo usuário quando este termina seu ciclo de vida útil. Desse montante, uma pequena parcela é destinada corretamente para a reciclagem ou incineração, outra parcela é descartada em aterros sanitários comuns e o restante é depositado em rios, mares praias e ilhas (NATURE, 2018).

Os principais processos de fabricação de produto estão baseados em: moldagem, envolvendo ou não a fusão do material; manufatura subtrativa, visa a remoção de material; conformação que utiliza a deformação plástica dos materiais para uma determinada geometria de peça; união de componentes, que promove a junção de partes; divisão de componentes; e adição ou Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing* – AM) (VOLPATO, 2017).

A Manufatura Aditiva (AM) ganha destaque no processo de desenvolvimento de produto, pois otimiza o processo de desenvolvimento de modelos físicos, os quais têm como objetivo a representação física tridimensional, permitindo a criação de maneira rápida de

diferentes estruturas geometrias complexas 3D, em comparação com os processos tradicionais (VOLPATO, 2017).

Existem diferentes técnicas e ferramentas para os processos de impressão 3D, onde se destaca o processo de Modelagem por Deposição de Material Fundido - FDM (*Fused Deposition Modeling*), no qual o material termoplástico na forma de filamento é extrudado através de um bico aquecido sobre uma mesa (LOPES, 2016; RODRIGUES, 2017).

Para a tecnologia FDM, é necessária a utilização de filamentos com diâmetro específico para atender às características do bico extrusor da máquina (VOLPATO, 2017). Estes filamentos são encontrados para comercialização, atualmente, nos seguintes materiais: Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS); Ácido Poli-Lático (PLA); PoliCarbonato (PC) PoliEtileno (PE) PoliPropileno (PP) (LOPES, 2016).

As impressoras 3D do tipo FDM utiliza materiais termoplásticos como matéria-prima, sabendo de suas características reversíveis, é possível a fabricação de filamento ecológico a partir da reciclagem mecânica de resíduos poliméricos descartados.

Para isso, é necessário que a matéria-prima seja processada no interior da máquina-ferramenta extrusora, onde o material particulado entra por uma extremidade e sai uniforme e homogêneo na outra extremidade com perfil característico, sendo ideal o perfil circular com diâmetro constante (VOLPATO, 2017).

Diante do exposto, este trabalho necessita de o desenvolvimento de um sistema técnico mecânico que permita executar a extrusão de termoplásticos reciclados, a serem utilizados na impressão 3D, considerando as características do polímero e tendo como restrição o custo e capacidade de fabricação?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Aperfeiçoar o conjunto mecânico de uma máquina extrusora para gerar filamento reciclado a ser utilizado em impressoras 3D.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Estudar as características e os tipos de materiais utilizados na impressão 3D pelo processo FDM.

2. Definir o tipo de material polimérico que será utilizado para dimensionar a máquina extrusora.
3. Realizar o dimensionamento e seleção dos componentes do conjunto mecânico.
4. Realizar a fabricação e montagem do protótipo do conjunto mecânico da máquina extrusora.
5. Realizar um comparativo de retorno de investimento tendo outros trabalhos como referência.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica, pois, visa utilizar polietilenos de pós consumo já descartados como alternativa no desenvolvimento de modelos e protótipos utilizando impressoras 3D como forma de manufatura. A escolha do polietileno reciclado como material a ser processado se dá pelo fato de ser o termoplástico mais utilizado mundialmente, a reutilização deste material visa diminuir problemas relacionados ao descarte incorreto, o qual demoraria anos para se decompor, além de que a reciclagem possibilita obter um reaproveitamento energético e hídrico quando comparado ao uso de polietilenos virgens ou recém manufaturados mantendo valores próximos de resistência mecânica demonstrado por Lontra (2011).

Sendo assim, com a finalidade de reduzir custo e tempo para a fabricação de objetos e produtos com geometrias complexas é necessário o desenvolvimento de um sistema mecânico para a fabricação de filamento de polietileno com a vantagem de diminuir o custo da compra deste insumo. Este estudo também serve como incentivo e motivação no desenvolvimento acadêmico científico nacional que venha a beneficiar a sociedade e a conscientização socioeconômica de que o ciclo de vida de materiais poliméricos não se encerra após o descarte do produto, salientando a necessidade do descarte correto para o reaproveitamento do mesmo.

A extrusora proposta tem como diferencial o desenvolvimento do projeto preliminar e a fabricação do protótipo aliado ao estudo comparativo de retorno de investimento *Payback* e capacidade de produção com o trabalho acadêmico semelhante de Rodrigues (2017).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é a compilação das diferentes questões abordadas pelos autores sobre o assunto descrito na introdução deste trabalho, e para um melhor entendimento do leitor foi dividido em tópicos na ordem cronológica.

2.1 MATERIAIS POLIMÉRICOS

E evolução científica e tecnológica a partir da segunda guerra mundial possibilitou uma revolução no que diz respeito ao desenvolvimento de novas estruturas moleculares. Muitos plásticos, borrachas e materiais fibrosos tornaram-se úteis na utilização de polímeros sintéticos. Estes por sua vez substituindo materiais naturais visto as suas propriedades satisfatórias de aplicação unidos com o baixo custo de fabricação (CALLISTER, 2018).

Os polímeros por sua vez são classificados em três grupos: termoplásticos, termofixos e elastômeros. Os termoplásticos possuem a característica de voltar ao seu estado natural após passar por um processo de amolecimento e aquecimento, sem que mude significativamente a composição química, ou seja, podem ser chamados de reversíveis podendo também serem reciclados. Já os termofixos são irreversíveis pois estes formam uma rede com ligações fortes, onde é impossível voltar ao estado natural, logo não podem ser reciclados como os termoplásticos. Já os elastômeros são caracterizados por serem capazes de se deformar com a aplicação de força, ao término da aplicação da força o material retorna ao seu estado inicial (RAWENDAAL, 2014).

Os plásticos são materiais que possuem boa resistência estrutural sob carga. Polietileno, polipropileno, policloreto de vinila, poliestireno, fluorecarbonos, epóxis, fenólicos e poliésteres são alguns exemplos de plásticos que estão presentes no cotidiano. Estes diversos apresentam combinações de propriedades como: rígidos, frágeis, flexíveis e deformáveis (CALLISTER, 2018).

2.2 DESCARTE DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

No entanto o plástico se tornou presente em atividades e produção de bens duráveis na economia mundial, visto que estes materiais oferecem soluções práticas e baratas para problemas tecnológicos que beneficiam tanto quem produz quanto quem consome. Com uma ampla versatilidade, produtos plásticos são usados em setores da indústria como: construção

civil, embalagens, setor automotivo, eletroeletrônicos, produtos agrícola, alimentos e na biomedicina (BRASKEM, 2012).

O consumo anual de plástico em 2018 atingiu a marca de 320 milhões de toneladas, essa quantidade de material é rapidamente descartada na forma de resíduo pelo usuário do produto ou embalagem quando termina seu ciclo de vida. (NATURE, 2018).

Vale lembrar que na perspectiva planetária não existe o “jogar fora”, tudo permanece aqui nos ecossistemas sendo eles terra, água ou atmosfera. Por esse fato é importante a conscientização das sociedades em retornar ou destinar corretamente estes resíduos sólidos, a fim de que a energia gasta na manufatura e beneficiamento não seja perdida junto como fim da vida útil do produto. Isso será fundamental para uma sociedade mundial que se espera que ultrapasse os 9 bilhões de pessoas até 2050 (BRASKEM, 2012) e com uma estimativa de produção de materiais plásticos de 850 milhões de toneladas até o mesmo ano (GALINA, 2018).

A produção de lixo plástico no Brasil está em torno de 19 kg/habitante/ano, ainda é pequena quando comparada com outros países como EUA que é de 100 kg/habitante/ano e no Japão de 60 kg/habitante/ano. Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) em 2004 (CARNEIRO, 2009). Comprovando o fato de que existe a tendência de aumento na produção, em 2012 a produção de plástico chegou a 288 milhões de toneladas, podendo crescer 9% ao ano (RODRIGUES, 2017).

2.3 RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO

Os plásticos de maneira geral estão cada vez mais presentes no cotidiano. A reciclagem entra como processo importante na reinserção da matéria-prima usada na manufatura de novos produtos. Com isso permite a reutilização e um novo ciclo de vida para o material, tendo como vantagens a economia do consumo energético e de água. Com a reciclagem de materiais plásticos pode-se economizar até 88% da energia em comparação com a utilização de matéria-prima virgem (LONTRA, 2011).

Existem três formas de reciclagem de materiais poliméricos: química, mecânica e energética. Porém a mais utilizada é a mecânica (Quadro 1).

Quadro 1 - Etapas da Reciclagem Mecânica

Processo	Descrição
Separação	Processo no qual ocorre a separação visual dos diferentes produtos e compostos de acordo com cada grupo de material. Normalmente manual.
Moagem	Depois de definido o grupo, o conjunto de diferentes materiais é moído e fragmentado em pequenas partes.
Lavagem	Com o material moído é necessário a lavagem para a retirada de contaminantes e sujidades.
Aglutinação	Processo de cisalhamento e atrito dentro de um conjunto mecânico o qual transforma o composto em uma massa homogênea. Normalmente ser adiciona outros componentes nesta etapa como pigmentos, aditivos e desumidificantes.
Extrusão	Transforma o material antes particulado em um material fundido com homogeneidade e perfil definido.

Fonte: Adaptado de LONTRA (2011).

O principal objetivo para a reciclagem é a diminuição da deposição destes materiais no meio ambiente, visto o tempo de degradação, assim como o melhor aproveitamento da energia. Porém existem vantagens e desvantagens para o processo (Quadro 2) (LONTRA, 2011).

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da reciclagem

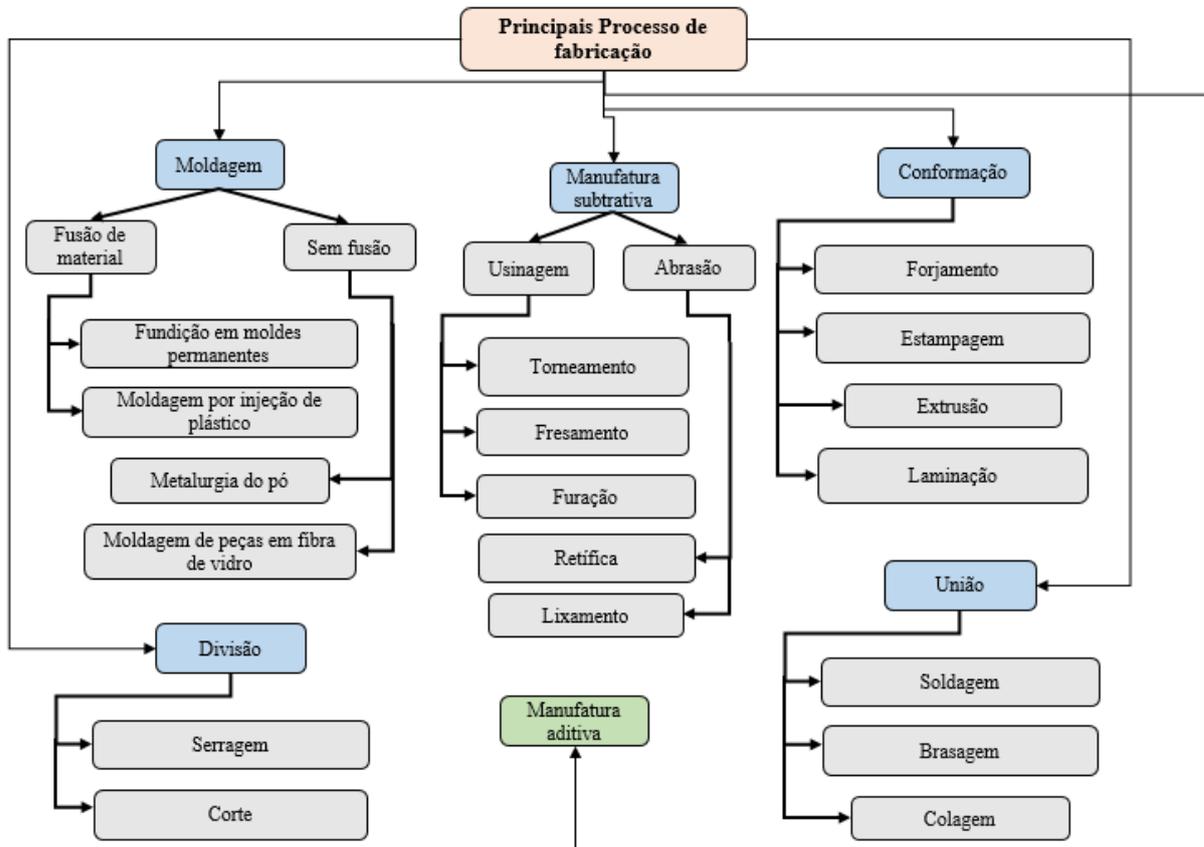
Vantagens	Desvantagens
Poupa recursos naturais	Custo de reciclagem
Gera emprego	Dificuldade de separação
Economiza energia	Pouco interesse na compra do material
Diminui o custo do produto	Baixa tecnologia envolvida no processo
Diminui o volume do lixo coletado	Incerteza sobre o tipo de material formado

Fonte: Adaptado de LONTRA (2011).

2.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Os principais processos de fabricação de produto estão representados na Figura 1, porém os processos de manufatura aditiva serão descritos posteriormente.

Figura 1 - Principais processos de fabricação



Fonte: Adaptado de GROOVER (2017) e VOLPATO (2017).

A tecnologia AM surgiu com a necessidade de consolidar projetos para a determinação de um modelo físico de determinado produto, uma vez que o modelo computacional pode não estar adequado a visão real e a testes físicos. Com a impressão 3D é possível fabricar peças em minutos ou horas, diferentemente dos processos tradicionais. Além de diminuir o custo do protótipo, elimina a programação (como é o caso da Manufatura Substitutiva) e a ferramenta é sempre a mesma (GROOVER, 2017).

A Impressão 3D (podendo ser descrita como AM) é definida como a fabricação por deposição ou adição sucessivas de material na forma de camadas 2D, permitindo a fabricação de diferentes geometrias 3D a partir de um modelo CAD (*Computer-Aided Desing*), de maneira rápida apresentando uma menor geração de resíduos e menor custo de fabricação em comparação com os processos tradicionais, levando em consideração que o processo é automatizado. Entretanto, existem diversas técnicas e ferramentas para o processo (Quadro 4).

Neste trabalho será destacado o processo de Modelagem por Deposição de Material Fundido (*Fused Deposition Modeling – FDM*), no qual o material (na forma de filamento)

termoplástico é extrudado através de um bico aquecido e depositado sobre uma superfície plana (VOLPATO-RODRIGUES-GROOVER, 2017).

Em uma consulta à fabricantes de filamentos com diâmetro típico da tecnologia FDM (1,75 mm +- 3%) (VOLPATO, 2017), os materiais termoplásticos comercializados atualmente na indústria são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Polímeros mais utilizados na indústria

Tipo de Material	Densidade (g/cm³)	Nomes Comerciais	Principais Características de Aplicação	Aplicações Típicas
Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)	1,08	Abson, Cycolac, Kralastic, Lustran, Lucon, Novodur	Excepcionais resistência e tenacidade, resistência a distorção térmica; boas propriedades elétricas; inflamável e solúvel em alguns solventes orgânicos	Aplicações automotivas abaixo do capô, revestimentos de refrigeradores, gabinetes de computadores e televisores, brinquedos, dispositivos de segurança em autoestradas
Polícarbonatos (PC)	1,2	Calibre, Lupilon, Lexan, Makrolon, Novarex	Dimensionamento estável; baixa absorção de água; transparentes; muito boa resistência ao impacto e ductilidade; a resistência química não é excepcional	Capacetes de segurança, lentes, globos de luz, bases para filmes fotográficos, carcaças de baterias de automóveis
Polietilenos (PE)	0,91 – 0,94	Althon, Alkathene, Fortiflex, Hifax, Petrothene, Rigidex, Zemid	Quimicamente resistente e isolante elétrico; tenaz e com coeficiente de atrito relativamente baixo; baixa resistência e resistência ruim as intempéries	Garrafas flexíveis, brinquedos, copos, peças de baterias, bandejas de gelo, filmes para embalagens de materiais, tanques de gasolina automotivos
Polipropilenos (PP)	0,9	Hicor, Meraklon, Metocene, Polypro, Pro-Fax, Propak, Propathene	Resistente a distorção térmica; excelentes propriedades elétricas e resistência a fadiga; quimicamente inerte; relativamente barato; resistência ruim a luz ultravioleta	Garrafas esterilizáveis, filmes para embalagens, painéis internos de automóveis, fibras, bagagens
Ácido Polilático (PLA)	1,24	Ecovio, Extrafill	Biocompatível, biodegradável, não tóxico, boa processabilidade térmica, boa resistência mecânica e hidrolisável no corpo humano	Aplicações biomédicas, fixações ortopédicas, embalagens alimentícias

Fonte: Adaptado CALISTER (2018) e SANTANA (2015) e (MANRICH 2018).

2.5 POLIETILENO

Parcialmente cristalino, flexível, inertes à maioria dos produtos químicos, devido a sua natureza parafínica, alto peso molecular e cujas propriedades são influenciadas pelas fases

amorfa e cristalina. Em condições normais de temperatura e pressão os polietilenos são não tóxicos, podendo ser usados em contato com alimentos e fármacos. Isso classifica e define o polietileno como o polímero mais usado mundialmente (COUTINHO, 2003).

O avanço tecnológico nacional favoreceu o crescimento da produção do polietileno, aumentando a produção em mais de 150 mil toneladas entre 1999 e 2000. No Brasil a produção de poliolefinas (etileno, propileno, estireno e butileno) representa 65% da produção de termoplásticos e 43% corresponde aos polietilenos. Já no cenário mundial a produção de poliolefinas representa 60% da produção de termoplásticos e 40% corresponde aos polietilenos (COUTINHO, 2003).

O polietileno é o plástico mais empregado mundialmente, porém ainda é pouco explorado pelo processo de fabricação em manufatura aditiva, visto a dificuldade do processamento e configuração correta de temperatura para essa tecnologia (NOVOA, 2016).

Dependendo das condições reacionais e do sistema catalítico empregado na polimerização, cinco tipos diferentes de polietilenos podem ser produzidos (COUTINHO, 2003):

- Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE).
- Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE).
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE).
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE).
- Polietileno de ultra baixo densidade (PEUBD ou ULDPE).

2.5.1 Estudo do PEAD reciclado

No estudo realizado por Lontra (2011), quatro misturas de PEAD foram analisadas com a finalidade de comparação entre diferentes proporções de materiais reciclados e virgem (Tabela 1). A extrusora usada para o estudo foi ajustada conforme as temperaturas dadas pela Tabela 2.

Tabela 1 - Misturas de PEAD

Mistura	Proporção
1	100% PEAD virgem
2	100% PEAD reciclado
3	70% PEAD reciclado e 30% PEAD virgem
4	50% PEAD reciclado e 50% PEAD virgem

Fonte: Adaptado de LONTRA (2011).

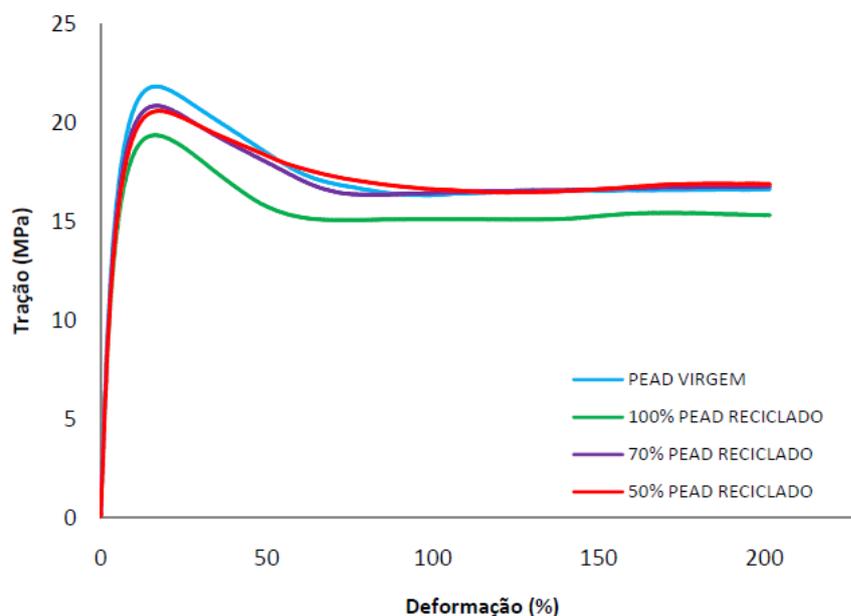
Tabela 2 - Temperaturas de extrusão

Material	Zona de alimentação	Zona de compressão	Zona de controle de vazão	Bico
PEAD virgem e reciclado	180°C	185°C	190°C	180°C

Fonte: Adaptado de LONTRA (2011).

O estudo de Lontra utilizou a norma ASTM D638 a qual padroniza testes de tração de ensaios mecânicos. Com isso foi possível obter os resultados de tensão x deformação para as misturas propostas na Tabela 1. Portanto o resultado obtido é dado pela Figura 2.

Figura 2 - Tensão x Deformação de misturas de PEAD



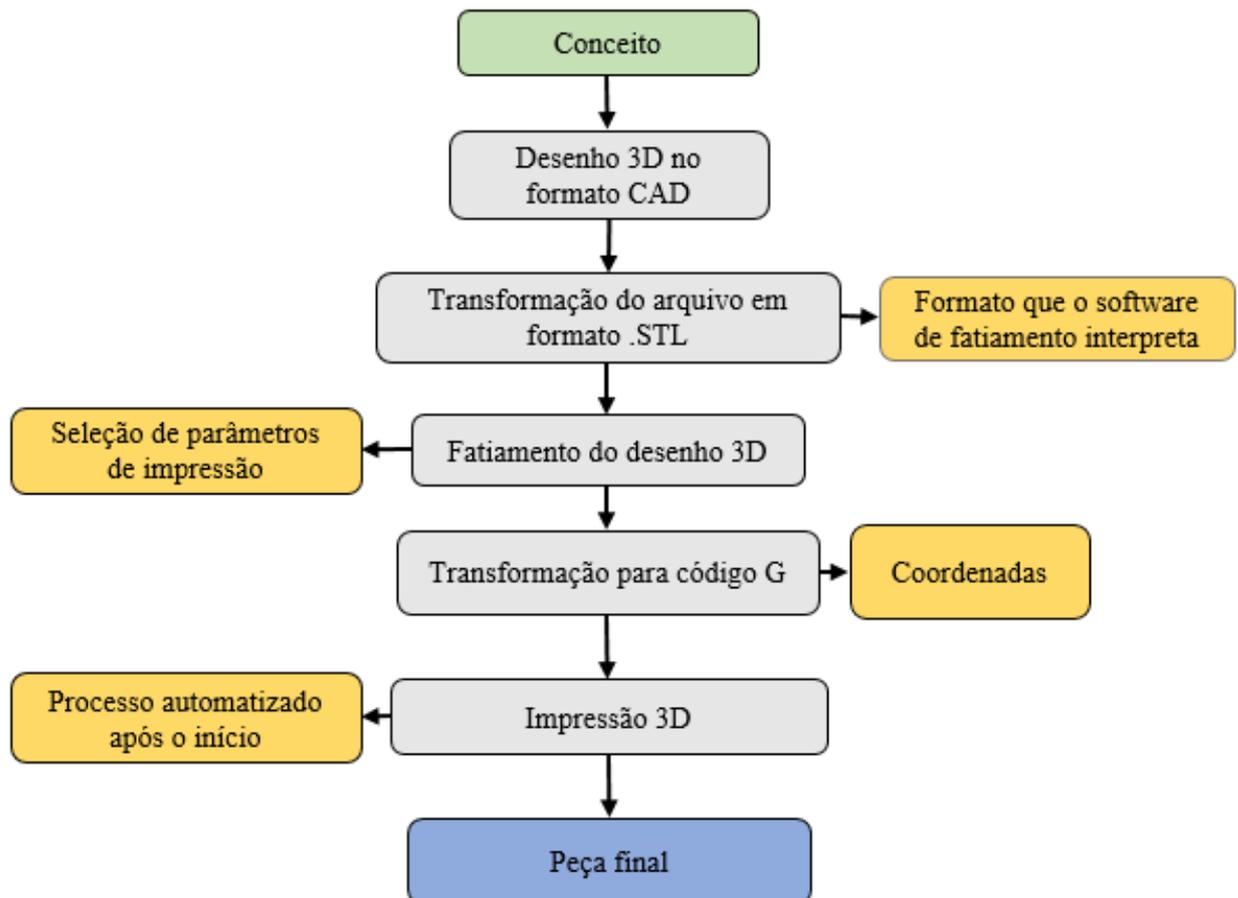
Fonte: LONTRA (2011).

Com o estudo apresentado é possível dizer que o PEAD reciclado é uma alternativa para o retorno deste material na manufatura de novos produtos e objetos, bem como sua utilização em impressoras 3D visto a pequena diferença de valores obtidos entre o material 100% reciclado e o 100% virgem.

2.6 MÁQUINAS E PROCESSOS PARA MANUFATURA ADITIVA

Para a produção de objetos e peças a partir da manufatura aditiva deve-se seguir uma ordem de passos de acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Passos para a fabricação de peças em 3D

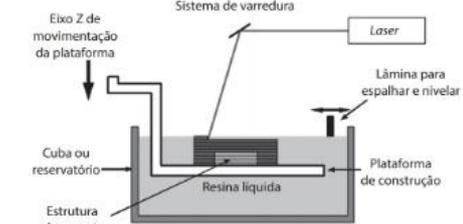
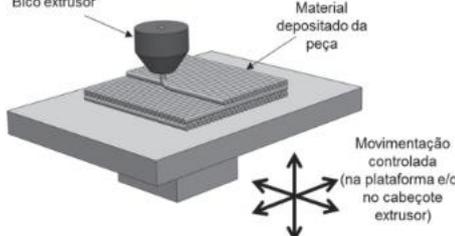
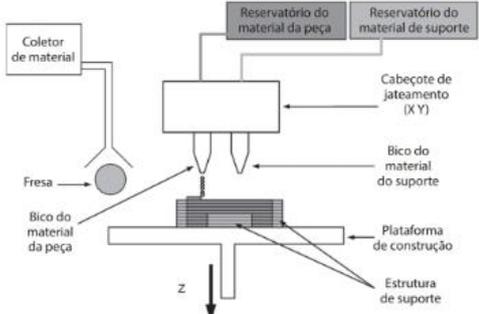
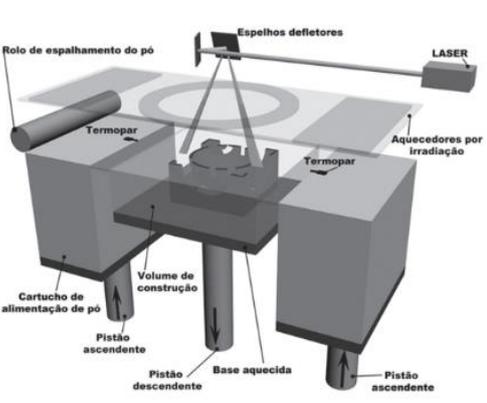


Fonte: Adaptado de GROOVER (2017) e VOLPATO (2017).

Existe uma forma simples de classificar os processos de AM, normalmente quanto a matéria-prima utilizada (sendo cada processo dependendo do objetivo e características para o

produto), sendo baseados em líquidos, sólidos e pó. Foram definidos em 7 processos de acordo com o Quadro 4:

Quadro 4 - Principais processos na manufatura aditiva

Classificação do processo	Imagem	Descrição	Algumas tecnologias na categoria
Foto polimerização em cuba		<p>Polímero fotossensível líquido é curado seletivamente em uma cuba por polimerização ativada por luz</p>	<p>Estereolitografia (<i>stereolithography - SL</i>), produção contínua com interface líquida</p>
Extrusão de material		<p>Material é extrudado através de um bico ou orifício</p>	<p>Modelagem por fusão e deposição (<i>fused deposition modeling - FDM</i>), MakerBot, RepRap, Fab@Home, outros</p>
Jateamento de material		<p>Material é depositado em pequenas gotas de forma seletiva</p>	<p>PoluJet, impressão por múltiplos jatos (<i>MultiJet printing - MJP</i>), tecnologia de Solidcape, outros</p>
Fusão de leito de pó		<p>Energia térmica funde seletivamente regiões de um leito de pó</p>	<p>Sinterização seletiva a laser (<i>selective laser sintering - SLS</i>), sinterização direta do metal a laser (<i>direct metal laser sintering - DMLS</i>), fusão seletiva a laser (<i>selective laser melting - SLM</i>), LaserCUSING, fusão por feixe de elétrons (<i>electron beam melting - EBM</i>).</p>

2.6.1 Modelagem por fusão e deposição

A Modelagem por Deposição de Material Fundido, é o processo deposição de material termoplástico (sobre uma mesa plana) na forma de extrusão de filamento através de um orifício (menor que o diâmetro do filamento). O cabeçote de extrusão é montado sobre um eixo X, que possui um mecanismo elevador para o eixo Z, e a mesa (superfície de fabricação) responsável pelo movimento Y (GROOVER, 2017).

O material entra na extrusora é fundido e empurrado com pressão contínua, e então o material é despejado pelo bico. Ao encontrar a base aquecida o material é rapidamente solidificado (podendo ter auxílio de resfriamento), após o fim da primeira camada as próximas serão depositadas acima das anteriores, assim o processo é repetido camada a camada até que a peça seja concluída (VOLPATO, 2017).

Quando comparado com outros processos de fabricação AM, o processo de FDM se destaca pela variedade de equipamentos de baixo custo, além da utilização de polímeros tradicionais e elementos simples de construção do equipamento (VOLPATO, 2017).

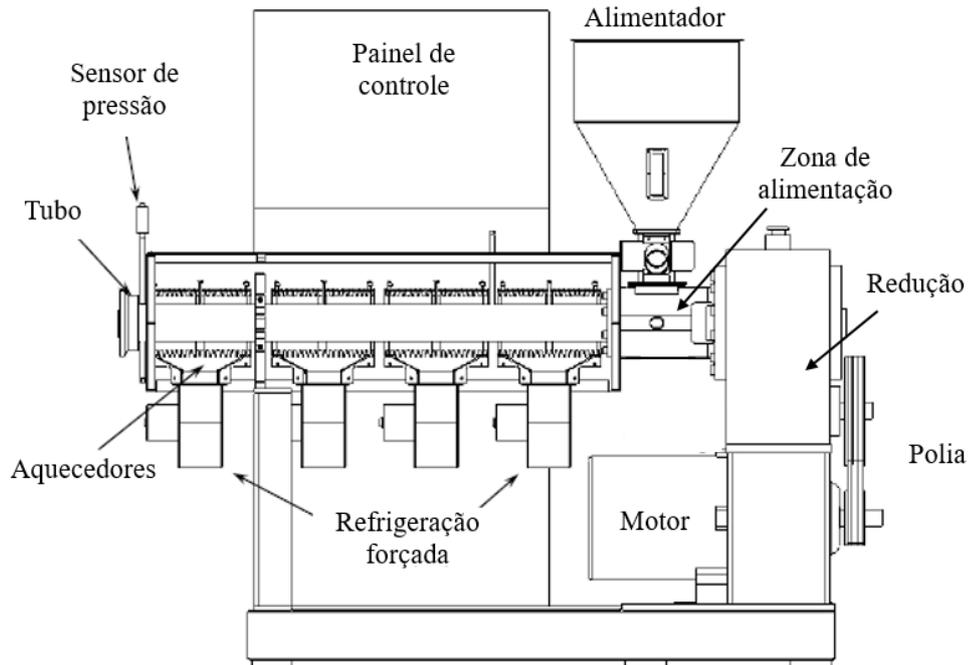
2.7 PROCESSO DE EXTRUSÃO

Extrusão é um dos processos importantes na indústria de processamento de materiais. Significa empurrar ou forçar o material pastoso por uma pequena abertura ou saída tomando forma de acordo com a geometria do canal. Este processo é usado para diferentes materiais como cerâmicos, metálicos, poliméricos, e também frequentemente utilizado na indústria alimentícia na fabricação de massas, cereais e embutidos (RAWENDAAL, 2014).

As extrusoras podem ser divididas em extrusoras de parafuso único (monorroscas) (Figura 4) ou extrusoras multi-parafusos, entretanto as extrusoras de monorroscas são as mais utilizadas na indústria de polímeros (RAWENDAAL, 2014) pois têm a configuração de rosca mais simples e fácil de ser fabricada, portanto, é relativamente barato a sua fabricação. Assim uma extrusora de monorroscas pode servir para diferentes aplicações (TADMOR, 2006).

Este equipamento é caracterizado pelo movimento rotativo de uma rosca no interior de um tubo fixo, necessitando de uma abertura no início (alimentador) e uma abertura no fim da rosca (bico). Portanto o parafuso ou rosca sem fim é basicamente a bomba que transmite, conduz, funde, homogeneiza, e pressuriza o material particulado de maneira contínua e suave até sua saída (MANRICH, 2018).

Figura 4 - Típica extrusora monorrosca

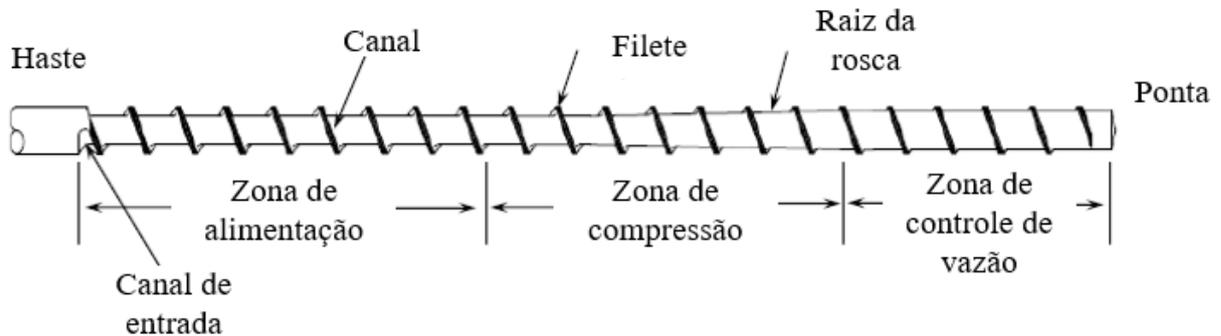


Fonte: Adaptado de CAMPBELL (2013).

2.7.1 Rosca

Em extrusoras monorrosca basicamente existem três regiões importantes na geometria do helicóide (Figura 5). A primeira é a *zona de alimentação*, responsável pelo transporte inicial das partículas sólidas do polímero, nesta zona a profundidade do canal é maior. A segunda é a *zona de compressão (ou transição)*, responsável pelo início da fusão das partículas sólidas devido ao cisalhamento fornecido entre as paredes com a rosca. Por fim a terceira *zona de controle de vazão (ou medição)*, responsável pela homogeneização da mistura, fazendo com que o material esteja completamente fundido e misturado, fornecendo a pressão necessária para o bombeamento do polímero fundido, nesta zona a profundidade do canal é a menor (RAWENDAAL, 2014).

Figura 5 - Regiões de uma rosca extrusora



Fonte: Adaptado de CAMPBELL (2013).

É a parte mais importante na máquina-ferramenta, somente ela faz o avanço do material ao longo do tubo, além de contribuir de 70 a 80% da energia total para o aquecimento do polímero. A fabricação da broca requer o uso de aço 4140 devido a sua composição e resistência a abrasão (MANRICH, 2018).

O diâmetro da rosca depende do material ou composto a ser processado, podendo este ser de diferentes tamanhos e formas (entre 0.3 e 0.6 g/cm³). Assim o ângulo (θ), comprimento (L), folga radial (δ), passo (L_s), profundidades dos canais (h_i e h_f) e largura do canal (W), são parâmetros definidos conforme o material a ser utilizado. Por isso diversos modelos e geometrias de rosca são encontrados no mercado como: roscas com diâmetro externo constante e roscas cônicas com diâmetros variáveis (MANRICH, 2018).

A geometria das roscas (Figura 6) é relativamente simples, podendo variar de 20mm a 750mm de diâmetro (TADMOR, 2006), de 15 a 600mm de diâmetro (GILES, 2005), e proporções de L/D (comprimento por diâmetro) de 8 a 40 (TADMOR, 2006). Porém ainda é mais comum encontrar proporções L/D entre 20 e 30 (RAWENDAAL, 2014). Para o polietileno a razão L/D pode variar entre 16 e 30 (MANRICH, 2018) dado pela equação 1.

$$\frac{L}{D} = 8 \text{ a } 40 \quad (1)$$

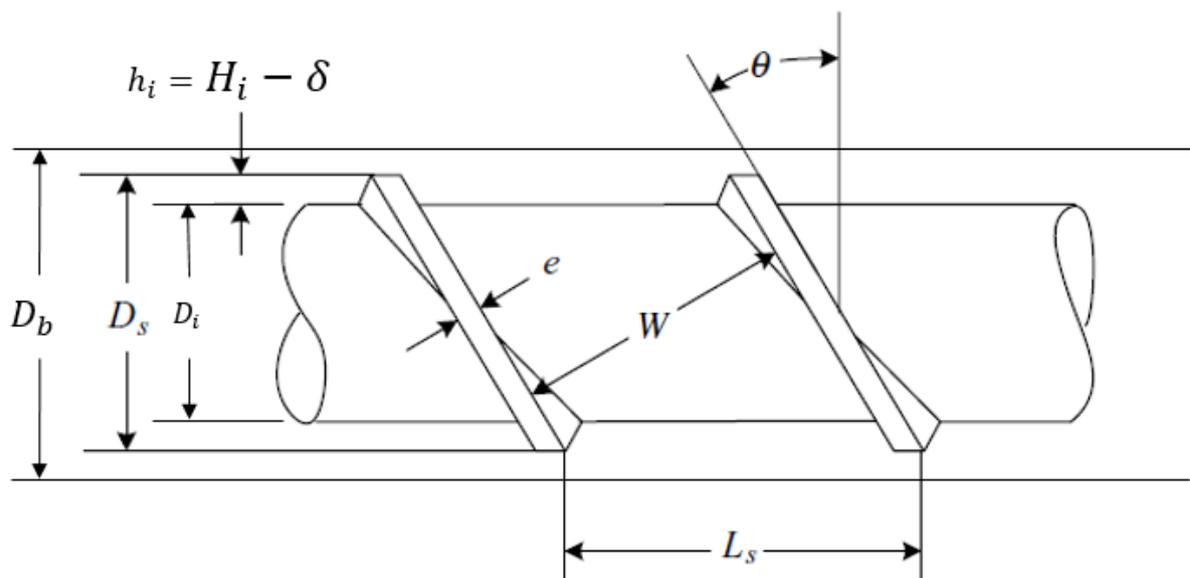
Extrusoras mais longas (maiores valores de L/D) tem maior capacidade de fusão, mistura e cisalhamento, podendo bombear com maiores pressões, tendo como desvantagem o maior gasto energético. Extrusoras curtas tem as seguintes vantagens em relação as longas:

necessitam de menor espaço físico; menor custo de investimento inicial; menor custo de peças de reposição; menor tempo de permanência do material no interior do tubo; menor torque necessário; menor potência e tamanho de motor (GILES, 2005).

O passo (L_s) geralmente está relacionado com o diâmetro da rosca, em muitas extrusoras o diâmetro é igual ao passo $D_s = L_s$, o ângulo θ é dado pela equação 2.

$$\tan \theta = \frac{L_s}{\pi D_s}, \text{ então } \theta = \arctang \frac{L_s}{\pi D_s} \quad (2)$$

Figura 6 - Dimensões da rosca extrusora



Fonte: Adaptado de TADMOR (2006).

Onde:

- D_b : diâmetro interno do tubo (mm).
- D_s : diâmetro externo da rosca (mm).
- D_i : diâmetro da raiz na zona de alimentação (mm).
- θ : ângulo da rosca ($^\circ$).
- h_i : profundidade do canal na zona de alimentação (mm).
- H_i : folga ente a raiz na zona de alimentação e a parede interna do tubo (mm).
- L_s : comprimento do passo (mm).
- e : espessura do dente (mm).
- δ : folga radial (mm).

O diâmetro da rosca (D_s) (equação 3) é função do diâmetro interno do tubo (D_b). Da mesma forma o diâmetro da raiz na zona de alimentação (D_i) é função das folgas associadas (equação 4).

$$D_s = D_b - 2 * \delta \quad (3)$$

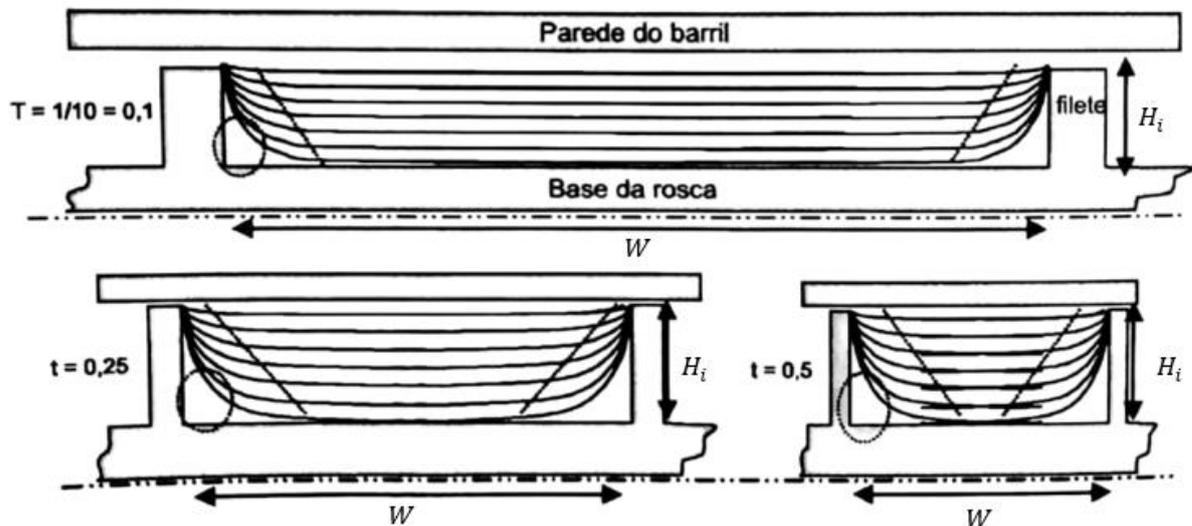
$$D_i = D_s - 2 * (H_i - \delta) \quad (4)$$

A largura do canal (W) é dada pela equação 5.

$$W = L_s * \cos(\theta) - e \quad (5)$$

Após saber a largura do canal, a razão H_i/W (frequentemente chamado de t) é a razão da folga entre a raiz na zona de alimentação e a parede interna do tubo (H_i) pela largura do canal (W). Esta razão é muito importante pois quanto maior o valor de H_i/W , maior será o tempo de transporte do fundido. Podendo ser escolhido conforme o perfil (Figura 7).

Figura 7 - Razão H_i/W



Fonte: Adaptado de MANRICH (2018).

É interessante que se tenha uma rosca de uso geral, porém isso não ocorre devido as diferentes propriedades reológicas dos materiais poliméricos, exigindo diferentes taxas de compressão. A taxa de compressão (RC) é calculada de acordo com a razão da profundidade

do canal na zona de alimentação (h_f) e a profundidade do canal na zona de controle de vazão (h_i) (equação 6). Muitas extrusoras trabalham com valores próximos a 2,5:1 (GILES, 2005) podendo variar de 1,8:1 a 5,5:1 (MANRICH, 2018). Para o polietileno RC varia de 3 a 4,5:1.

$$RC = \frac{h_i}{h_f} = 1,8 \text{ a } 5,5 \quad (6)$$

Segundo Giles (2005) a folga entre as paredes do tubo e a broca é pequena e normalmente 0,025mm vezes o diâmetro (D_s) para extrusoras pequenas e 0,1mm para extrusoras grandes. Porém, segundo Menrich (2018) entre a rosca e o barril deve existir uma folga (δ), em torno de 0,15mm.

Independentemente da teoria, a folga deve ser pequena o suficiente para evitar passagem inversa do fluxo, e evitar perda de pressão no sistema.

NOTA: A teoria de folga mais aceitável foi considerada a de Giles (equação 7) por considerar um múltiplo do diâmetro da broca a invés de valores fixos.

$$\delta = (0.025 * D_s) \quad (7)$$

Como forma de avaliação o cálculo da vazão mássica empírico proposto por Rao (2012) (equação 8), será possível comparar com outras máquinas existentes no mercado.

$$G = 60 \cdot \rho_0 \cdot N \cdot \eta_F \cdot \pi^2 \cdot H_i \cdot D_b \cdot (D_b - H_i) \frac{W}{W + e} \cdot \text{sen}(\theta) \cdot \text{cos}(\theta) \quad (8)$$

Onde:

- G : vazão mássica (kg/h).
- ρ_0 : densidade (kg/m³) (Quadro 3).
- N : rotação angular (rpm).
- η_F : eficiência de transporte (Tabela 3).

Tabela 3 - Eficiência de transporte de polímeros

Eficiência de transporte para alguns polímeros		
Polímero	Tubo liso	Tubo ranhurado
LDPE	0.44	0.8
HDPE	0.35	0.75
PP	0.25	0.6
PVC	0.45	0.8
PET	0.17	0.52
PC	0.18	0.51
PS	0.22	0.65

Fonte: Adaptado de RAO (2012).

2.7.2 Alimentador

Responsável pela alimentação do material particulado sólido gradativamente ao passo do movimento rotativo da rosca. Deve ser posicionado na zona de alimentação da rosca, e facilitar a entrada. Essa região geralmente é resfriada, impedindo um aumento de temperatura, evitando o derretimento prematuro do polímero, diminuindo as chances de entupimento o que poderia ocasionar em problemas de transporte (RAWENDAAL, 2014). O material pode estar nas formas de pó, granulado, péletes, aparas ou uma combinação destes (MANRICH, 2018).

Não existe uma forma geométrica ideal da abertura do alimentador. Porém o comprimento de 1.5 a 2.5 D pode ser vantajoso para uma melhor entrada e homogeneização. Além disso o acoplamento do alimentador junto ao tubo pode ter uma angulação que facilite o deslizamento do material particulado para o interior da extrusora, evitando alimentação descontínua (RAWENDAAL, 2014).

2.7.3 Tubo

O tubo tem a função de delimitar a superfície de escoamento do material, além disso deve ser estacionário em relação a rosca. Deve suportar pressões de até 70 Mpa (MANRICH, 2018) e possuir boa rigidez estrutural (não apresentar costura). Outro requisito é a resistência ao desgaste nas superfícies internas o que pode aumentar a vida útil (nitretação é comumente utilizado) (RAWENDAAL, 2014). Entretanto o tubo deve ser comprido o suficiente para gerar pressão de plastificação e transferência de calor (MANRICH, 2018).

2.7.4 Bico

Delimita o fim do conjunto mecânico e é responsável por definir a geometria da seção transversal do extrudado. (RAWENDAAL, 2014). Também gera pressão devido à restrição (MANRICH, 2018).

2.7.5 Aquecedores

Os aquecedores elétricos são necessários para o mantimento e regulação da temperatura ao longo do processo de acordo com os parâmetros e o material polimérico a ser extrudado. Ao longo do tubo da extrusora são usados de 2 a 4 aquecedores para extrusoras pequenas e de 5 a 10 para extrusoras grandes. Além disso são necessários para o início da operação para que ocorra o pré-aquecimento do tubo. Geralmente usados em forma de coleira com resistência interna, podendo ser de mica ou cerâmica (RAWENDAAL, 2014).

São usados também com o objetivo de manter a temperatura uniforme otimizando a mistura para uma melhor qualidade do extrudado (MANRICH, 2018).

2.7.6 Resfriadores

Classificado como um mal necessário, pois retira energia em lugares específicos processo. Lugares como a zona de alimentação (como dito anteriormente) (MANRICH, 2018) e ao fim do processo para o resfriamento do produto extrudado (RAWENDAAL, 2014).

A rosca é responsável por 70 a 80% da energia térmica fornecida ao material, os outros 20 a 30% são fornecidos pelos aquecedores, entretanto pode ocorrer aumento demasiado de calor para o material. Desta forma em alguns casos é necessário a inserção de resfriamento. Em muitas extrusoras é comum a pratica do uso de resfriamento por ar forçado (RAWENDAAL, 2014).

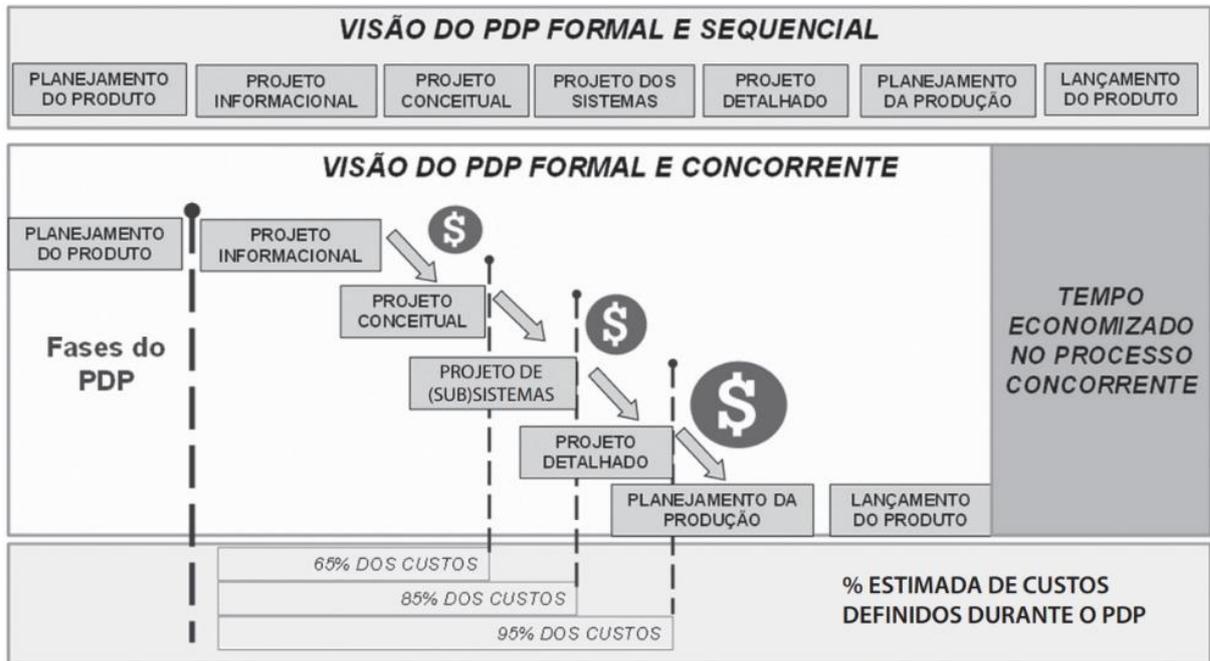
2.8 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) é uma estratégia de negócio baseado em informações de mercado e técnicas de projeção organizada considerando diversos requisitos e restrições as quais devem guiar o desenvolvimento do produto para uma solução mais próxima possível da ótima em termo de projeto, mercado e fabricação (VOLPATO, 2017).

Contudo o PDP pode ser dividido em diferentes fases de projeto do início ao fim do ciclo do projeto, estas fases são tradicionalmente divididas em: projeto informacional, projeto

conceitual, projeto preliminar (ou subsistemas) e projeto detalhado, sequência essa onde o documento de saída de cada fase serve como documento de entrada para a próxima (PMI, 2014). Os quais são uteis para que as atividades de tomada de decisões e produção criativa possam ser controladas ao longo do projeto, sendo melhor representados pela Figura 8.

Figura 8 - Fases de projeto



Fonte: VOLPATO (2017).

2.8.1 Fase de projeto preliminar

Normalmente existe uma ordem entre as fases para a projeção, entretanto este trabalho se trata de uma melhoria de um sistema mecânico de uma extrusora já existente, por conta disso, a fase projeto preliminar foi a principal abordada pois as de especificações de projeto foram cedidas pela equipe de projeto anterior, as quais serão abordadas na sequência.

As especificações de projeto servem como documento de entrada para a fase preliminar, e como documento de saída estão o estudo de viabilidade econômica, lista de peças e os desenhos do conjunto.

3 METODOLOGIA

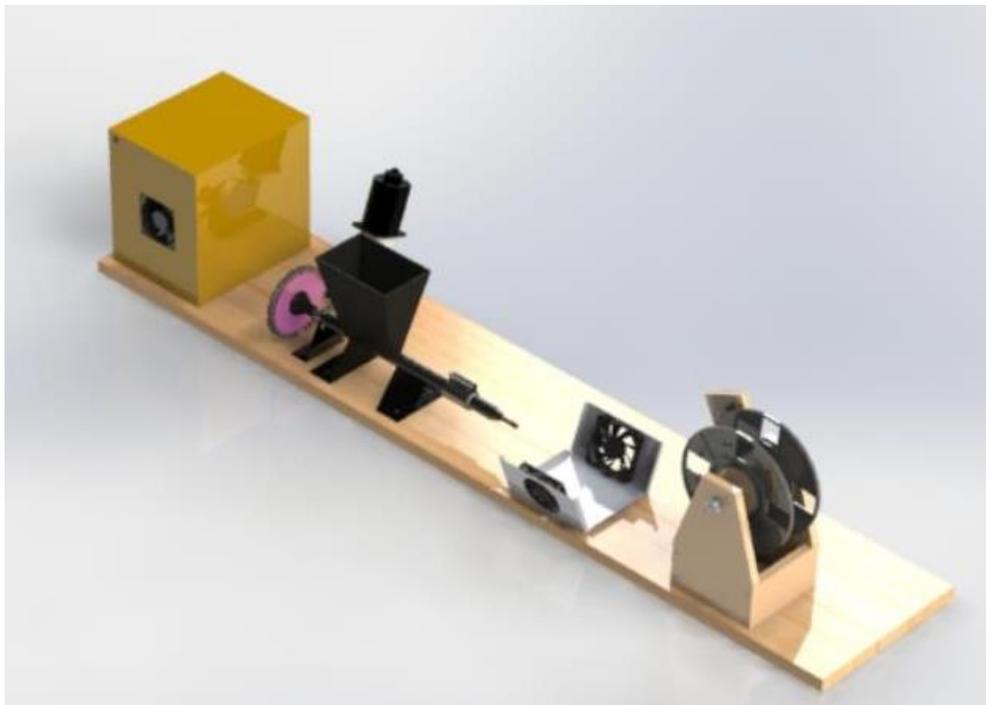
A metodologia foi destinada para a fase preliminar do projeto da extrusora. Porém o projeto só seria viável após um estudo de caso de uma extrusora já existente a qual foi serviu como base para este estudo.

3.1 ESTUDO DE CASO

O conceito de utilizar uma extrusora de pequeno porte para a utilização de material reciclado surgiu como ideia na disciplina de Projeto Integrador da turma 2019/1. O objetivo era suprir a demanda de filamento para a impressora 3D do tipo FDM, usando PLA como matéria-prima. Por meio de soluções práticas e materiais alternativos a extrusora deveria ser capaz de atender algumas especificações de projeto. Além disso o processo deveria ser eficiente e econômico afim de evitar a compra de uma máquina extrusora nova.

Após o término da disciplina a equipe de projeto obteve uma máquina extrusora de baixo custo dado pelas Figuras 9 e 10:

Figura 9 - Extrusora para PLA



Fonte: Equipe de projeto integrador 2019/1.

Figura 10 - Extrusora real pós funcionamento



Fonte: Equipe de projeto integrador 2019/1.

3.1.1 Problemas encontrados

Após uma análise e vistoria na máquina-ferramenta foi identificado uma série de problemas, os quais impossibilitavam o funcionamento correto da extrusora (Quadro 5).

Quadro 5 - Problemas identificados

(continua)

Componente	Problemas Identificados	Descrição	Solução
Rosca	Rosca incorreta para a máquina ferramenta	Rosca para madeira com passo e diâmetro incorretos para o processo de extrusão	Projeto de uma rosca
Tubo	Tubo costurado com paredes finas de aço comercial	Tubo comercial de aço comum com costura	Escolha de um tubo sem costura
	Alimentador muito grande	Área de entrada superior a 2.5 vezes o diâmetro da rosca, o que poderia ocasionar o entupimento da alimentação.	Diminuição da abertura da alimentação
Motor	Motor CC	Motor com baixa potência e rotação para o processo.	Escolha de motor CA e redução

Quadro 5 - Problemas identificados

(continuação)

Componente	Problemas Identificados	Descrição	Solução
Bico	Bico incorreto	Bico utilizado com material alternativo, restringia muito a passagem do fundido ao ponto de aumentar o tempo de residência no interior do tubo, o que ocasionava a degradação do material devido a temperatura	Projeto de bico que atenda a restrição do tubo
Estrutura	Mancal pouco rígido	Ao longo do movimento, a rosca se deslocava no sentido do rolamento, forçando o suporte do mancal para trás	Reforço estrutural para o mancal
	Estrutura fraca	Estrutura com poucos ou nenhum travamento, além de ser muito grande dificultando o transporte	Reforço estrutural
Refrigeração	Refrigeração insuficiente	Apenas uma forma de refrigeração foi identificada (na saída do fundido), não havendo resfriamento na zona de alimentação	Posicionamento de tubulação
Aquecimento	Aquecimento inadequado	Possível superaquecimento devido a manta térmica	Retirada da manta térmica

Fonte: Autor.

Estes problemas foram identificados visto que o funcionamento não foi como o esperado, ou seja, uma quantidade pequena de filamento e com diâmetro inconstantes foram criados, em alguns momentos quebradiço, em outros degradado. Contudo soluções foram necessárias para o correto funcionamento do sistema mecânico.

3.1.2 Materiais Usados

Anteriormente foi escolhido o Ácido Polilático (PLA) por ser um polímero biodegradável, entretanto o PLA é relativamente mais caro e pouco usado em relação ao Polietileno de alta densidade (PEAD), por ser caro e com menor procura, foi decidido a substituição pelo PEAD, largamente encontrado como material de descarte e principalmente pela vantagem de possibilitar reciclagem com poucos processos.

O PEAD é utilizado em diversos componentes como: tampas de canetas, tubos de shampoo, escovas de dente, potes, utensílios domésticos, componentes automotivos e sacolas plásticas. Em algumas indústrias de sacolas plásticas já se utiliza polietileno inteiramente reciclado.

3.1.3 Especificações de projeto

Em função dos problemas encontrados na primeira versão da extrusora (Quadro 5), foi necessária uma análise dos requisitos de projeto (Quadro 6) para que uma reformulação do sistema mecânico fosse capaz de extrudar o PEAD como matéria-prima.

Quadro 6 - Especificações de projeto (versão antiga)

Posição	Requisitos de Projeto	Unidade	Valor meta	Forma de Avaliação
1°	Fácil operação	min	30 min	Cronometragem do início do processo
2°	Dimensão do filamento	mm	(1.75 ± 0.05)	Aferimento com micrometro/paquímetro
3°	Máquina automatizada	Número de pessoas	1	Contagem de operadores
4°	Baixa Manutenção	h	50 h	Cronometro do tempo de trabalho
5°	Estar de acordo com as NR's	%	100%	Avaliação com as NR's atendidas
6°	Baixo custo de produção	R\$	R\$1.000	Orçamento do projeto completo
7°	Robustez do equipamento	mm	0	Aferimento com micrometro/paquímetro
8°	Alta capacidade de extrusão	m/h	45 m/h	Medição durante o funcionamento
9°	Montagem e desmontagem prática	min	30 min	Cronometragem a montagem e desmontagem
10°	Linguagem de programação simples	h	1h	Tempo para programação
11°	Mobilidade da máquina	m ³	0.375 m ³	Medição do volume da máquina
12°	Diferentes bitolas de filamento	und	3 und	Contagem do número de bicos injetores

Fonte: Equipe de projeto 2019/1.

Então novos requisitos e especificações de projeto (Quadro 7) precisaram ser estabelecidos para considerar o projeto do sistema mecânico e não o conjunto completo como anteriormente.

Quadro 7 - Especificações de projeto do sistema mecânico

Posição	Requisitos de Projeto	Unidade	Valor meta	Forma de avaliação
1°	Fácil operação	Botões	4 botões	Apertar no máximo 5 botões para o início
2°	Robustez	kg	≤ 50	Deve ser menor que 50
3°	Baixa manutenção	h	5 horas	Quantidade de horas por mês
4°	Montagem e desmontagem prática	min	1 hora	Cronometragem
5°	Mobilidade do equipamento	m	1 metro de comprimento	Deve ser capaz de entrar no porta-malas de um veículo de passeio
6°	Boa homogeneização do extrudado	rpm	$0 < X < 68$ rpm	Restrição de rotação da redução
7°	Possibilidade de extrudar diferentes diâmetros	mm	$0 < X < 3.5$ mm	Aferimento com ferramentas de precisão como paquímetros ou sensores.
8°	Controle de velocidade	rpm	$0 < X < 30$ rpm	Potenciômetro capaz de aumentar ou reduzir a velocidade
9°	Baixo ruído	db	70 db	Emitir baixo ruído
10°	Rápido início de funcionamento	min	5 min	Primeiro clique de botão até a saída do filamento

Fonte: Autor.

Os valores meta e forma de avaliação são parâmetros definidos pela equipe de projeto ou projetista conforme entendimento das possíveis soluções e controle de riscos. Por isso os valores meta do Quadro 7 estão relacionados a restrições de projeto, como por exemplo o diâmetro de extrusão do filamento e velocidade limite estabelecida pela redução e motor são alguns exemplos de restrições de projeto.

3.2 PROJETO PRELIMINAR DE MELHORIA

É a fase de projeto destinada ao desenvolvimento do produto a partir das especificações de projeto, pontuado definições e restrições de projeto assim como os cálculos de dimensionamento, estimativa de custo, lista de peças, estudo de viabilidade econômica por Payback e estudo de leiaute. Portanto, dados as novas definições das especificações de projeto, o sistema mecânico pode ser analisado e projetado seguindo as restrições estabelecidas do PEAD.

3.2.1 Tubo

O tubo (parte da suspensão de uma motocicleta) foi encontrado em uma sucata como material reaproveitado, porém em boas condições dimensionais. Este material foi escolhido pois não possui costuras internas, diâmetro interno padrão, superfície interna com pouca rugosidades e rosca em uma das extremidades (o que facilitaria no encaixe do bico posteriormente). Isto por que a fabricação de um tubo projetado poderia ser custosa para o projeto, visto sua complexa fabricação.

Foi considerado como restrição de projeto pois este limitou o tamanho final de todo o sistema mecânico, inclusive a estrutura. Com as limitações dimensionais das especificações de projeto, os cálculos necessários para o dimensionamento partiram da geométrica do novo tubo selecionado.

3.2.2 Rosca

A partir da escolha e definição do tubo, foi possível dimensionar a rosca seguindo as dimensões internas (restrições dimensionais) do tubo e referências de dados do PEAD. Entretanto alguns valores precisaram ser assumidos.

O diâmetro interno do tubo (D_b) de 24 mm deveria ser respeitado para as dadas folgas. Assim:

$$D_s = D_b - 2 * \delta \quad (3)$$

$$\delta = (0.025 * D_s) \quad (7)$$

$$D_s = D_b - 2 * (0.025 * D_s)$$

Por apresentar bons resultados com diversos polímeros é comum usar valores de passo (L_s) iguais ao diâmetro (D_s) a fim de se obter uma rosca quadrada:

$$\theta = \arctang \frac{L_s}{\pi D_s} = \tan^{-1} \frac{22,85}{\pi * 22,85} = 17.656^\circ \quad (2)$$

Para a largura do canal a espessura do dente precisava ser estimada, neste caso foi definido $e = 3mm$:

$$W = L_s * \cos(\theta) - e \quad (5)$$

Com o valor de W , e a escolha da razão H_i/W de 0.25 após uma análise das figuras 7, H_i pode ser calculado pela equação 9:

$$\frac{H_i}{W} = 0.25 \quad (9)$$

Assim pela equação 10 temos,

$$h_i = H_i - \delta \quad (10)$$

Para o Polietileno a razão de compressão definida foi $RC = 3$, assim foi possível definir a profundidade do canal na zona de controle de vazão:

$$RC = \frac{h_i}{h_f} = 3 \quad (6)$$

O valor de L/D deveria estar entre 8 e 40. Para não comprometer a plastificação este valor foi definido como 20 (equação 11).

$$\frac{L}{D_s} = 20 \quad (11)$$

Com a finalidade de comparação a equação 8 calcula a vazão mássica (G) da extrusora conforme a rotação de 30 rpm das especificações de projeto.

$$G = 60 \cdot \rho_0 \cdot N \cdot \eta_F \cdot \pi^2 \cdot H_i \cdot D_b \cdot (D_b - H_i) \frac{W}{W + e} \cdot \text{sen}(\theta) \cdot \text{cos}(\theta) \quad (8)$$

3.2.3 Bico

O bico foi dimensionado de acordo com as dimensões do tubo e rosca. Com o ângulo de entrada de 114°, ângulo de saída de 51° e diâmetro interno de 3.5 mm. Este diâmetro foi escolhido pois está de acordo com as especificações de projeto. É importante dizer que é possível obter diâmetros de filamento menores que 3.5 mm, pois o que define o diâmetro é o sistema de bobinamento, ou seja, quando mais rápido for puxado, menor será o diâmetro e vice-versa.

3.2.4 Estrutura

A estrutura foi projetada com a finalidade de atender 3 requisitos:

- Suportar a carga gerada pela rosca.
- Suportar o peso e volume do motor, caixa de redução, tubo e demais componentes.
- Possibilitar o transporte em veículos de passeio.

Por isso segundo as especificações de projeto, a estrutura não deveria ter mais de 1000 mm de comprimento total.

3.2.5 Motor e redução

O motor escolhido foi um de máquina de lavar desativada, o qual tem a capacidade de render 1625 rpm a uma potência de ¼ cv. Com estas características, a caixa de redução escolhida foi a MKPJ 1:25 a qual tem a capacidade de rotação de até 1700 rpm, 1/3 cv, torque de saída de até 2.73 Kgm a 68 rpm com fator de segurança 1,3.

Porém devido as diferenças dos tamanhos das polias a rotação na saída da caixa de redução pode ir de 0 até 30 rpm (conforme especificações de projeto).

A escolha de usar rotações baixas está relacionada com a vantagem de uma melhor uniformidade do fundido durante a extrusão diminuindo as chances de aparecerem bolhas de ar no extrudado.

3.2.6 Resfriamento e Aquecimento

Para a região externa da *zona de alimentação* e para a região na saída do bico, foi posicionado dois tubos direcionadores de ar para que uma possível instalação de refrigeração de ar forçado fosse possível posteriormente a fim de evitar problemas de entupimento (na zona de alimentação) e derretimento demasiado (pós bico). E para o reduzir o aquecimento desnecessário foi retirado a manta térmica, pois foi classificada como desnecessária.

3.2.7 Viabilidade econômica

Devido o foco deste trabalho não estar relacionado com a validação e lançamento do projeto no mercado como produto, o estudo de viabilidade econômica foi baseado em um cálculo retorno de investimento *Payback* simples, visto a sua simples definição, para fins de comparação, e para que sirva de parâmetro na produção futura de filamentos.

O *Payback* simples, é uma forma de avaliação a qualidade do investimento através do tempo que esse investimento leva para retornar o dinheiro investido (ALVES e MATTOS, 2017), onde é dado pela equação 12.

$$PB = \frac{\text{Custo do protótipo}}{\text{Valor do insumo}} \quad (12)$$

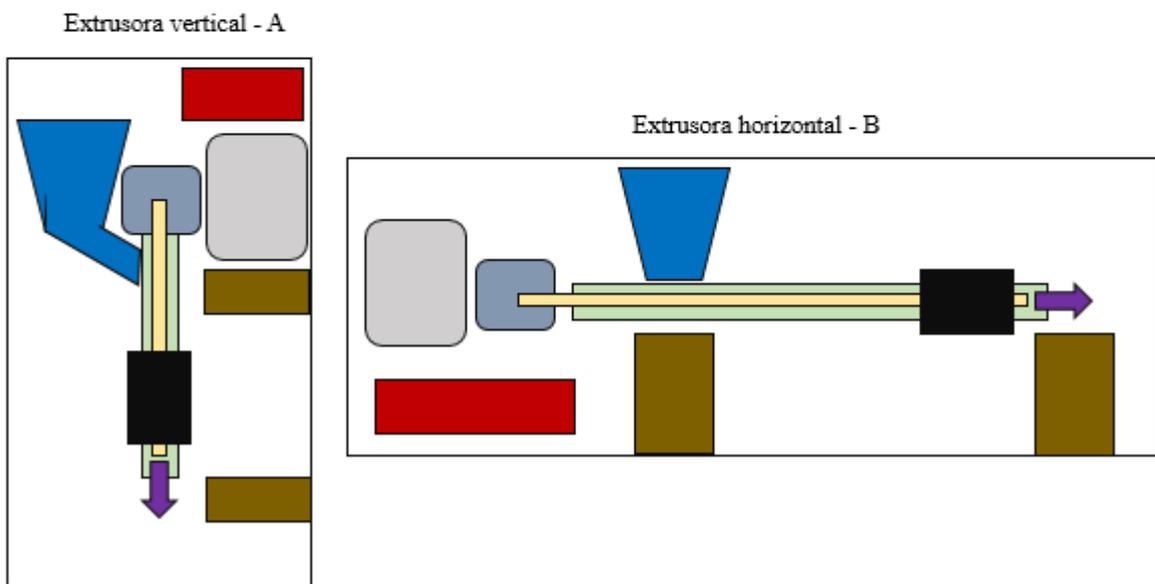
3.2.8 Leiaute

Duas possíveis soluções (Figura 11) foram analisadas, entretanto a que melhor atenderia o requisito de facilidade de transporte foi a opção B (extrusora horizontal), além de estar mais próxima com outros modelos encontrados no mercado, a opção horizontal pode favorecer futuramente no bobinamento do filamento, a maneabilidade e o acionamento de componentes importantes como o botão de emergência.

Outro diferencial no leiaute foi a escolha das cores da estrutura estarem baseadas nas cores da instituição, por isso o azul e branco foram as cores definidas como itens importantes no estudo do leiaute da bancada, visto sua utilização para fins acadêmicos e sua permanência na instituição, podendo ser observada no Apêndice A.

Figura 11 - Leiaute

- Estrutura
- Motor
- Redução
- Broca
- Tubo
- Alimentador
- Botões de acionamento
- Bico
- Refrigeração
- Aquecimento



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS

Com as novas especificações de projeto e a proposta de cálculos e escolhas de parâmetros, componentes a partir de definições de projeto, foi possível obter como resultado o sistema mecânico de uma extrusora para PEAD como matéria-prima de processamento.

4.1 PROJETO PRELIMINAR

Então o projeto dos componentes foi possível após dimensionamento e organização conceitual segundo parâmetros e diretrizes apresentados pelos autores nas seções anteriores deste documento.

4.1.1 Dimensões para projeto da rosca

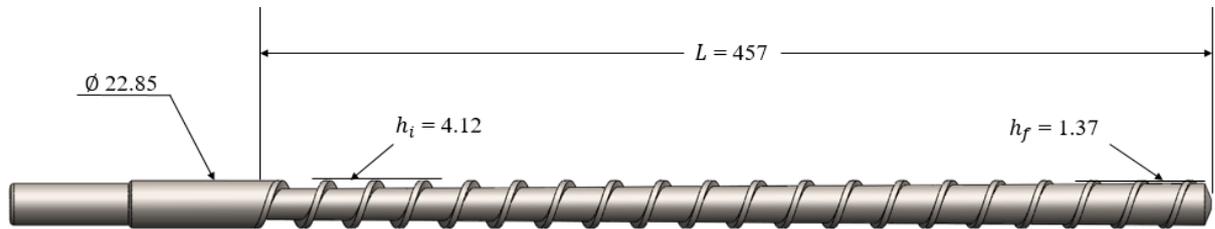
De acordo com o equacionamento algébrico proposto, a Tabela 4 apresenta as principais variáveis para a modelagem em CAD rosca (Figura 12).

Tabela 4 - Variáveis para projeto da broca.

Variáveis calculadas	
Diâmetro do tubo (Db)	24 mm
Comprimento útil da broca (L)	457 mm
Passo (Ls)	22,85 mm
Diâmetro da broca (Ds)	22,85 mm
Diâmetro de raiz na zona de alimentação (Da)	14,61 mm
Folga na zona de alimentação (hi)	4,12 mm
Diâmetro de raiz na zona de controle de vazão (Dc)	20.109 mm
Folga na zona de controle de vazão (hi)	1,374 mm
Largura do canal (W)	18,774 mm
Ângulo (θ)	17,65°
Largura do dente (e)	3 mm
Vazão mássica (G)	3,16 kg/h

Fonte: Autor.

Figura 12 - Rosca extrusora para PEAD

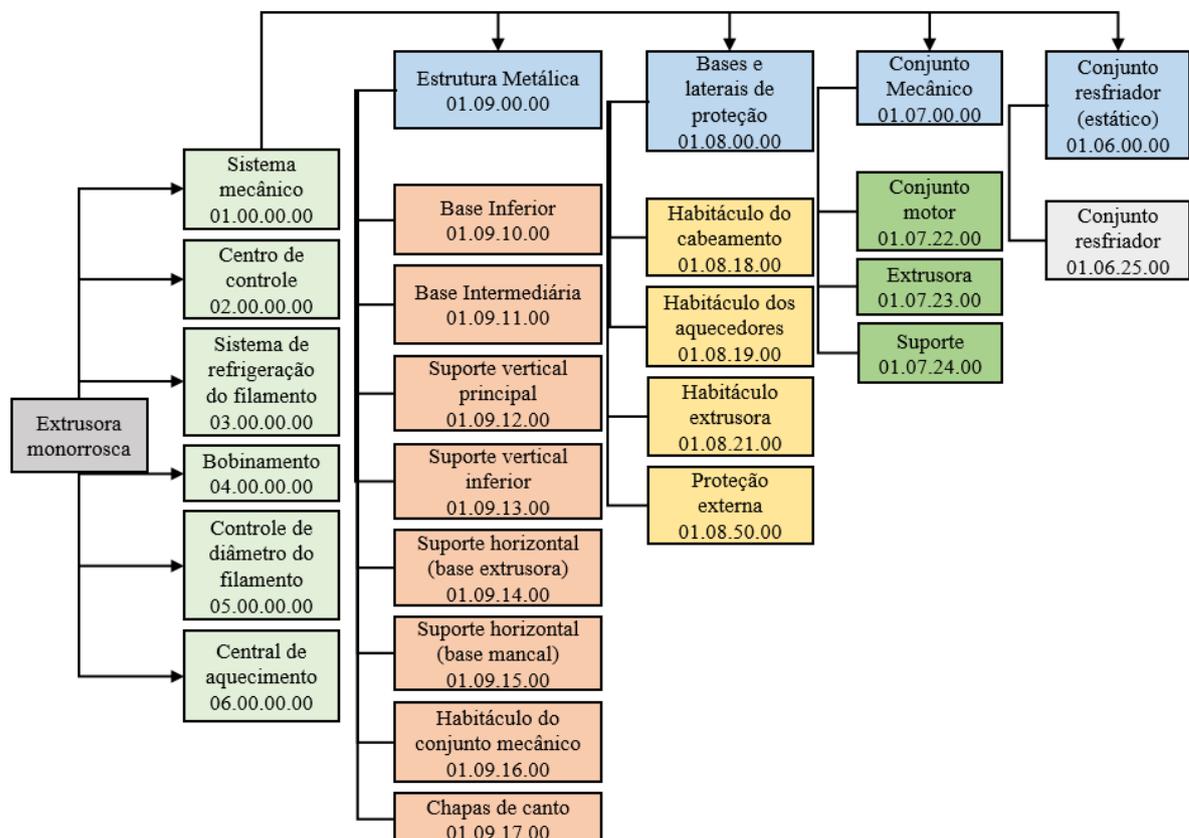


Fonte: Autor.

4.1.2 Árvore genealógica

A árvore genealógica é o documento que relaciona a posição de cada componente, grupo, conjunto e subsistema em um diagrama de blocos dado pela Figura 13.

Figura 13 - Árvore genealógica.



Fonte: Autor.

Lembrando que para este trabalho somente as peças do grupo geral sistema mecânico dados pelo número inicial “01” foram considerados, entretanto os outros sistemas ou grupos gerais foram definidos arbitrariamente conforme os números de 02 a 06, estes foram definidos para que posteriormente sejam usados no desenvolvimento das peças e grupos subsequentes assim como a possibilidade de obtenção de uma lista de peças padronizada ao fim da projeção de todos os conjuntos.

4.1.3 Lista de peças

Após a definição dos componentes importantes da extrusora os itens foram divididos em Grupo geral (GG), Grupo parcial (GP), Subconjunto1 (SC1), Quantidade (QU), Nome do componente (NC), Conjunto geral (CG), Conjunto parcial (CP), Subconjunto2 (SC2), Peça (PE), Código final (CF), Descrição (CE) e Preço (PE). (Quadro 8).

O catálogo de peças é um dos documentos importantes do projeto na fase preliminar visto que somente assim existe a possibilidade de analisar o conjunto como um todo, com todas as peças dos conjuntos grupos e subconjuntos.

Para esta tabela os únicos números os quais não devem se repetir é o “PE”, referente ao número da peça, isto porque uma mesma peça pode estar presente em outro grupo parcial ou subconjunto.

Quadro 8 - Catálogo de peças

(continua)

Catálogo de peças											
GG	GP	SC1	QU	NC	CG	CP	SC2	PE	CF	DE	PR
Extrusora de Rosca Simples	Estrutura metálica	Base Inferior	1 un.	Cantoneira	01	09	10	01	01.09.10.01	25.4 x 1000 mm (com corte e furos)	R\$ 5,00
			1 un.	Cantoneira	01	09	10	02	01.09.10.02	25.4 x 1000 mm (com corte e furos)	R\$ 5,00
			2 un.	Cantoneira	01	09	10	03	01.09.10.03	25.4 x 200mm (com corte e furos)	R\$ 2,00
		Base Intermediária	2 un.	Cantoneira	01	09	11	03	01.09.11.03	25.4 x 200mm (com corte e furos)	R\$ 2,00
			1 un.	Cantoneira	01	09	11	04	01.09.11.04	25.4 x 1000 mm (com corte e furos)	R\$ 5,00

Quadro 8 - Catálogo de peças

(continuação)

Catálogo de peças											
GG	GP	SC1	QU	NC	CG	CP	SC2	PE	CF	DE	PR
			1 un	Cantoneira	01	09	11	05	01.09.11.05	25.4 x 1000 mm (com cote e furos)	R\$ 5,00
		Suporte Vertical Principal	4 un	Cantoneira	01	09	12	06	01.09.12.06	25.4 x 74,60 mm (corte 90° e furos)	R\$ 2,22
			1 un	Cantoneira	01	09	12	07	01.09.12.07	25.4 x 74,60 mm (corte 90°)	R\$ 0,37
		Suporte Vertical Inferior	1 un	Cantoneira	01	09	13	08	01.09.13.08	25.4 x 96.82 mm (com entalhe e furo)	R\$ 0,48
			1 un	Cantoneira	01	09	13	09	01.09.13.09	25.4 x 96.82 mm (com entalhe)	R\$ 0,48
		Suporte Horizontal (base extrusora)	2 un	Cantoneira	01	09	14	10	01.09.14.10	25.4 x 193,64 mm (com entalhe e furos)	R\$ 1,94
		Suporte Horizontal (Mancal)	2 un	Cantoneira	01	09	15	10	01.09.15.10	25.4 x 193,64 mm (com entalhe e furos)	R\$ 1,94
		Habitáculo do Conjunto Mecânico	2 un	Cantoneira	01	09	16	03	01.09.16.03	25.4 x 200mm (com corte e furos)	R\$ 2,00
			1 un	Cantoneira	01	09	16	11	01.09.16.11	25.4 x 174.60 mm (com corte e furos)	R\$ 0,87
			1 un	Cantoneira	01	09	16	12	01.09.16.12	25.4 x 174.60 mm (com corte e furos)	R\$ 0,87
			1 un	Cantoneira	01	09	16	13	01.09.16.13	25.4 x 174.60 mm (com corte e furos)	R\$ 0,87
			1 un	Cantoneira	01	09	16	14	01.09.16.14	25.4 x 174.60 mm (com corte e furos)	R\$ 0,87
			1 un	Cantoneira	01	09	16	15	01.09.16.15	25.4 x 227.20 mm (sem furos)	R\$ 1,14
			1 un	Cantoneira	01	09	16	16	01.09.16.16	25.4 x 227.20 mm (com furos)	R\$ 1,14
			1 un	Cantoneira	01	09	16	50	01.09.16.50	25.4 x 193.64 mm (com entalhe e furos)	R\$ 0,96
			1 un	Cantoneira	01	09	16	51	01.09.16.51	25.4 x 193.64 mm (com entalhe e furos)	R\$ 0,96
			1 un	Chapa do Motor	01	09	16	52	01.09.16.52	3 x 84 mm (com dobra entalhe e furos)	R\$ 0,30

Quadro 8 - Catálogo de peças

(continuação)

Catálogo de peças													
GG	GP	SC1	QU	NC	CG	CP	SC2	PE	CF	DE	PR		
		Chapas de Canto	6 un	Chapa de Canto	01	09	17	17	01.09.17.17	50 x 50 x 3.18 mm (com corte 45°)	R\$ 0,50		
		Habitáculo Cabeamento	1 un	Compensado	01	08	18	18	01.08.18.18	266.64 x 188.64 x 22mm (com furos)	R\$ 0,83		
		Habitáculo Aquecedores	1 un	Compensado	01	08	19	21	01.08.19.21	713.82 x 188.64 x 22mm (com furos)	R\$ 2,24		
		Habitáculo Extrusora	2 un	Compensado	01	08	21	27	01.08.21.27	195 x 38.52 x 22mm (com furos)	R\$ 0,25		
			1 un	ACM	01	08	21	28	01.08.21.28	189 x 163.82 x 4mm (com furo e abertura)	R\$ 2,84		
			1 un	Compensado	01	08	21	40	01.08.21.40	445 x 199.64 x 22mm (com furos)	R\$ 3,00		
		Proteção Externa	1 un	ACM	01	08	50	60	01.08.50.60	260 x 183.63 mm	R\$ 4,68		
				1 un	ACM	01	08	50	61	01.08.50.61	268 x 100 mm	R\$ 1,20	
				1 un	ACM	01	08	50	62	01.08.50.62	282 x 190 mm	R\$ 5,04	
				1 un	ACM	01	08	50	63	01.08.50.63	190 x 137.7 mm	R\$ 2,38	
				1 un	ACM	01	08	50	64	01.08.50.64	290 x 268 mm	R\$ 7,15	
		Conjunto Mecânico	Conjunto Motor	1 un	Motor	01	07	22	29	01.07.22.29	1/4 cv, 1625 rpm	R\$ 250,00	
					1 un	Transmissão	01	07	22	30	01.07.22.30	MKPJ - 1;25	R\$ 175,02
					1 un	Correia	01	07	22	31	01.07.22.31	3L-170	R\$ 10,00
					1 un	Capacitor	01	07	22	70	01.07.22.70	12 uF	R\$ 6,00
					1 un	Potenciômetro	01	07	22	71	01.07.22.71		
					1 un	Botão on/off	01	07	22	72	01.07.22.72	liga-desliga 2186 DNI	R\$ 5,90
					1 un	Botão de emerg.	01	07	22	73	01.07.22.73	Gira-Destrava LAY5-ES54	R\$ 48,50

Quadro 8 - Catálogo de peças

(conclusão)

Catálogo de peças											
GG	GP	SC1	QU	NC	CG	CP	SC2	PE	CF	DE	PR
		Extrusora	1 un	Cano	01	07	23	32	01.07.23.32	Ø 30 x 525 x 3mm (com rosca interna)	-
			2 un	Suportes	01	07	23	33	01.07.23.33	200 x 120 x 3mm (com dobra e aberturas)	R\$ 1,60
			1 un	Alimentador	01	07	23	34	01.07.23.34	196 x 150 x 3mm	R\$ 3,20
			1 un	Broca	01	07	23	35	01.07.23.35	Ø 22.85 x 622.65 (rosca quadrada)	R\$ 27,80
			1 un	Bico	01	07	23	36	01.07.23.36	Ø 30 x36 (geometria usinada)	R\$ 16,50
			1 un	Mancal	01	07	23	37	01.07.23.37	Ø 20 mm (F204 - Mancal tipo flange)	R\$ 48,00
			1 un	Acoplamento	01	07	23	88	01.07.23.88	Ø 20 x40 mm	-
		Suporte	4 un	Atenuador de impacto	01	07	24	38	01.07.24.38	Coxim de Borracha 68 x 60 mm	R\$ 40,00
	Conjunto Resfriador	Resfriamento	2 un	Cano PVC	01	06	25	39	01.06.25.39	Ø 100 x 122	R\$ 5,00

Fonte: Autor.

4.1.4 Custo de projeto

O custo do projeto (Tabela 5) considerou as horas trabalhadas tanto da estrutura quanto da fabricação do bico e da broca, não considerando custo do tempo de montagem e transporte.

Tabela 5 - Custo de projeto

Custo de projeto		
Material		R\$709,03
Mão de obra da estrutura	30 R\$/Hora	R\$900,00
Mão de obra (bico e broca)	50 R\$/Hora	R\$600,00
Parafusos	46*0.65	R\$29,90
Total		R\$2.238,93

Fonte: Autor.

4.1.5 Período de retorno de capital - Payback

A extrusora em questão teve um custo de protótipo de aproximadamente R\$ 2.238,93, tendo a capacidade de produção estimada em 3,16kg/h. Em comparação com o estudo de Rodrigues (2017), o qual se baseou na fabricação de uma extrusora para filamento de ABS reciclável, chegando a um valor de aproximadamente R\$ 1.230,00. Entretanto a capacidade de produção de 0.2kg/h. Capacidade está muito inferior aos 3,16kg/h propostos por este trabalho.

Como forma de avaliar o investimento pelo gasto na compra de filamentos de PEAD que custa aproximadamente 160,00 R\$/kg (3DX, 2019) considerando o método do *payback* a produção necessária para que o equipamento gere lucro é dada pela equação 12:

$$PB = \frac{R\$ 2.238,93}{R\$ 160,00} = 13.993 \text{ (aproximadamente)}$$

Assim, é possível dizer que após a produção de 14 kg de filamento de PEAD o sistema mecânico poderá gerar lucro a partir desta produção com poucas horas de funcionamento.

5 CONCLUSÕES

Muito se discute sobre a intensa produção de polietileno e seus benefícios, porém o rápido descarte pelo usuário após o término do ciclo de vida do produto manufaturado, pode estar associado a poluição e impactos ambientais causados pelo seu descarte incorreto visto a lenta degradação em ambientes naturais. Ainda assim a tendência exponencial de produção desse polímero ainda é um fator a ser considerado. O polietileno por sua vez, um dos mais fabricados atualmente, é um termoplástico que possui a capacidade de ser reciclado podendo retornar ao mercado produtivo.

Durante este estudo pode perceber que é possível a utilização do PEAD reciclado como filamento no processo de impressão 3D pois o mesmo mantém boas características quando comparado com o PEAD virgem ou misturado.

Assim existe a possibilidade de diminuição do descarte do PEAD como lixo comum e reinserir o PEAD como matéria prima no processo de manufatura aditiva intensificando os estudos no processo de desenvolvimento de produtos e protótipos, podendo beneficiar a sociedade acadêmica com conteúdo científico nacional sobre materiais poliméricos, posteriormente produtores e consumidores, com os benefícios adquiridos.

Entretanto este estudo propôs um projeto preliminar para o aperfeiçoamento do conjunto mecânico de uma extrusora de pequeno porte para fins acadêmicos, a qual tivesse a capacidade de extrudar filamento de PEAD a partir de matéria-prima oriunda de reciclagem. Tendo como principais contribuições o projeto do sistema mecânico, dados de dimensionamento, capacidade de processamento, estudo de retorno *payback* e lista de peças. Evidenciando assim um evolução e um amadurecimento do projeto para futuros projetos.

Estes resultados servirão como base para o projeto de novos subsistemas como o sistema de bobinamento, sistema de aquecimento e sistema de resfriamento, para possam ser inseridos e finamente testados e validos em outras fases de projeto.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar testes funcionais e reológicos com o PEAD reciclado para definir os parâmetros de operação.
- Inserir uma válvula de pressão no fim do tubo para evitar aumento inesperado de pressão
- Inserir os componentes de aquecimento e seus controladores, resfriamento e seus controladores e o sistema de bobinamento.
- Realizar simulação computacional para saber com maior exatidão a confiabilidade da broca
- Necessário estudo sobre a reologia do particulado a ser extrudado, a fim de diminuir incertezas relacionadas a temperatura, velocidade de rotação e vazão.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Aline. MATTOS, João G. AZEVEDO, Iraneide S. S. **Engenharia econômica**. [recurso eletrônico] – Porto Alegre: SAGAH, 2017.
- BRASKEM. **O Plástico no Planeta: O uso consciente torna o mundo mais sustentável**. São Paulo, 2012. Disponível em; http://braskem.com.br/download/Principal/21103?file=Cartilha_Braskem.pdf. Acesso em 02 mai. 2019.
- CALLISTER, William, D. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução – 9ª. Ed** – Rio de Janeiro: LTC, 2018, il.; 28cm.
- CAMPBELL, Gregory, A. SPALDING, Mark, A. **Analyzing and Troubleshooting Single-Screw Extruders** – HANSER, Munich – Germany, 2013.
- CARNEIRO, Priscila Alves. **Análise das tecnologias para gestão e reaproveitamento energético dos resíduos urbanos para reciclagem de plásticos**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.
- COUTINHO, Fernanda M. B. MELLO, Luiz C. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. Artigo de divulgação. Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, p, 1-13, 2003. Rio de Janeiro – RN, Brasil.
- GALINA, Dielsyon, M. GARCIA, Davi, P. **INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DE CAMADADEIMPRESSÃO 3D NASPROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS FABRICADAS COM O COPOLÍMERO ABS**. Revista Iberoamericana de Polimeros y Materiales – Volumen 19(3), maio de 2018, p. 116 - 127.
- GILES, Harold, F. WAGNER, Jhon R. **Extrusion: the definitive processing guide and handbook** / by Harold F. Giles, Jr. Jhon R. Wagner, Jr. Eldridge M. Mount, III. WILLIAM ANDREW, Inc. 2005, Norwitch – New York, USA. p.cm.
- GROOVER, Mikell, P. **Fundamentos da Moderna Manufatura**. Versão Si, volume 2; tradução Givanildo Alves dos Santos, Luiz Claudio de Queiroz – 5. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2017. il.;28cm.
- HAMOD, Haruna. **Suitability of recicled HDPE for 3D printing filamento**. Arcada University of Applied Science. Plastics Technology. Dezembro 2014.
- LONTRA, Beatriz, G. F. **Reciclagem mecânica de polietileno de alta densidade obtido a partir de sacolas plásticas**. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de engenharia de Materiais, 2011. X, 35.: il.; 29,7 cm.
- LOPES, Daniel de Paula. **FILAMENTO DEPOLIETILENO VERDE PARA IMPRESSORAS 3D**. Dissertação de mestrado do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2016, 132f.
- MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes / Silvio Manrich**. – São Paulo: Artliber Editora, 2ª edição, 2018, SP, Brasil.
- NATURE, Scientific Reports, L.Lebroton, B.Slat, F.Ferrari, B.Sainte-Rose, J.Aitken, R.Marthouse, S.Hajbane, S.Cunsolo, A.Shwarz, A.Lvivier, K.Nobel, P.Debeljakm, H.Maral,

R.Schoeneich-Argent, R.Brambini & J.Reisser. **Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is Rapidly accumulating plastic.** March 22 de 2018. Disponível em :<<https://www.nature.com/articles/s41598-018-22939-w>> acesso em 09 mai. 2019.

RAO, Natti S. SCHOTT, Nick R. **Understanding Plastics Engineering Calculations.** Hands-on Examples and case studies. HANSER, 327 Route 21c, Ghent NY 12075, USA, 2012.

NOVOA, D. M. C. D'ALMEIDA, J. R. M. **AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PEAD PROCESSADO PELO MÉTODO DE IMPRESSÃO 3D POR MODELAGEM POR FUSÃO E DEPOSIÇÃO – FDM.** 22ºCBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 06 a 10 de Novembro de 2016. Natal – RN, Brasil.

PMI. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projeto – 5ª Edição.** SARAIVA, 2014.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D.** 2017. 308p, São Paulo: Blucher, 2017.

RAUWENDAAL, Chris, Dr. **Polymer Extrusion – 5ª. Edition.** HANSER, 2014, Auburn - California, USA. dc.; 23.

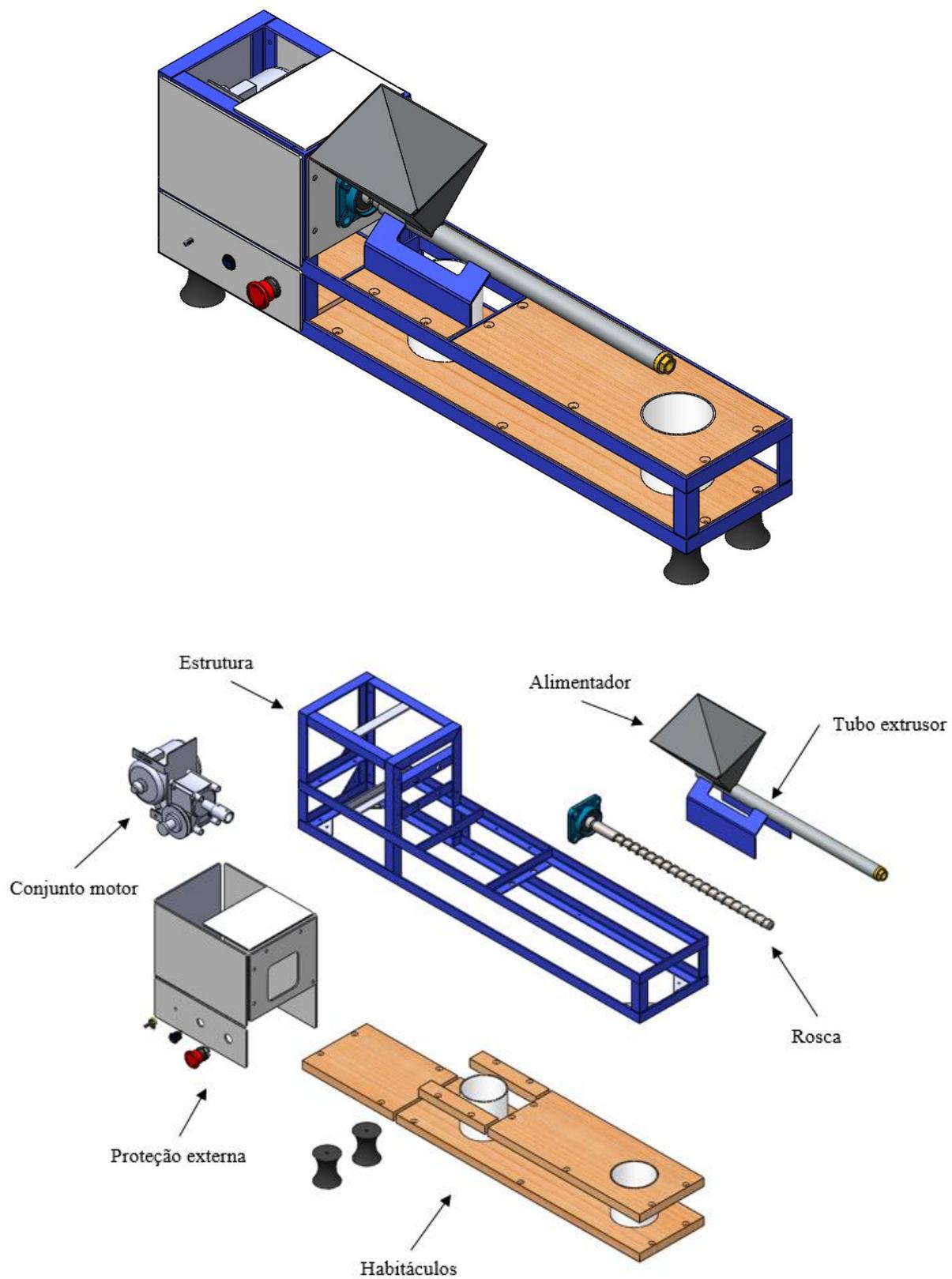
RODRIGUES, L.F.B. **Análise do Aproveitamento de Polímeros Recicláveis para Obtenção de Filamentos para Impressora 3D.** 2017. 43 p. Panambi – RS, 2017.

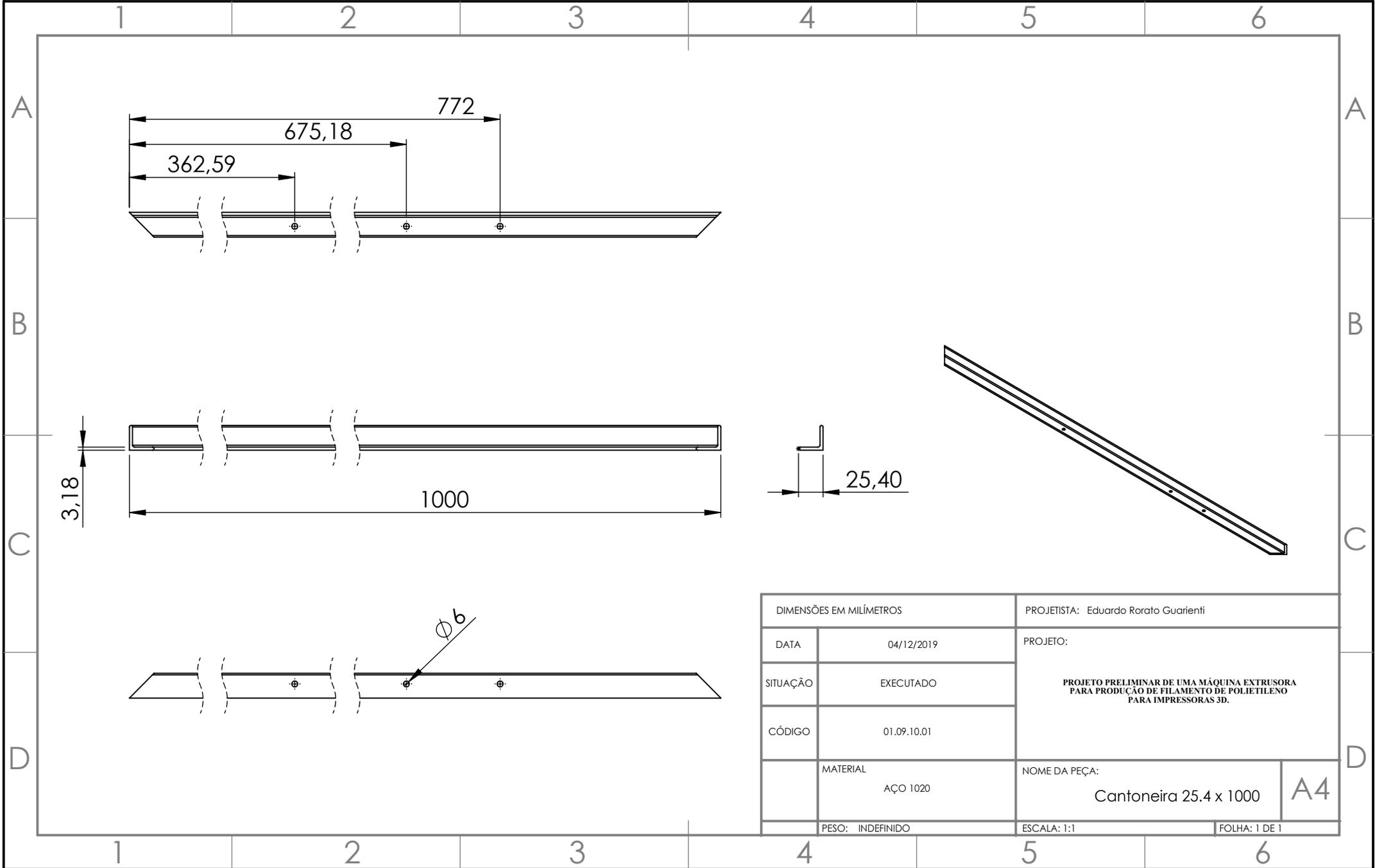
SANTANA, Leonardo. **AVALIAÇÃO DE UMA IMPRESSORA 3D BASEADA EM PROJETO DE CÓDIGO ABERTO NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS EM PLA.** Dissertação do Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis 2015. 166p.

TADMOR, Zehver. GOGOS, Costa G. **Principles of Polymer Processing – Second Edition.** WILEY-INTERSCIENCE, 2006, Hoboken, New Jersey, USA. p.cm.

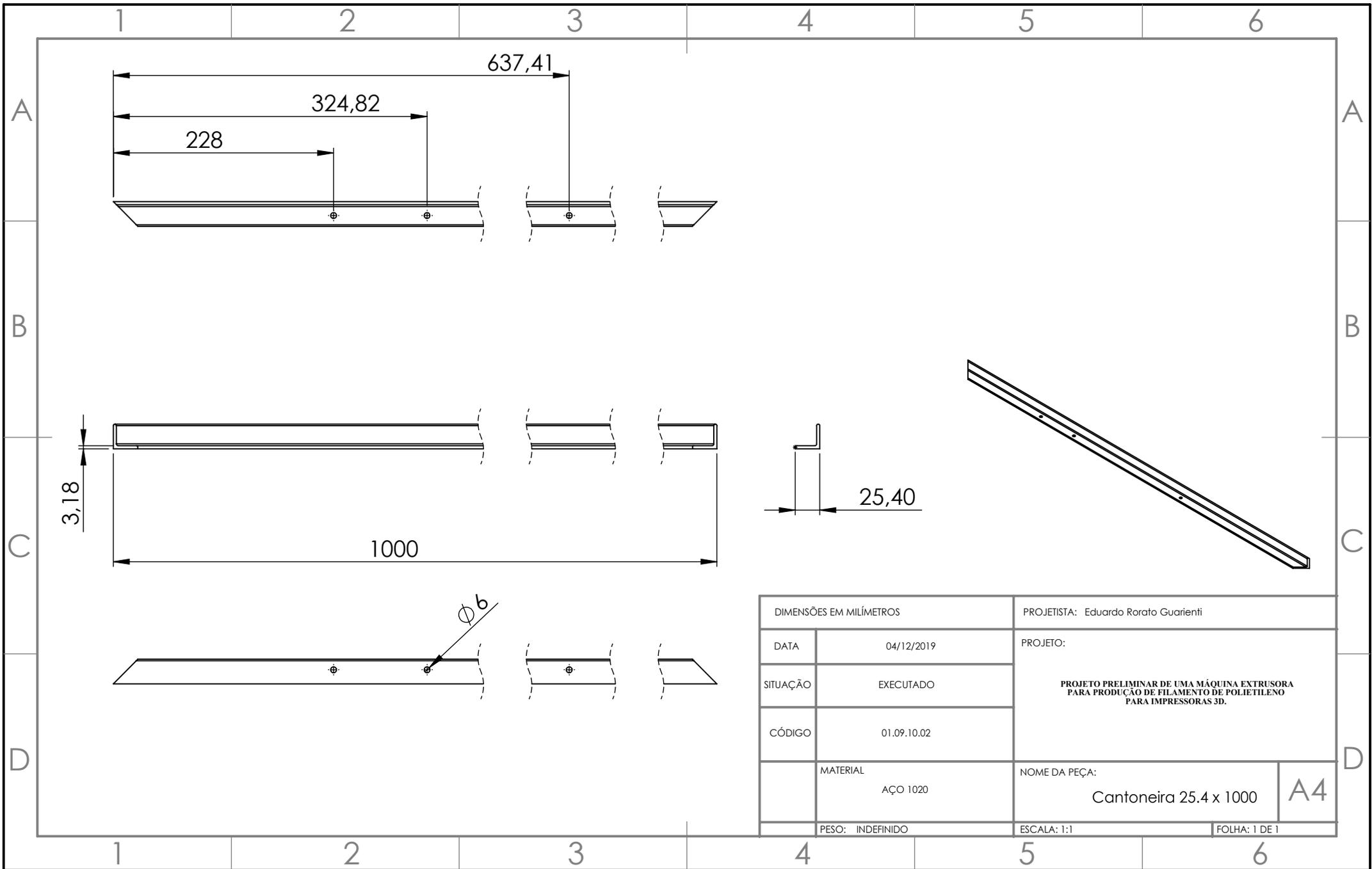
3DX. **Loja 3DX Filamentos.**
https://www.loja3dxfilamentos.com/pead_qO32630430XtOcxSM, acessado em 23/11/2019 (14:55).

APÊNDICE A

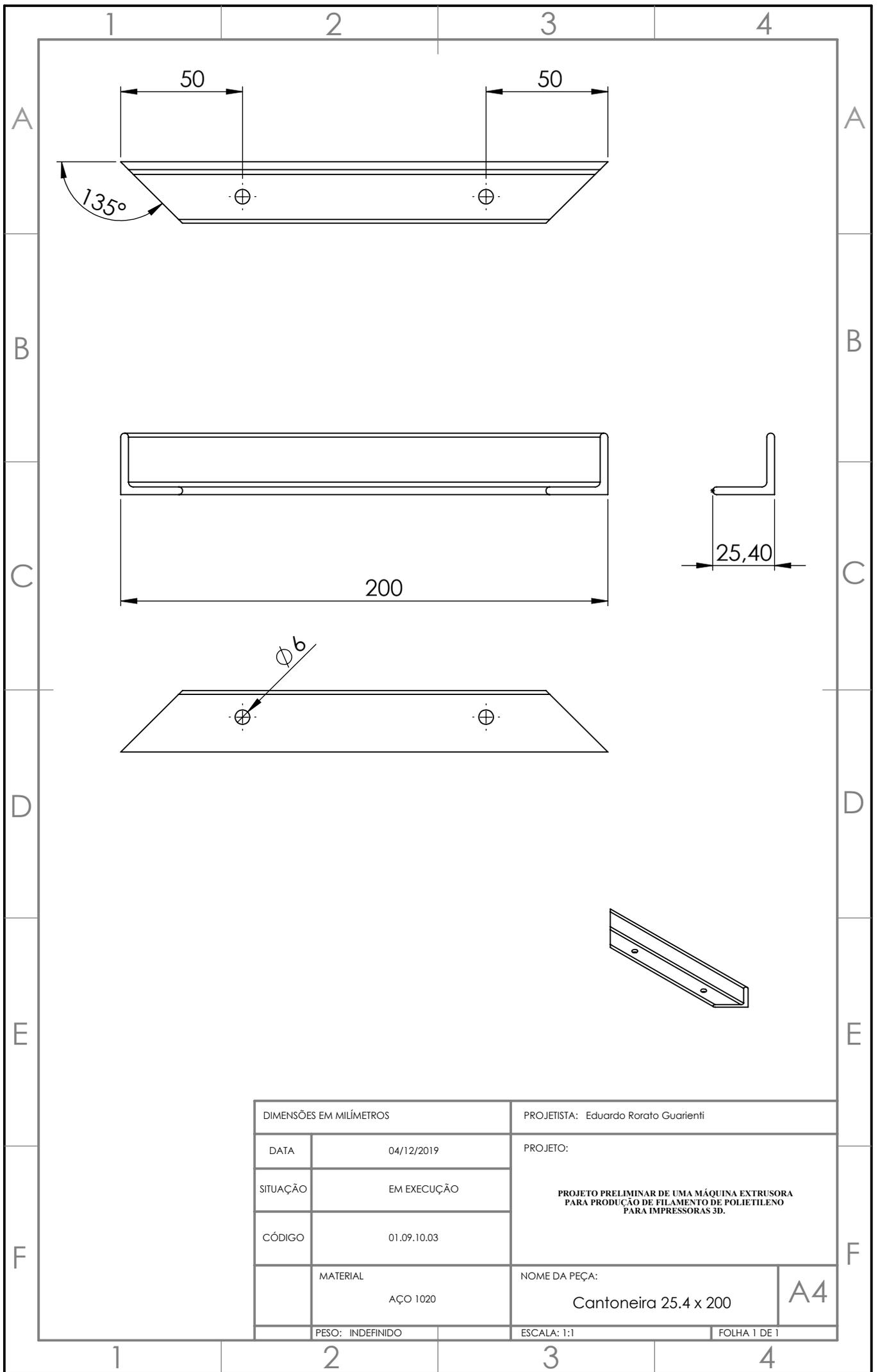




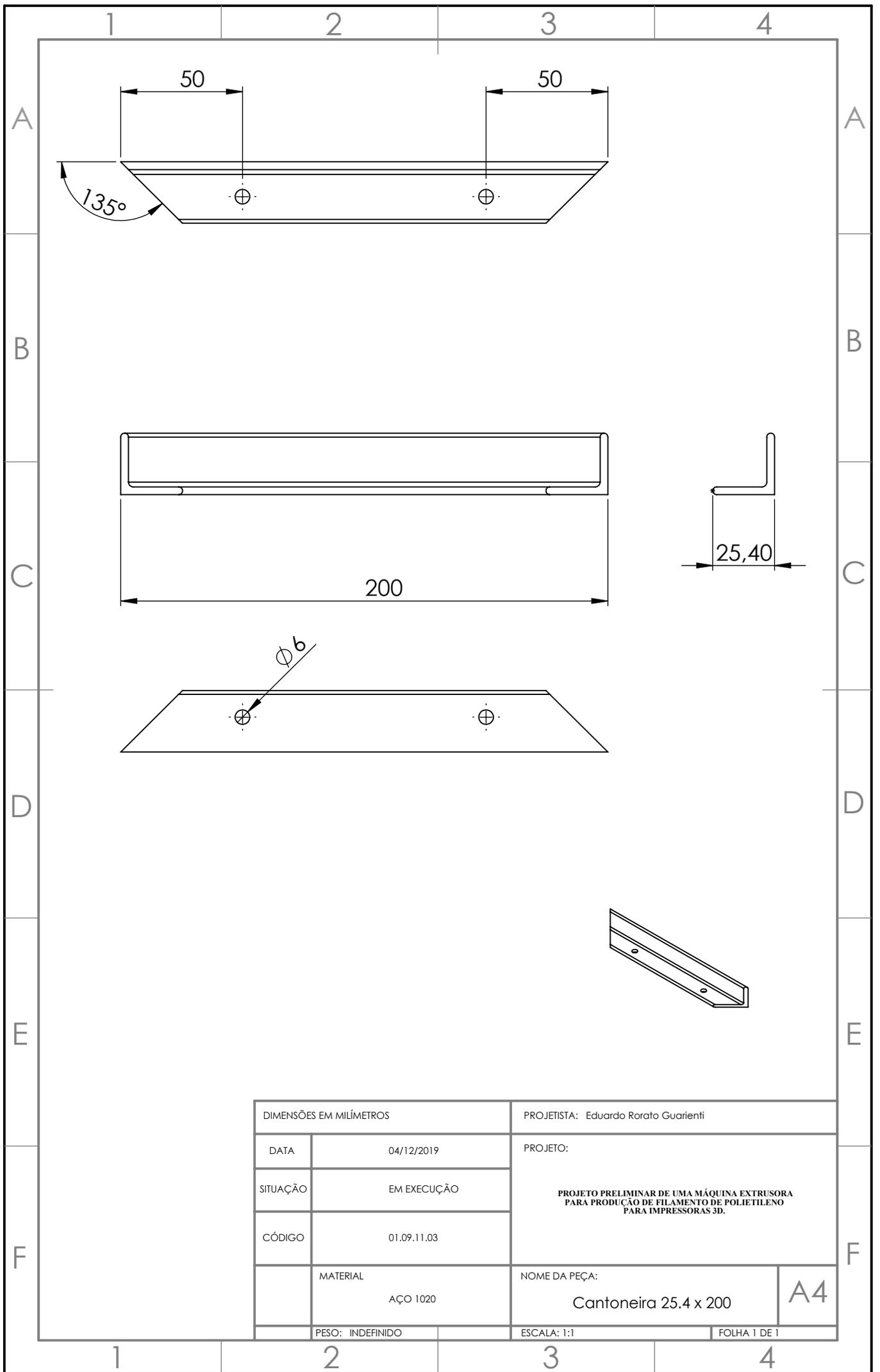
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.10.01		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 1000	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA: 1 DE 1



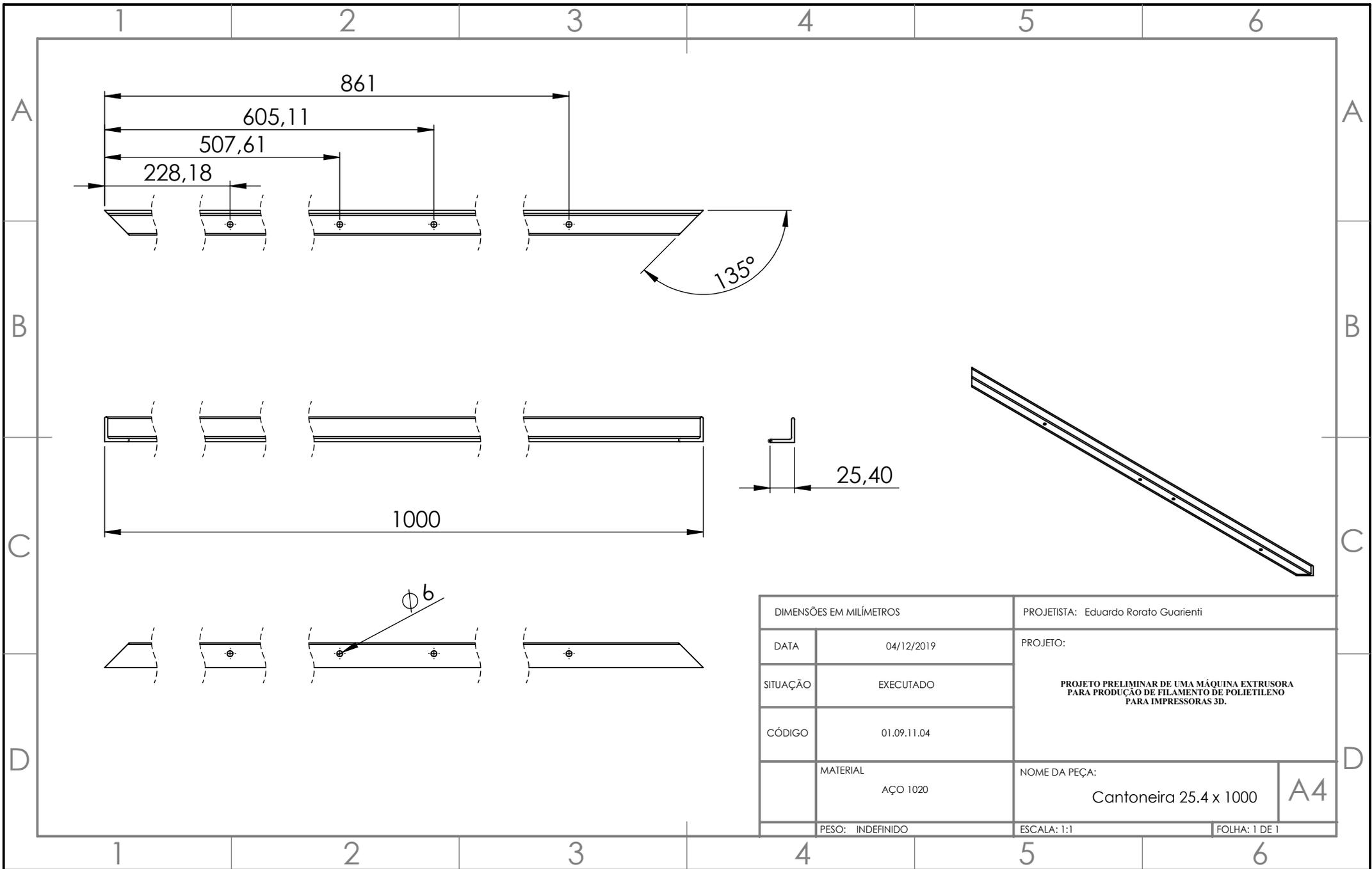
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.10.02		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Cantoneira 25.4 x 1000	
		FOLHA: 1 DE 1	



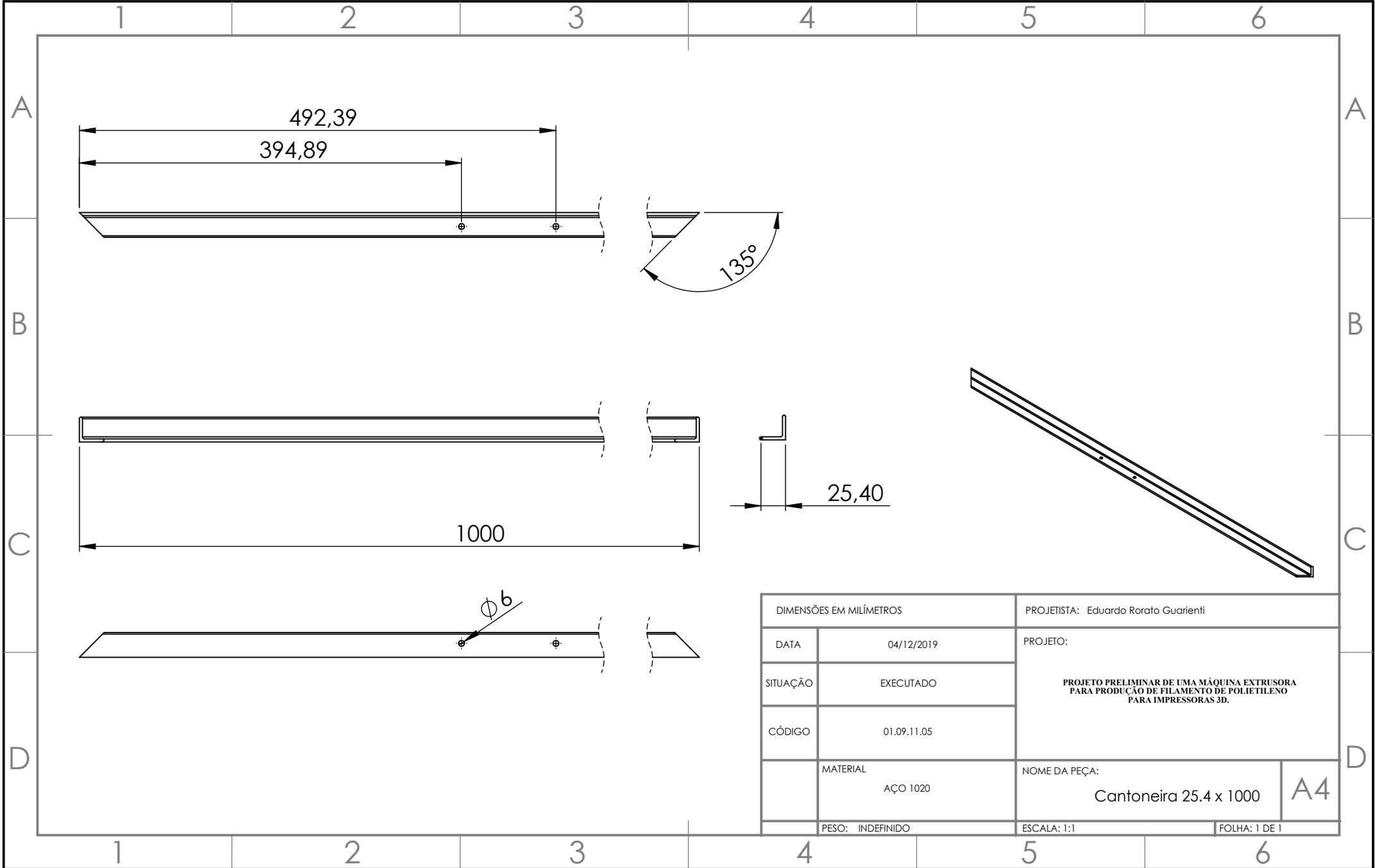
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EM EXECUÇÃO		
CÓDIGO	01.09.10.03		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 200	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



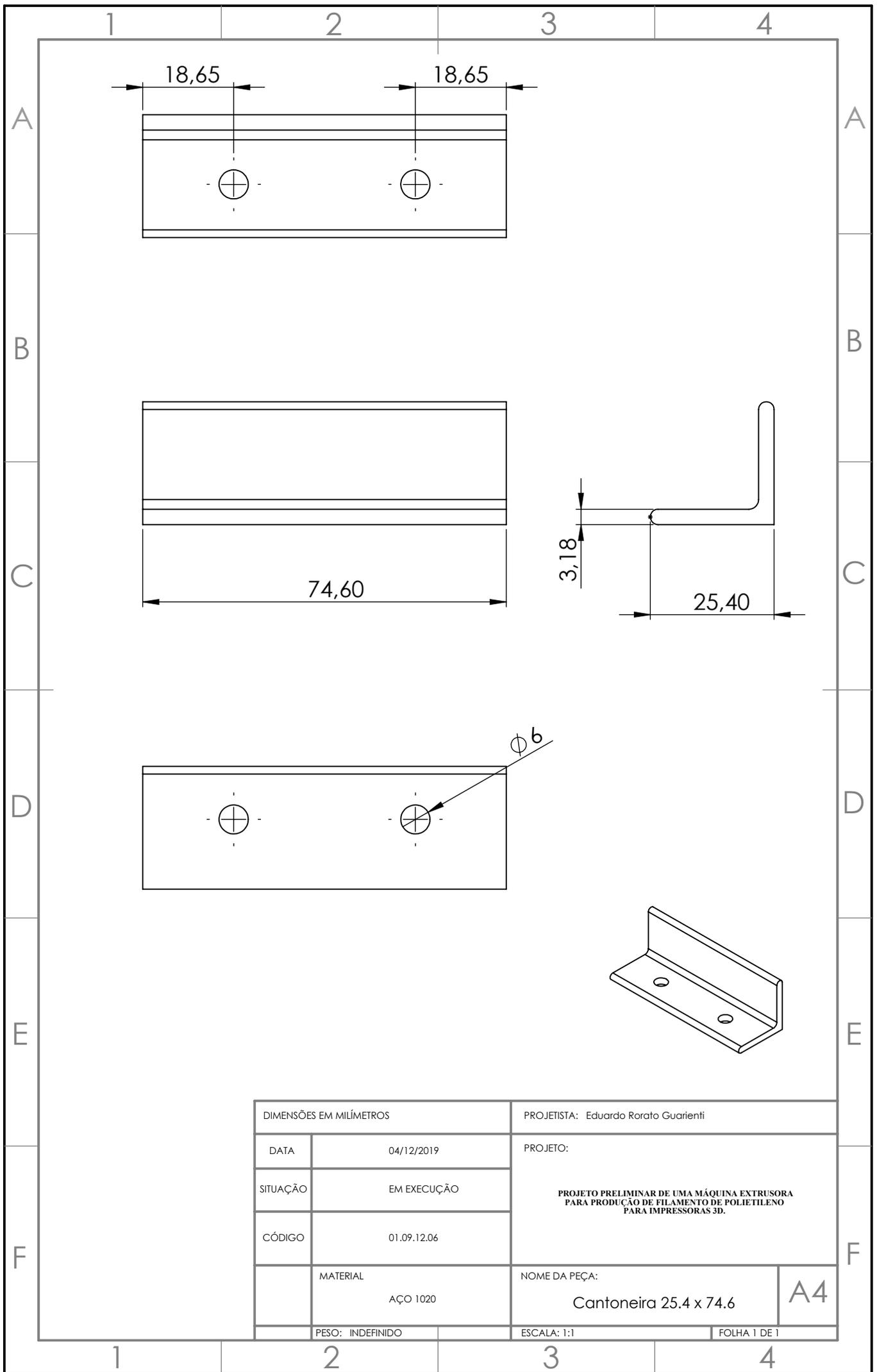
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EM EXECUÇÃO		
CÓDIGO	01.09.11.03		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 200	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



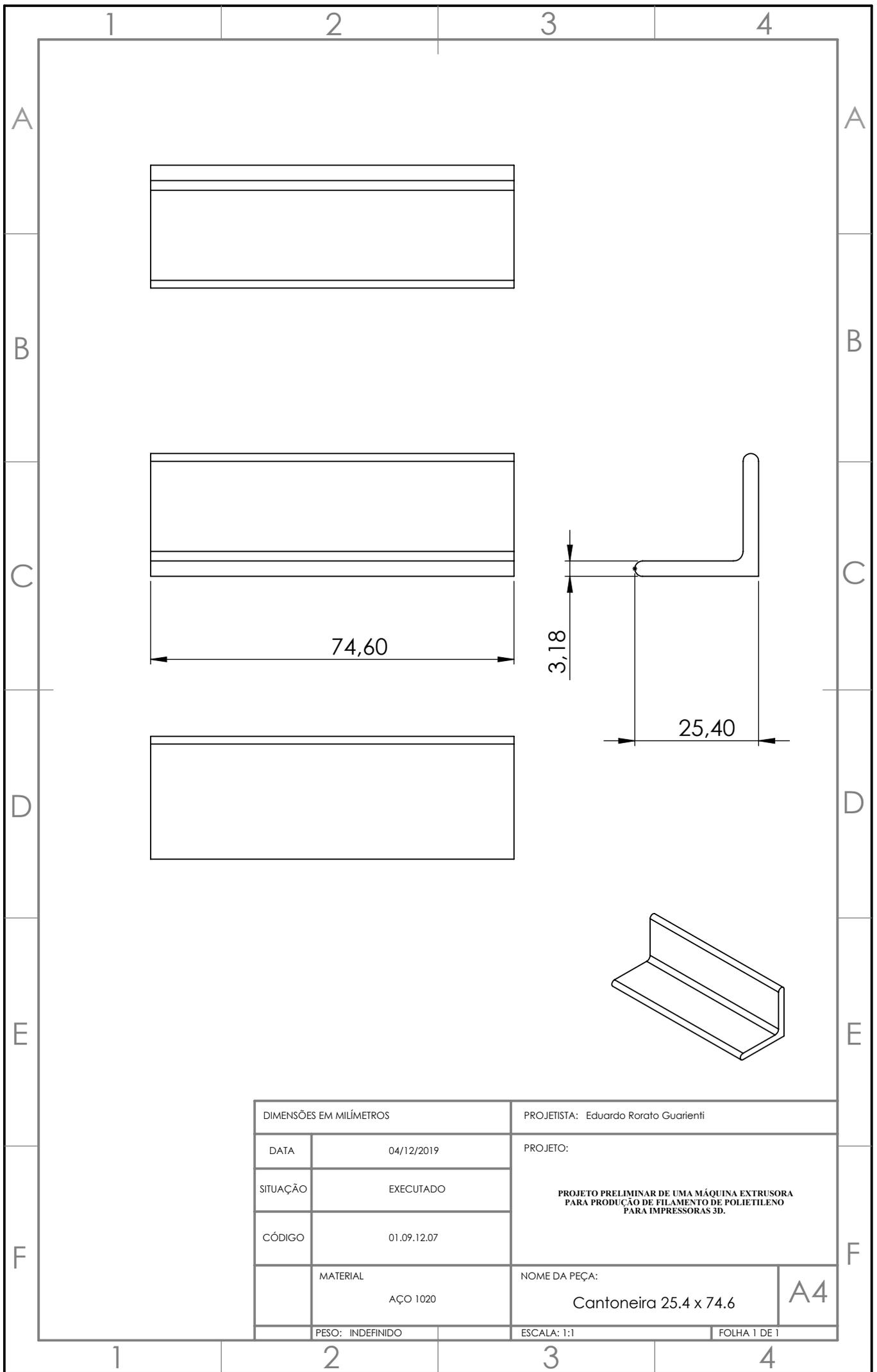
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.11.04		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Cantoneira 25.4 x 1000	
		FOLHA: 1 DE 1	

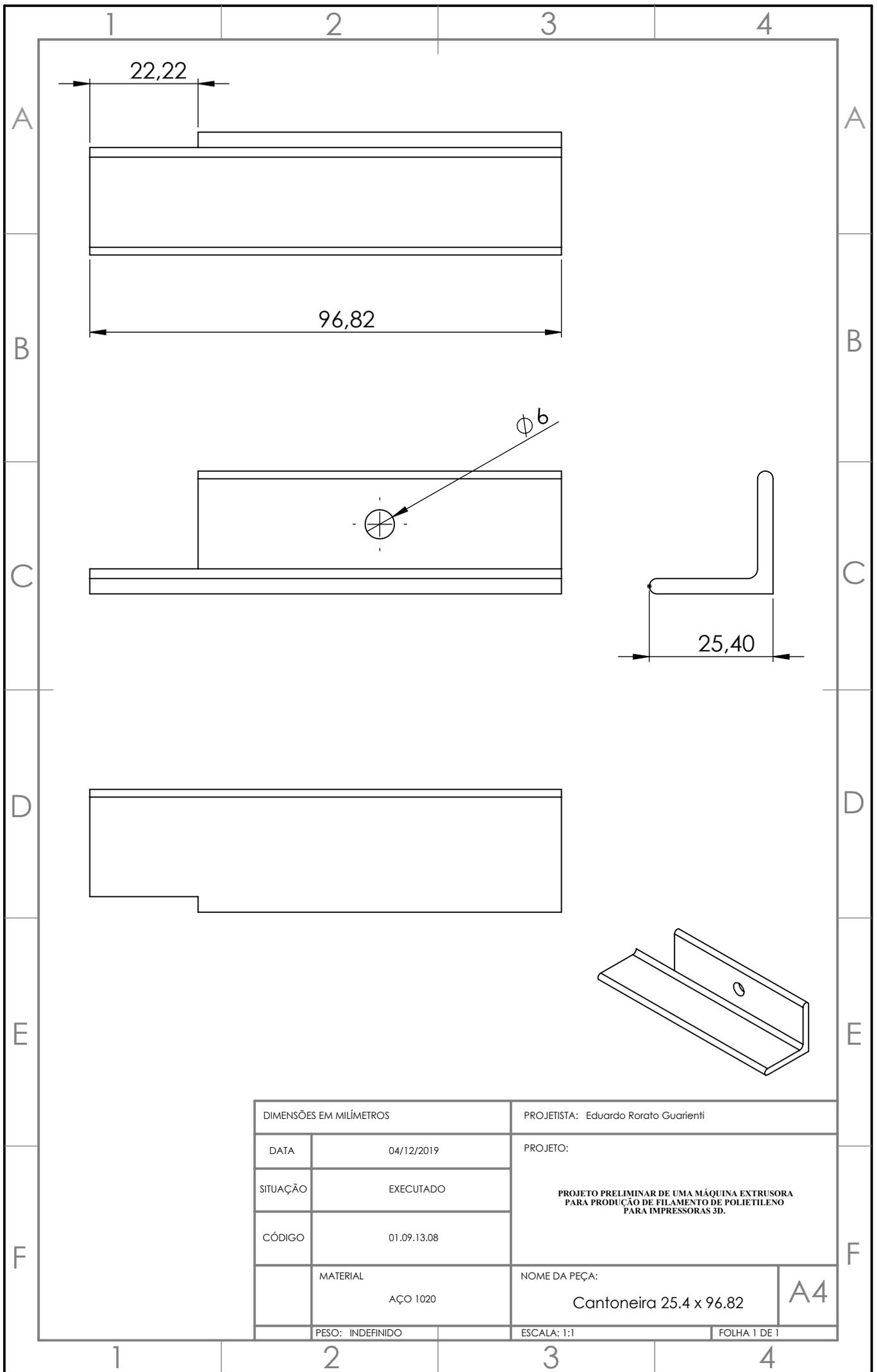


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.11.05		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Cantoneira 25.4 x 1000	
		FOLHA: 1 DE 1	

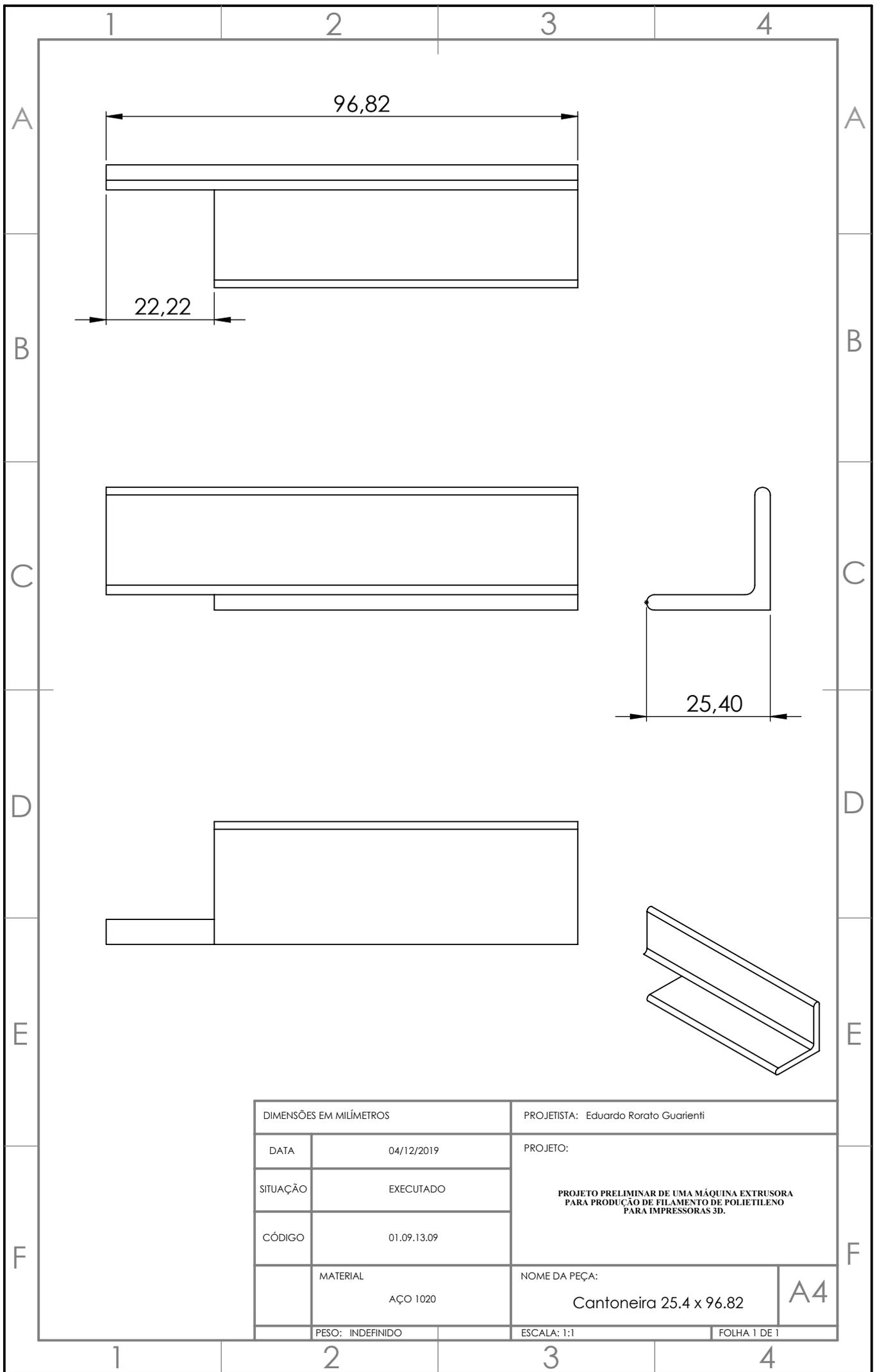


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EM EXECUÇÃO		
CÓDIGO	01.09.12.06		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 74.6	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

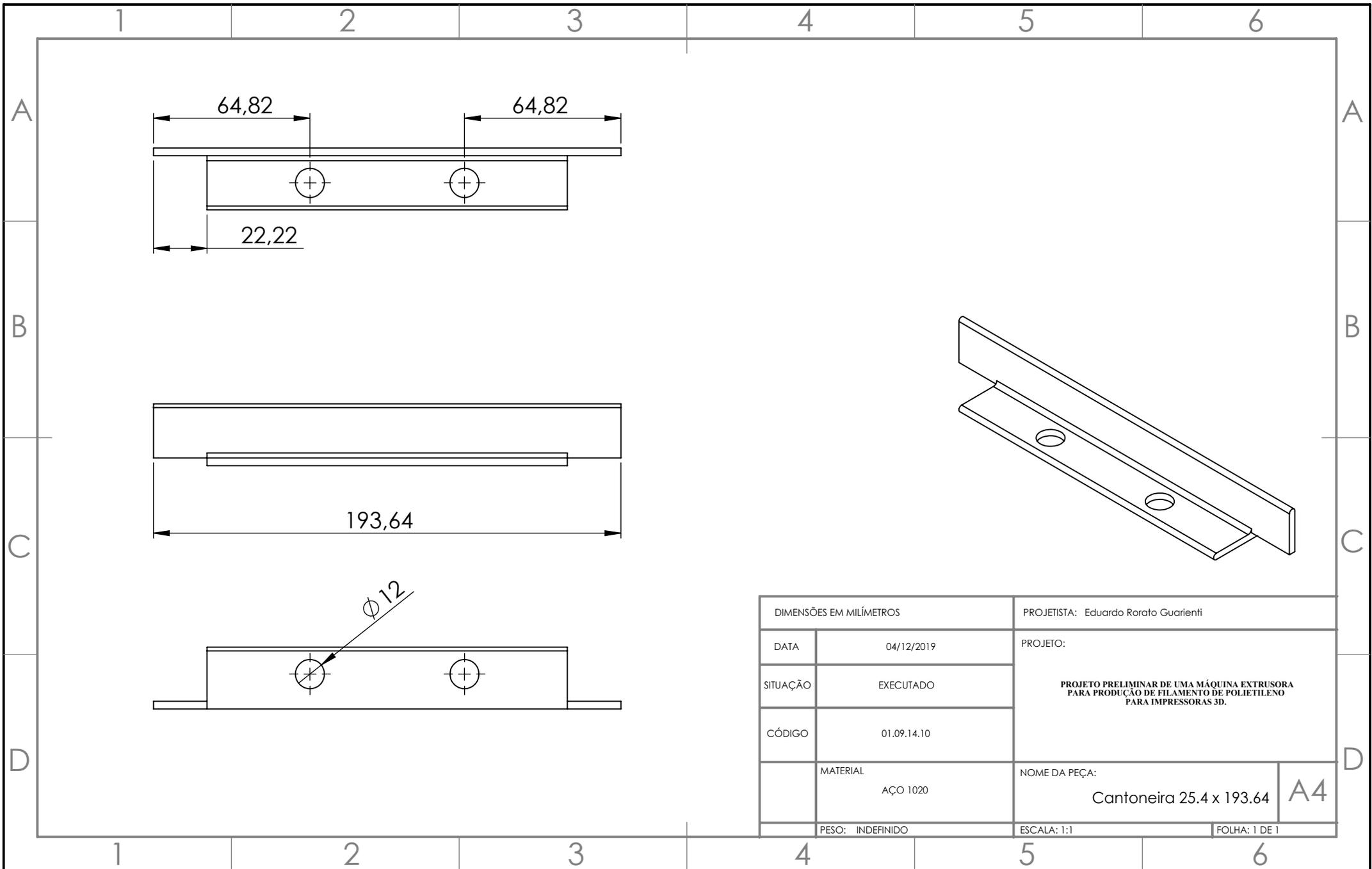




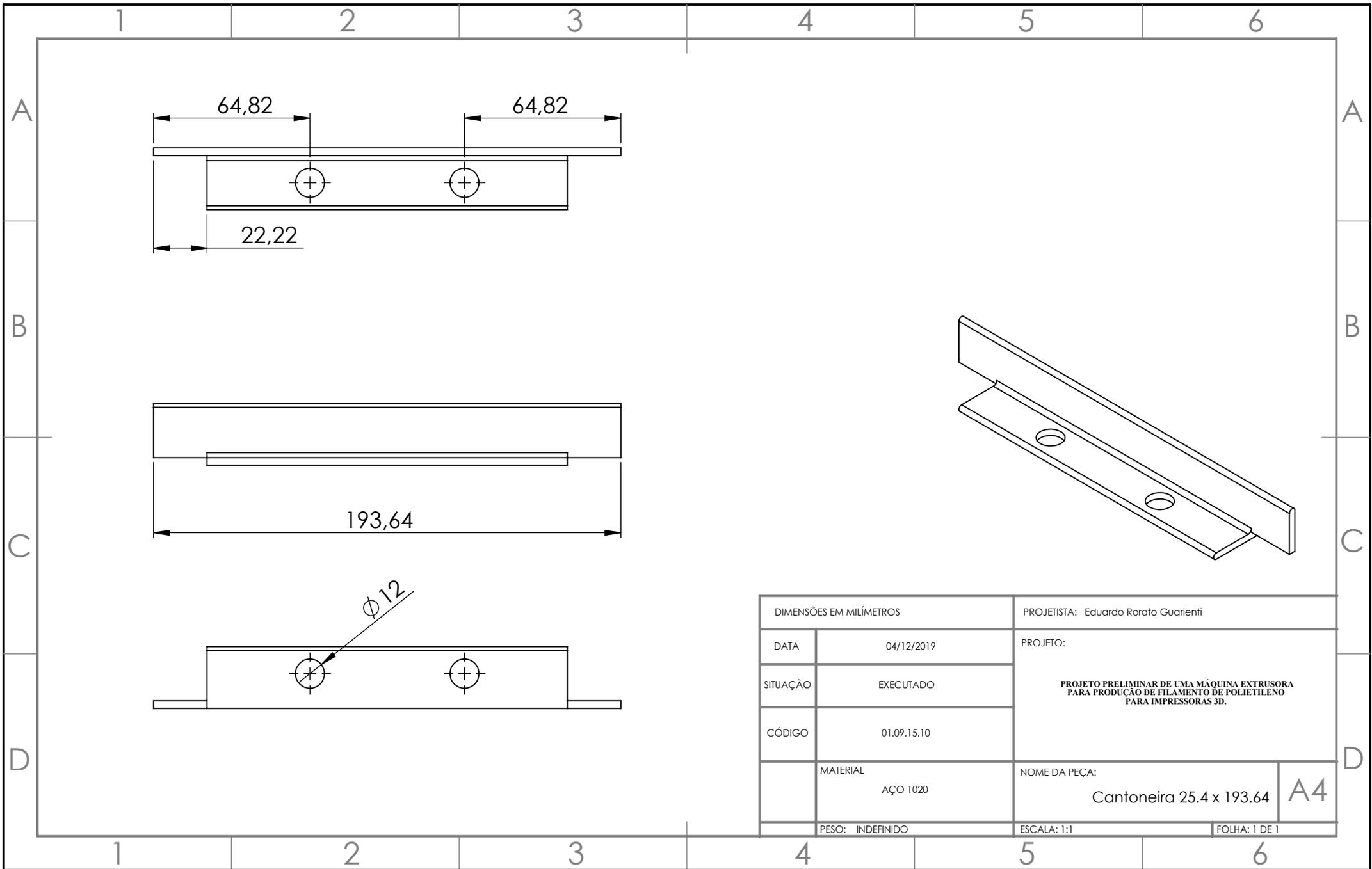
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.13.08		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 96.82	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.13.09		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 96.82	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.14.10		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Cantoneira 25.4 x 193.64	
		FOLHA: 1 DE 1	

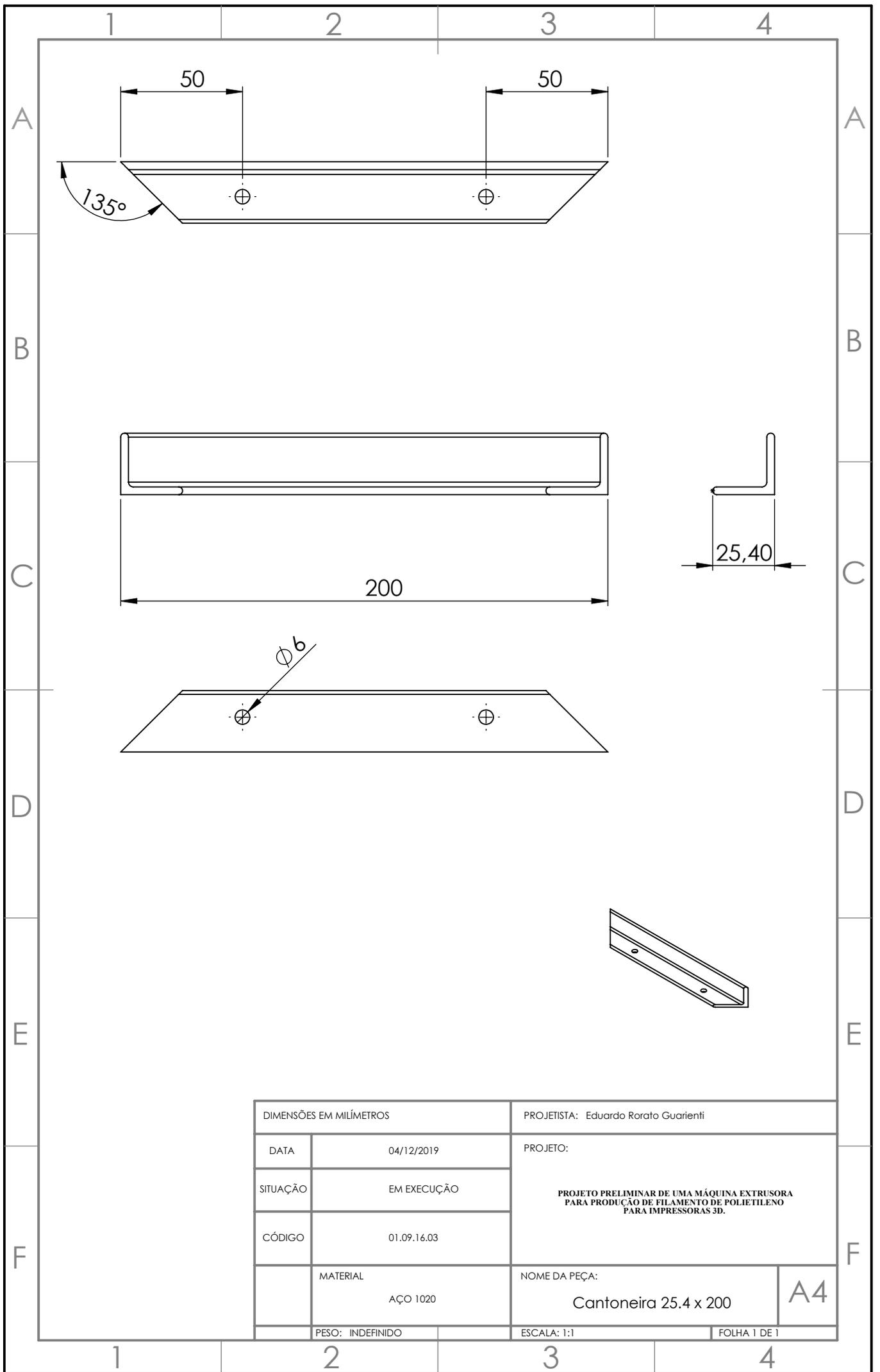


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO:	
SITUAÇÃO	EXECUTADO	PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
CÓDIGO	01.09.15.10		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	FOLHA: 1 DE 1	

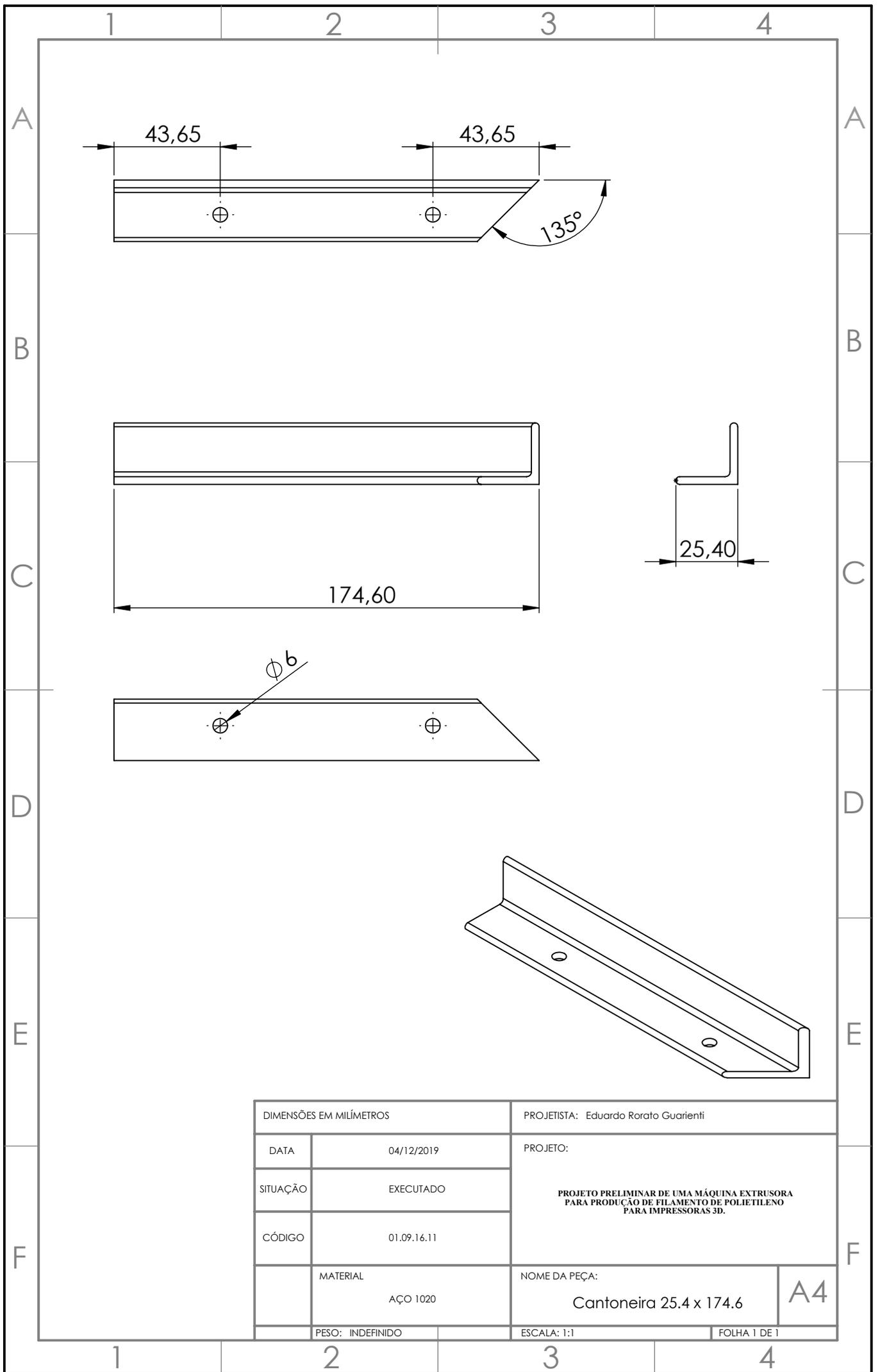
**PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA
 PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO
 PARA IMPRESSORAS 3D.**

Cantoneira 25.4 x 193.64

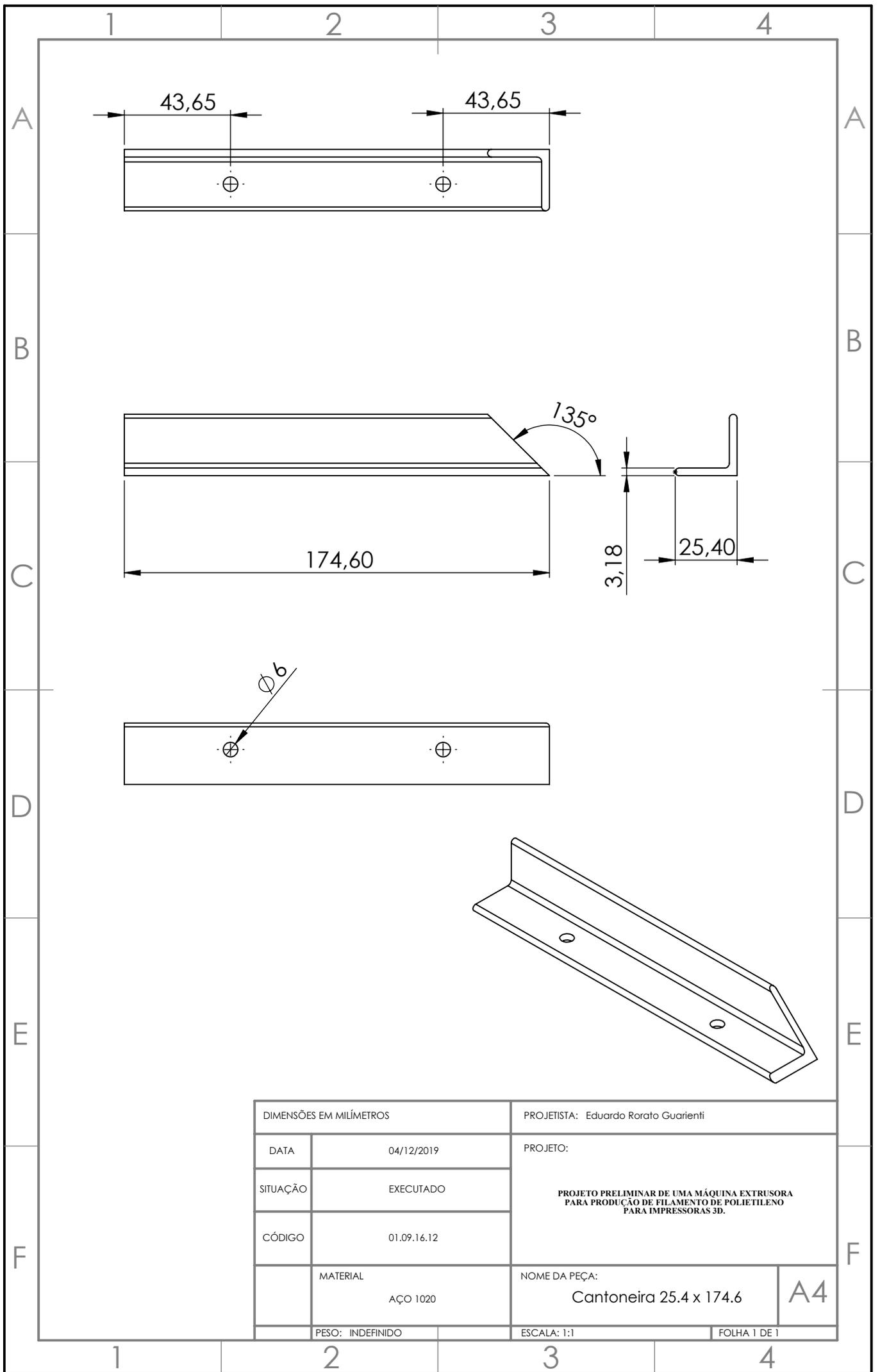
A4



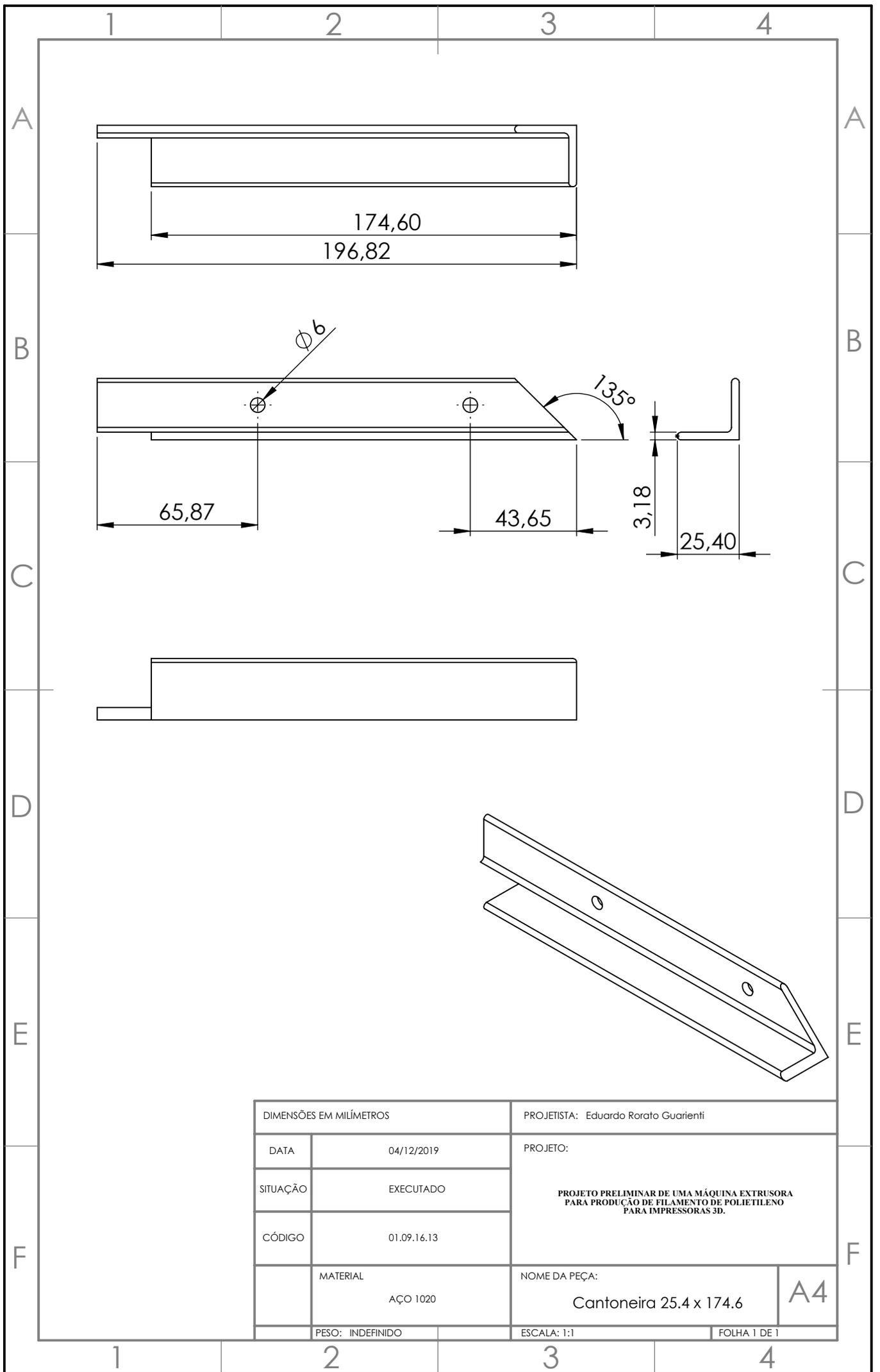
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EM EXECUÇÃO		
CÓDIGO	01.09.16.03		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 200	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



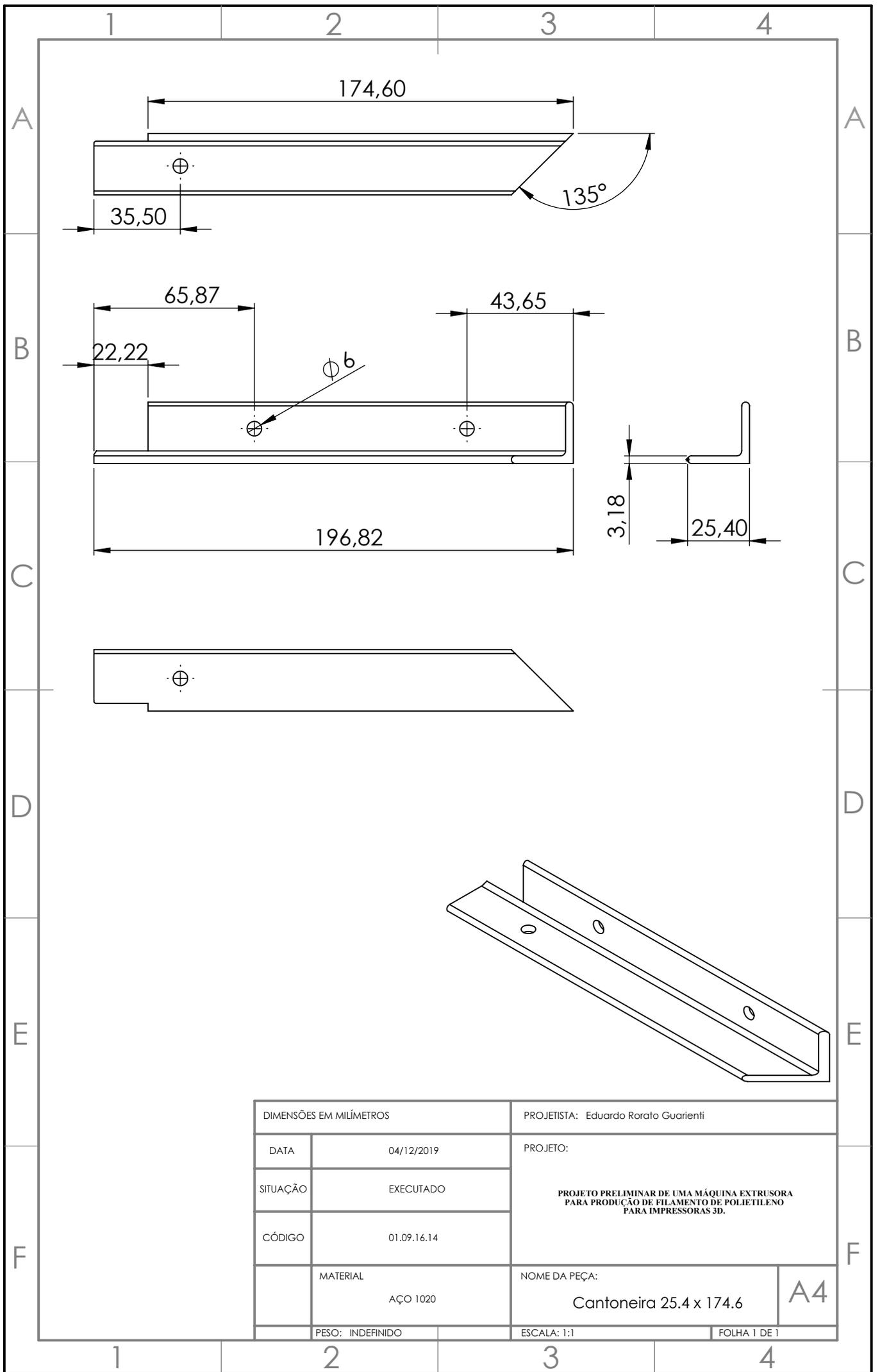
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.11		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 174.6	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.12		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 174.6	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

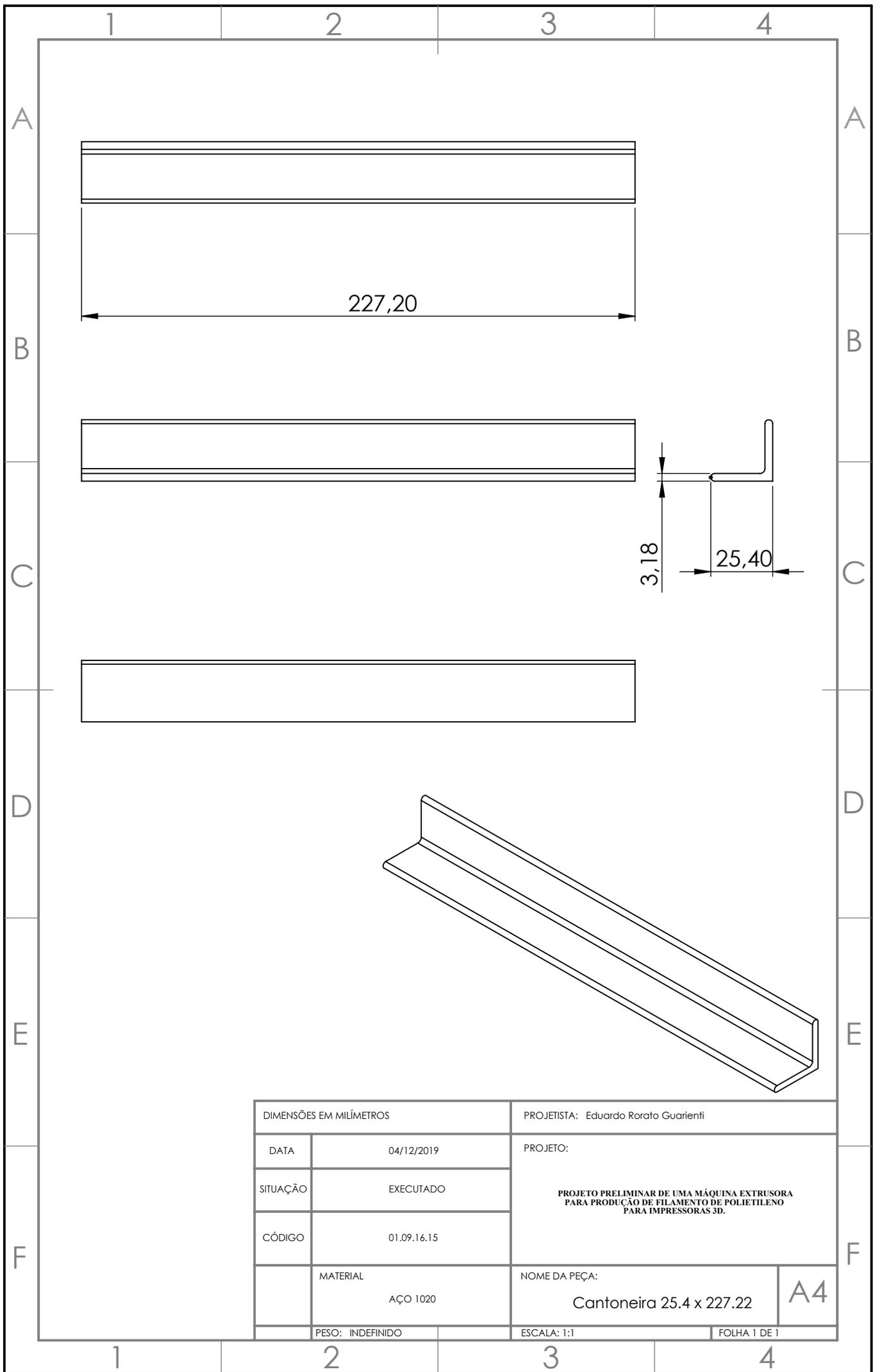


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.13		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 174.6	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



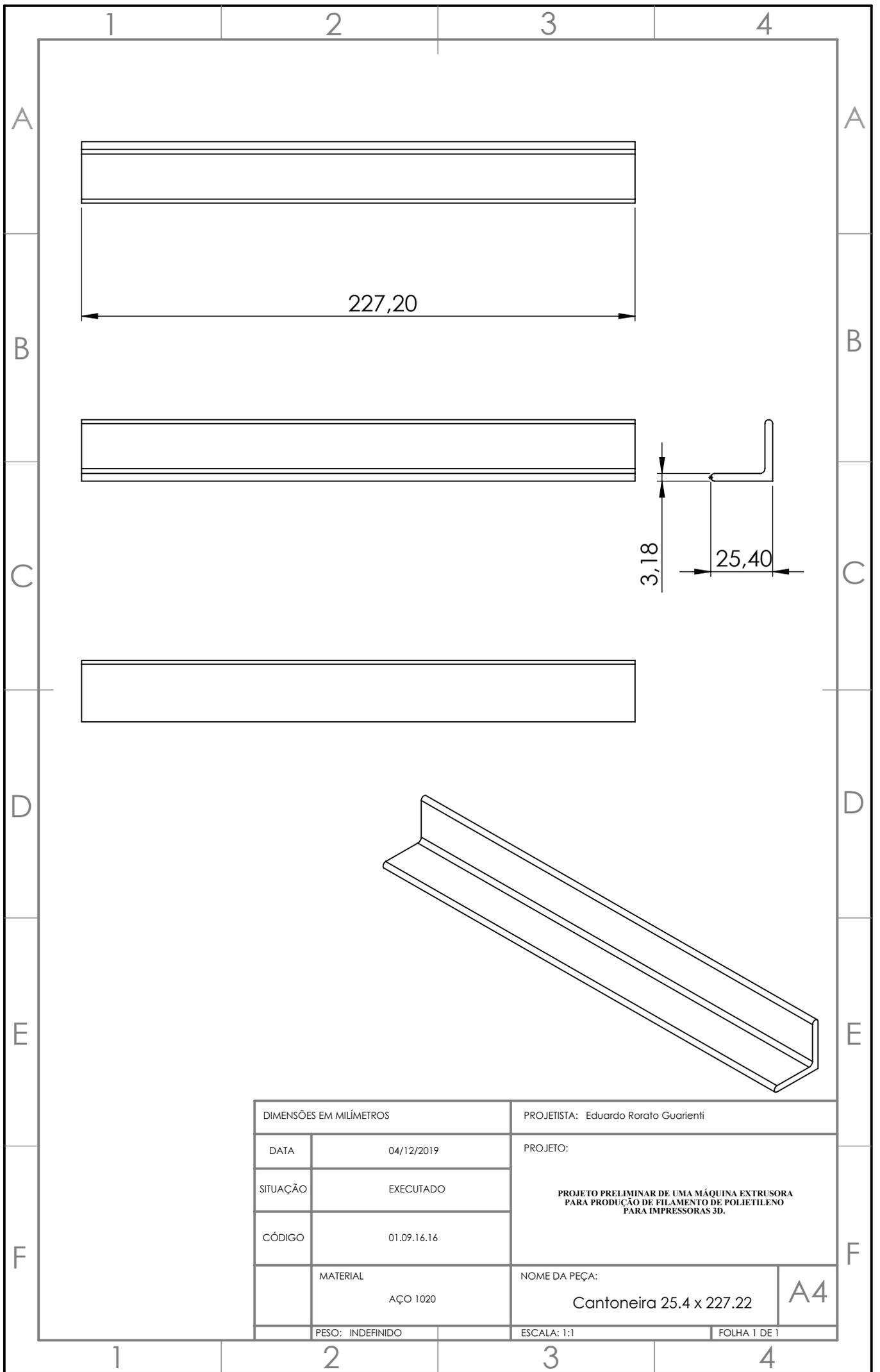
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.14		
	MATERIAL	NOME DA PEÇA:	
	AÇO 1020	Cantoneira 25.4 x 174.6	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

A4

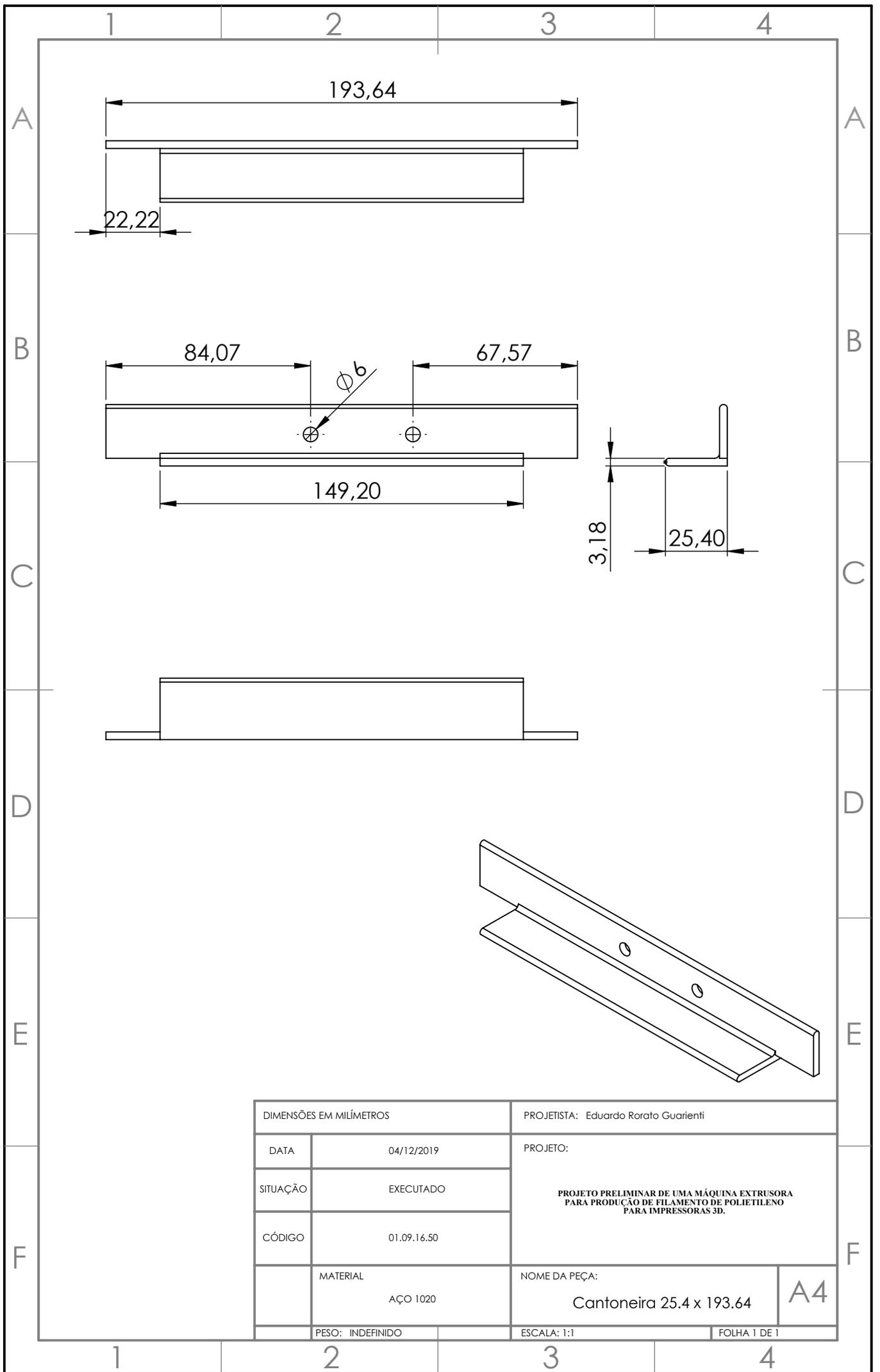


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.15		
	MATERIAL	NOME DA PEÇA:	
	AÇO 1020	Cantoneira 25.4 x 227.22	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

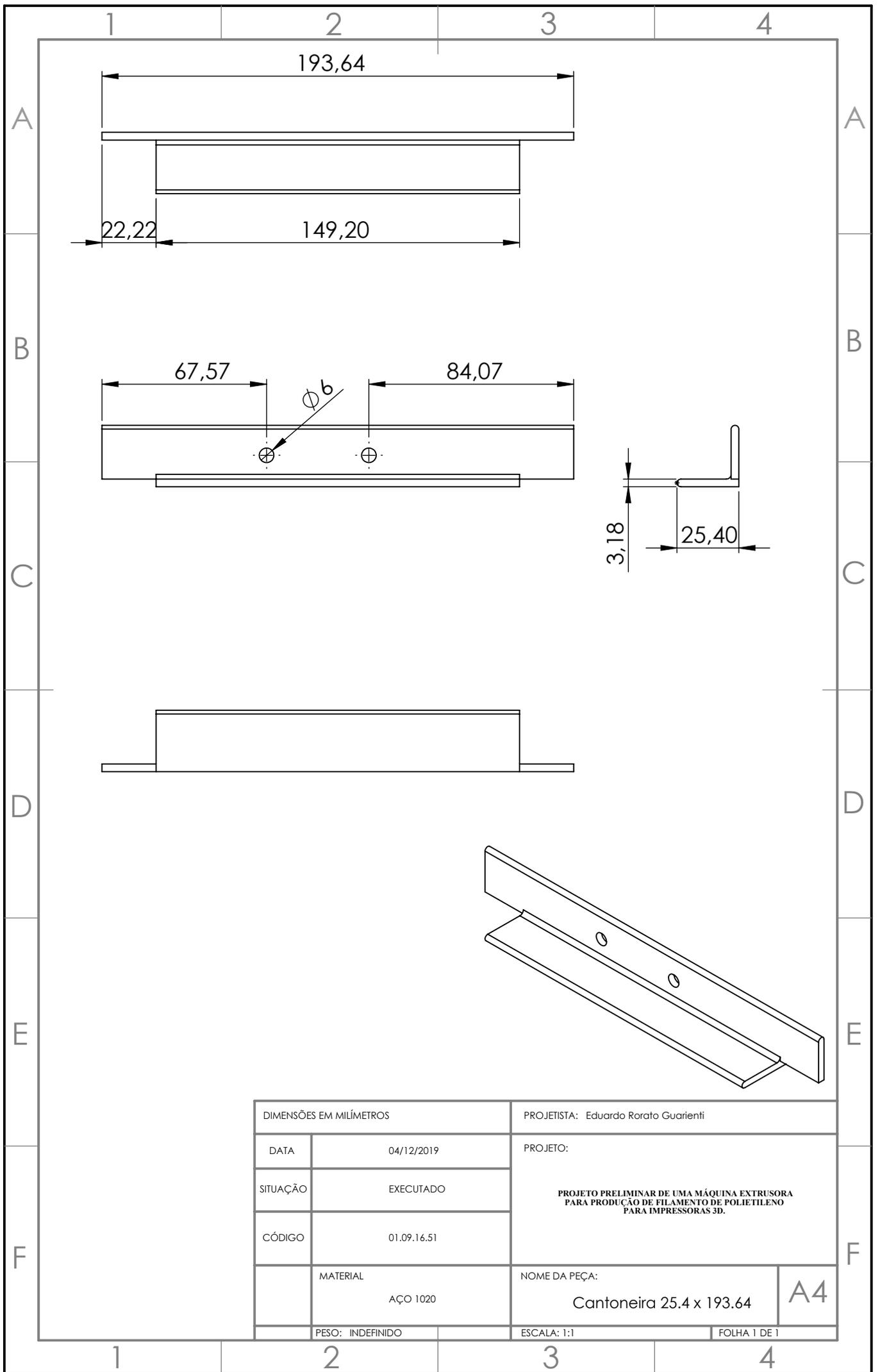
A4



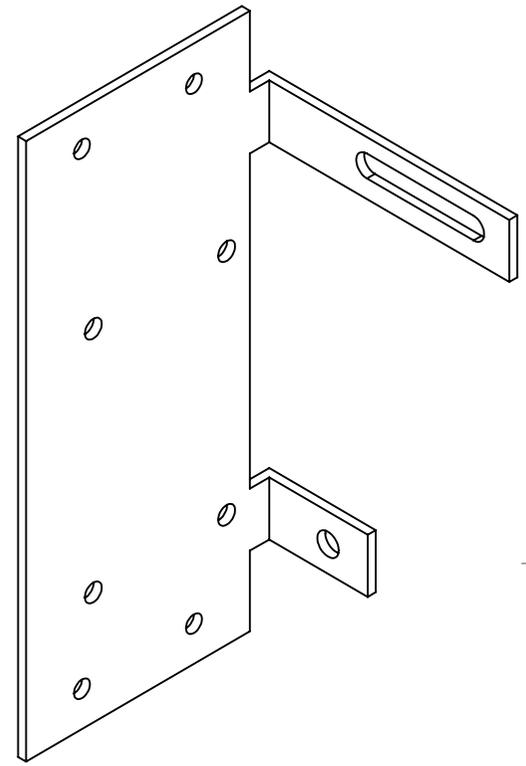
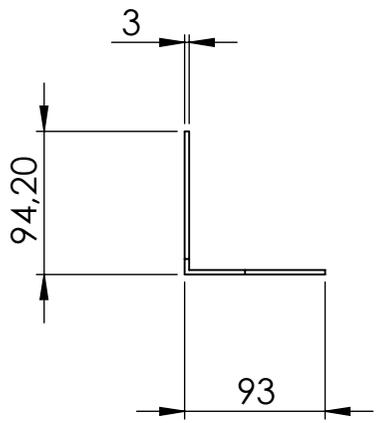
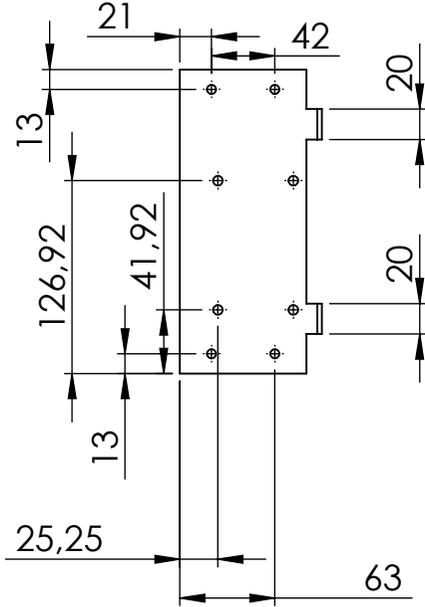
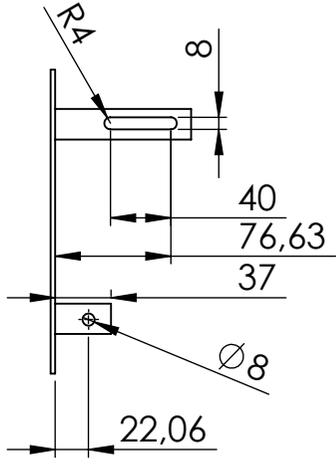
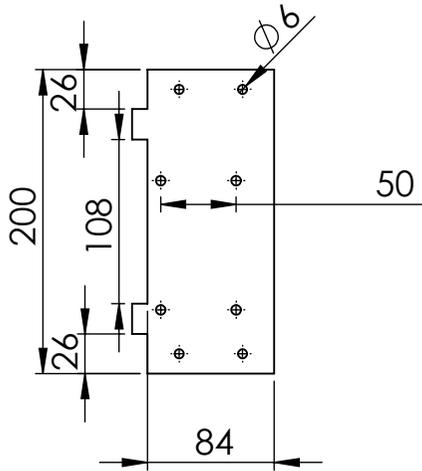
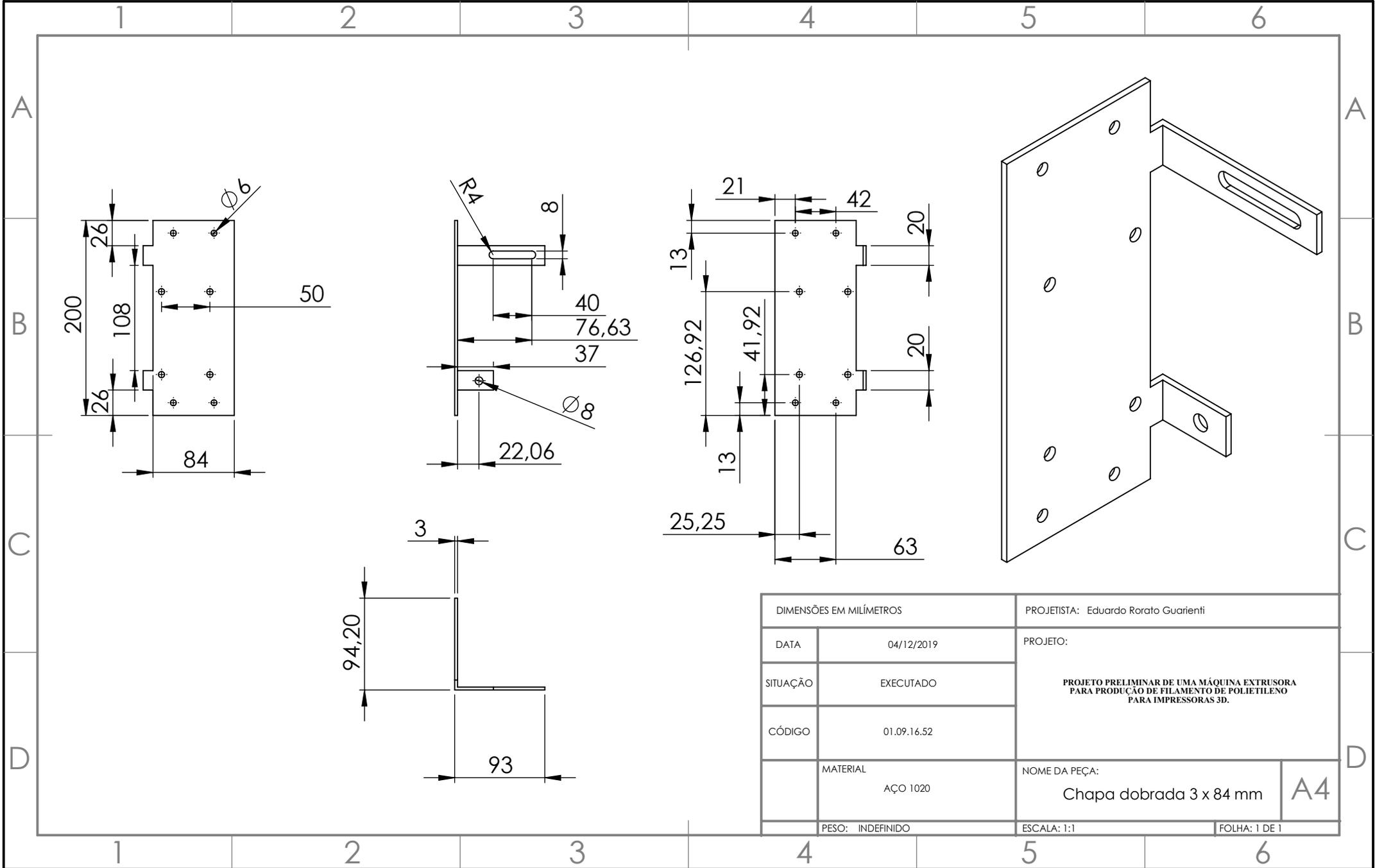
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.16		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 227.22	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



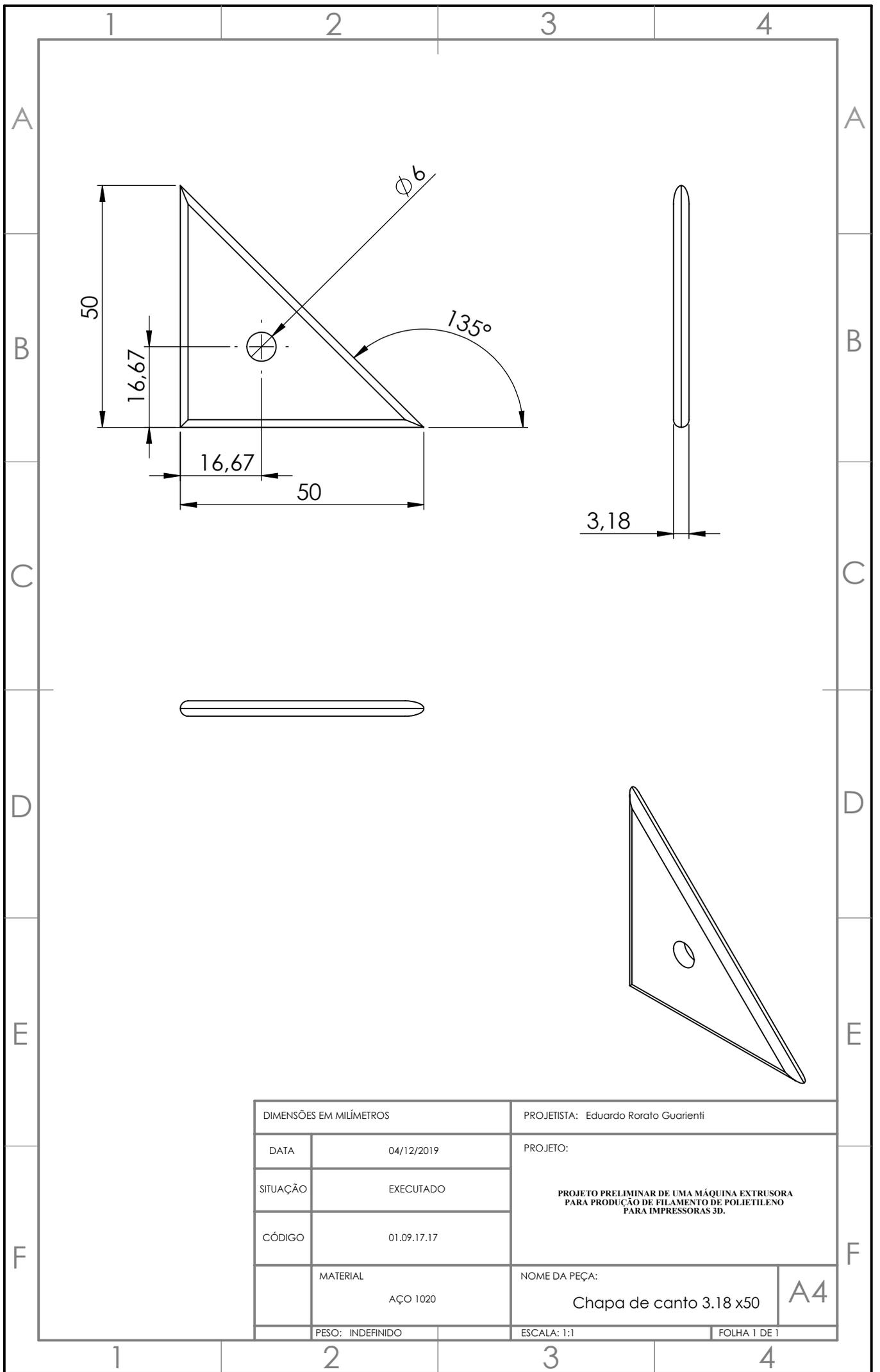
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.50		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 193.64	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



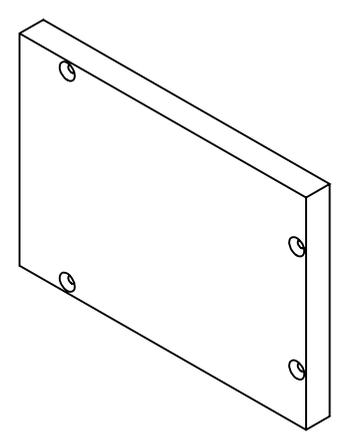
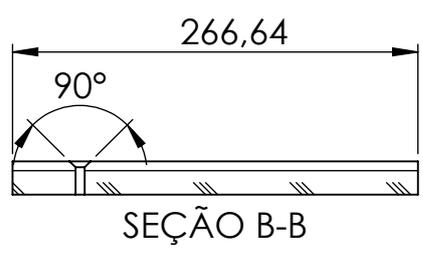
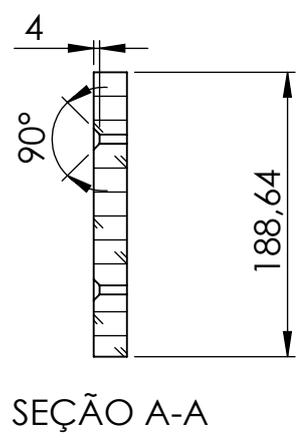
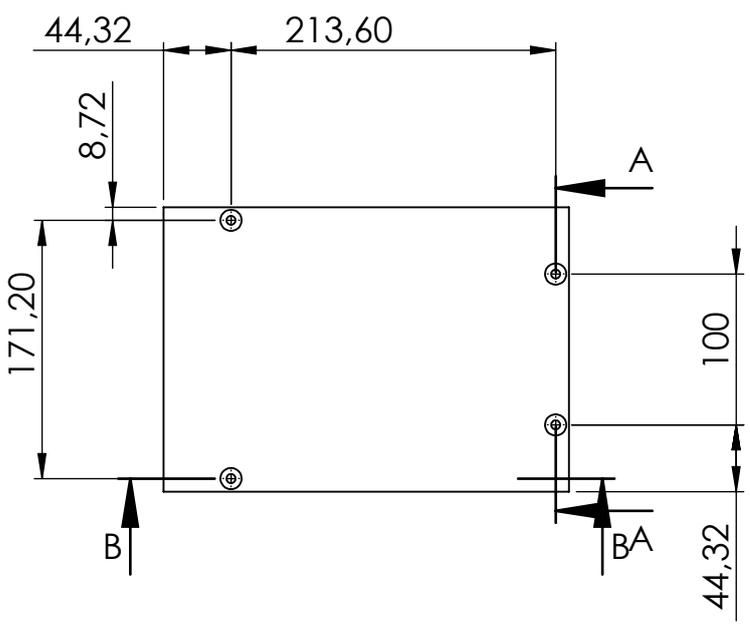
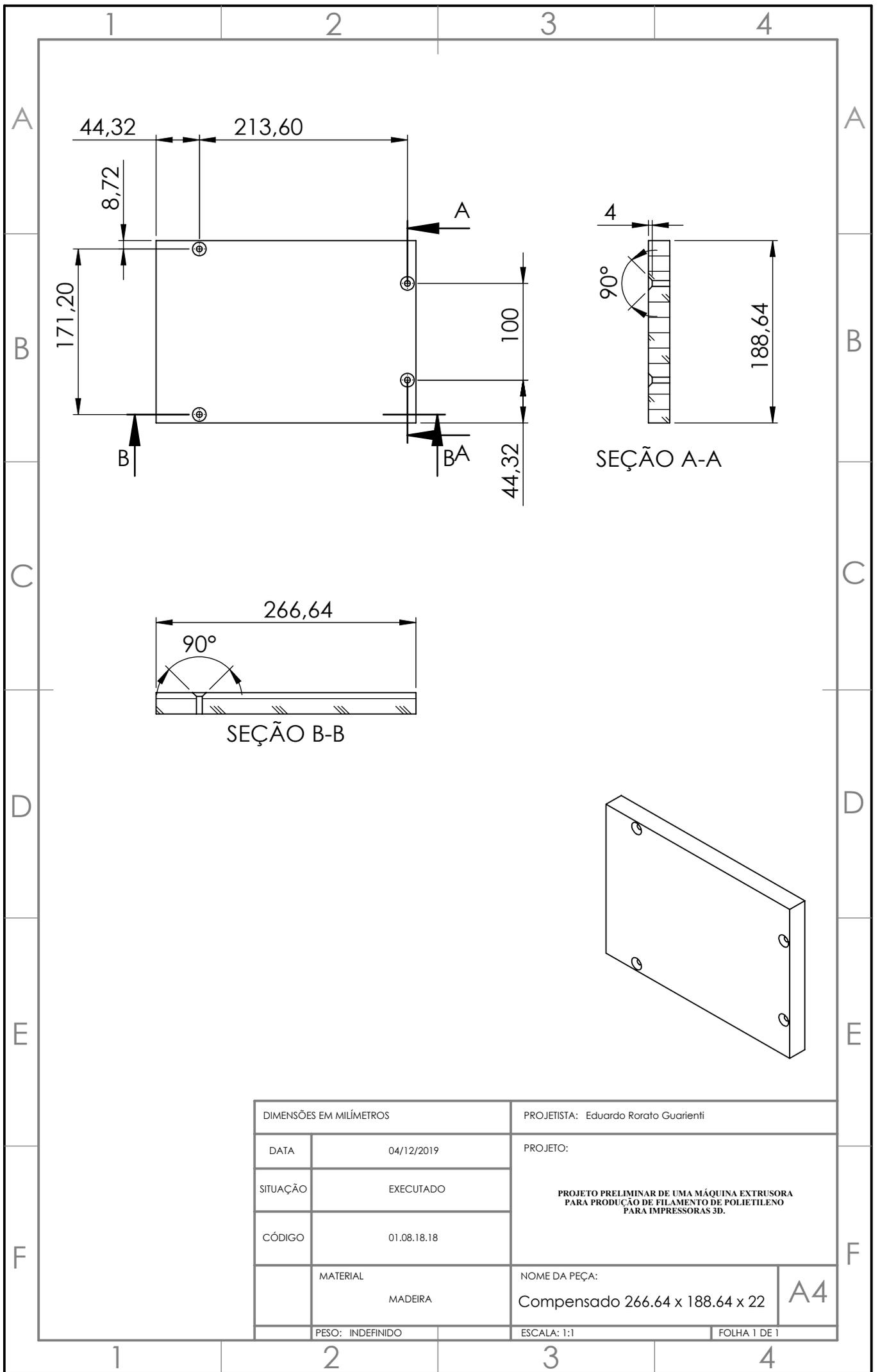
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.51		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Cantoneira 25.4 x 193.64	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



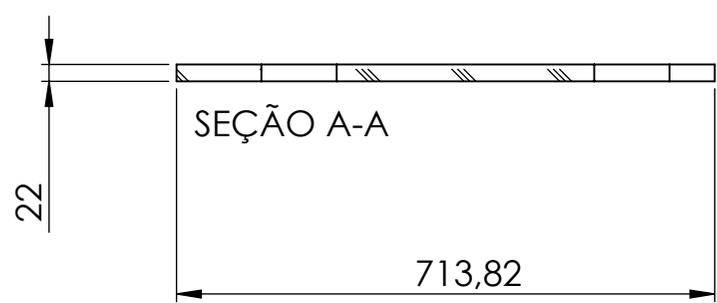
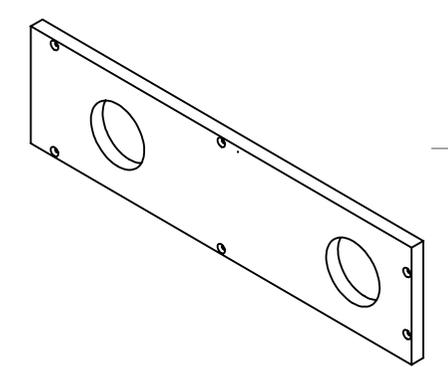
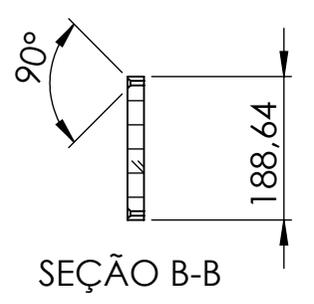
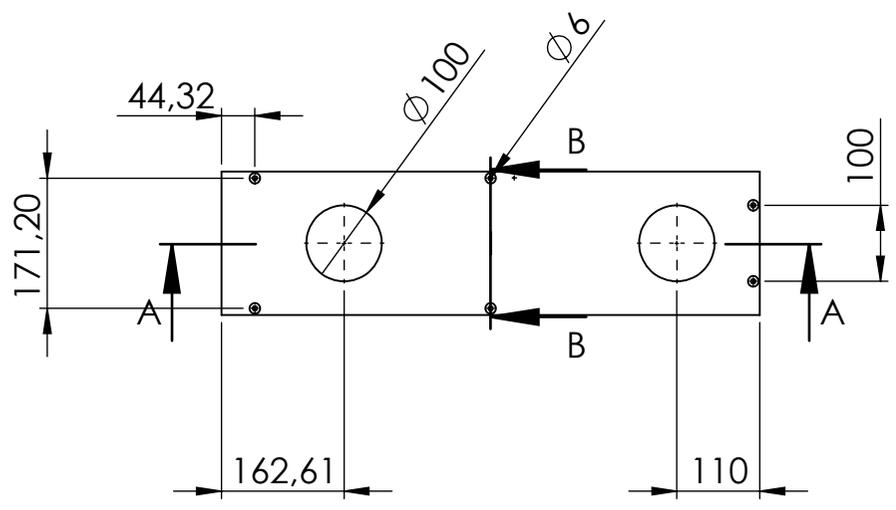
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.16.52		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Chapa dobrada 3 x 84 mm	
		FOLHA: 1 DE 1	



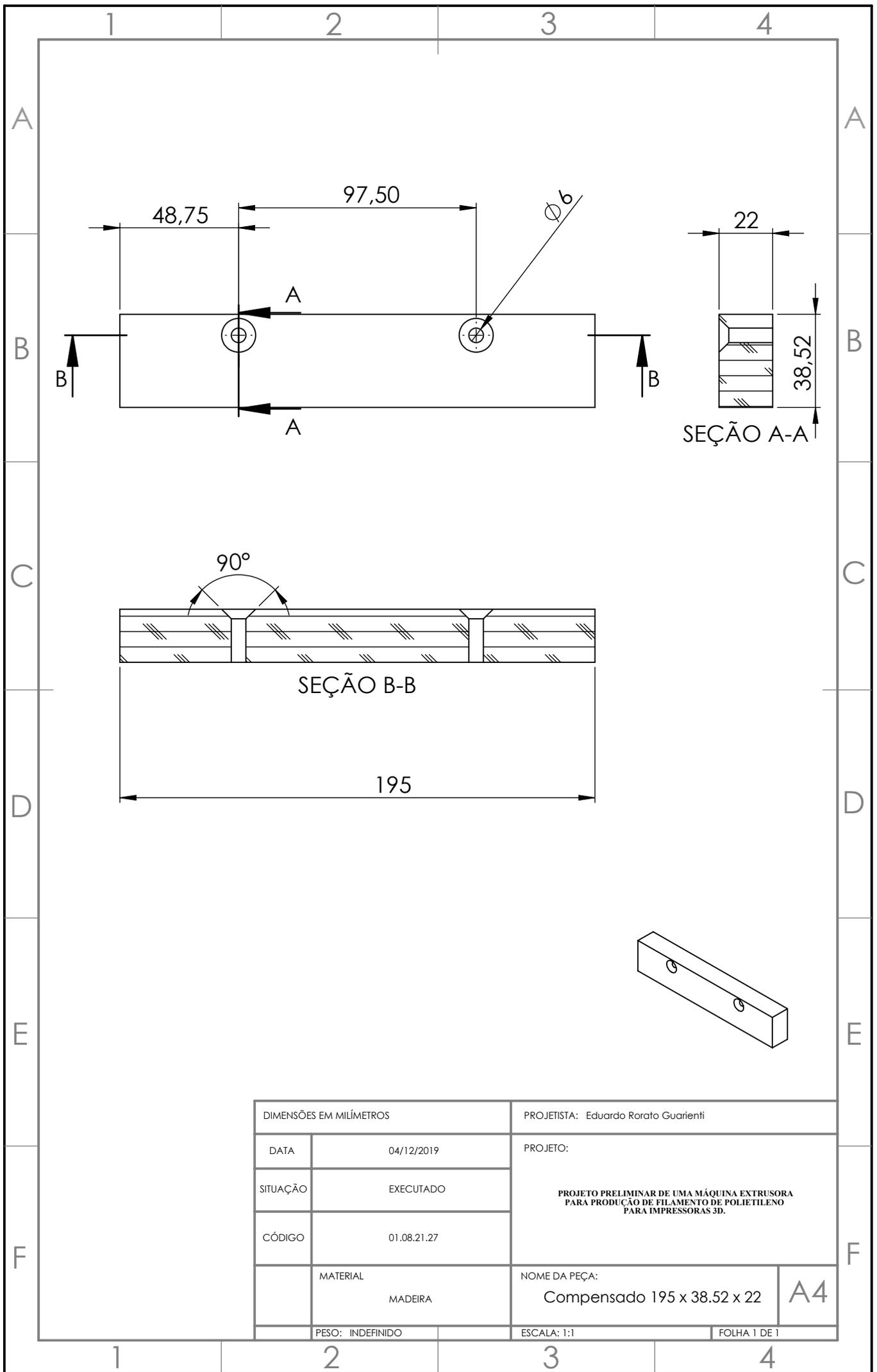
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.09.17.17		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Chapa de canto 3.18 x50	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



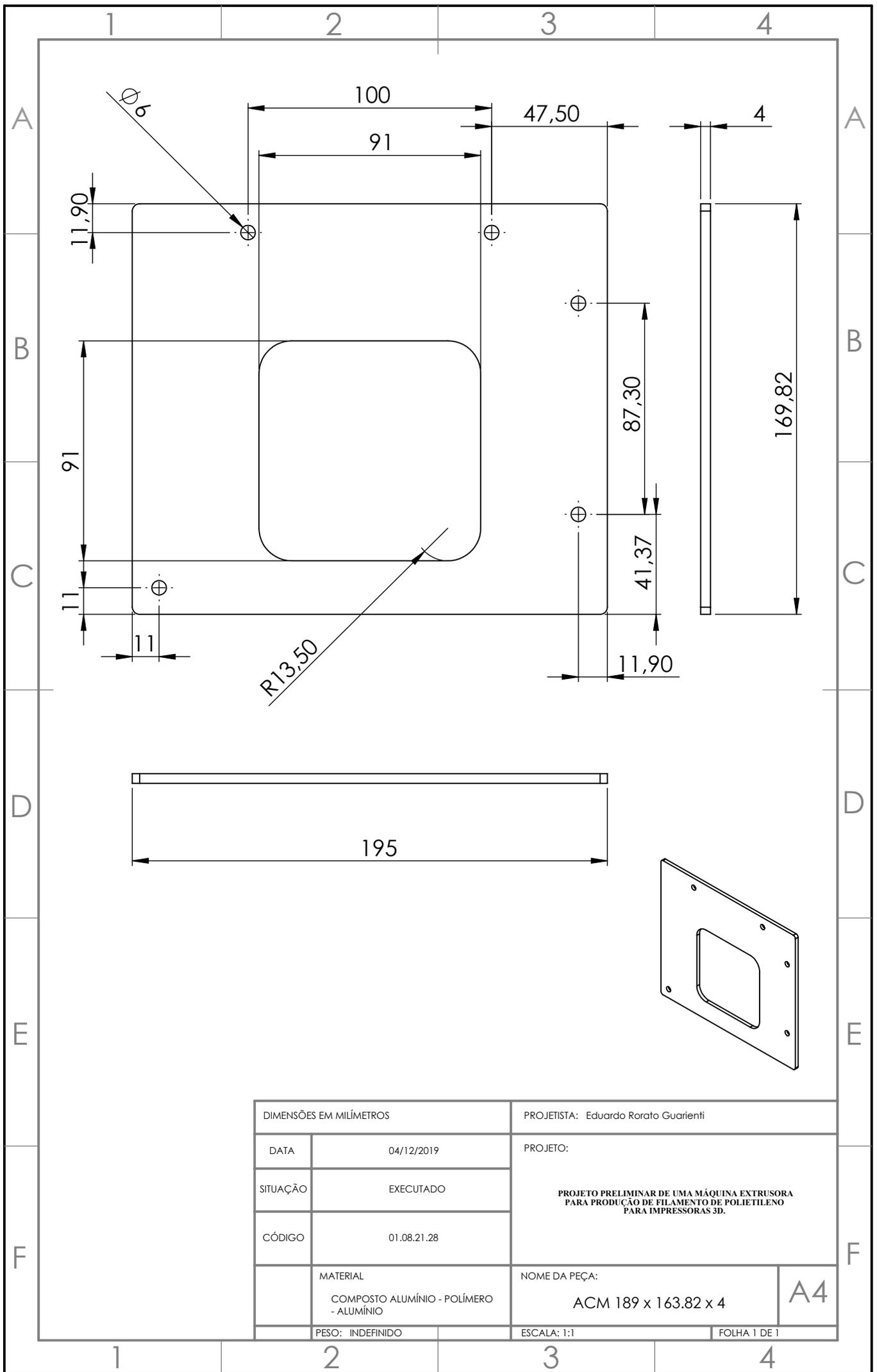
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.18.18		
MATERIAL	MADEIRA	NOME DA PEÇA:	A4
		Compensado 266.64 x 188.64 x 22	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



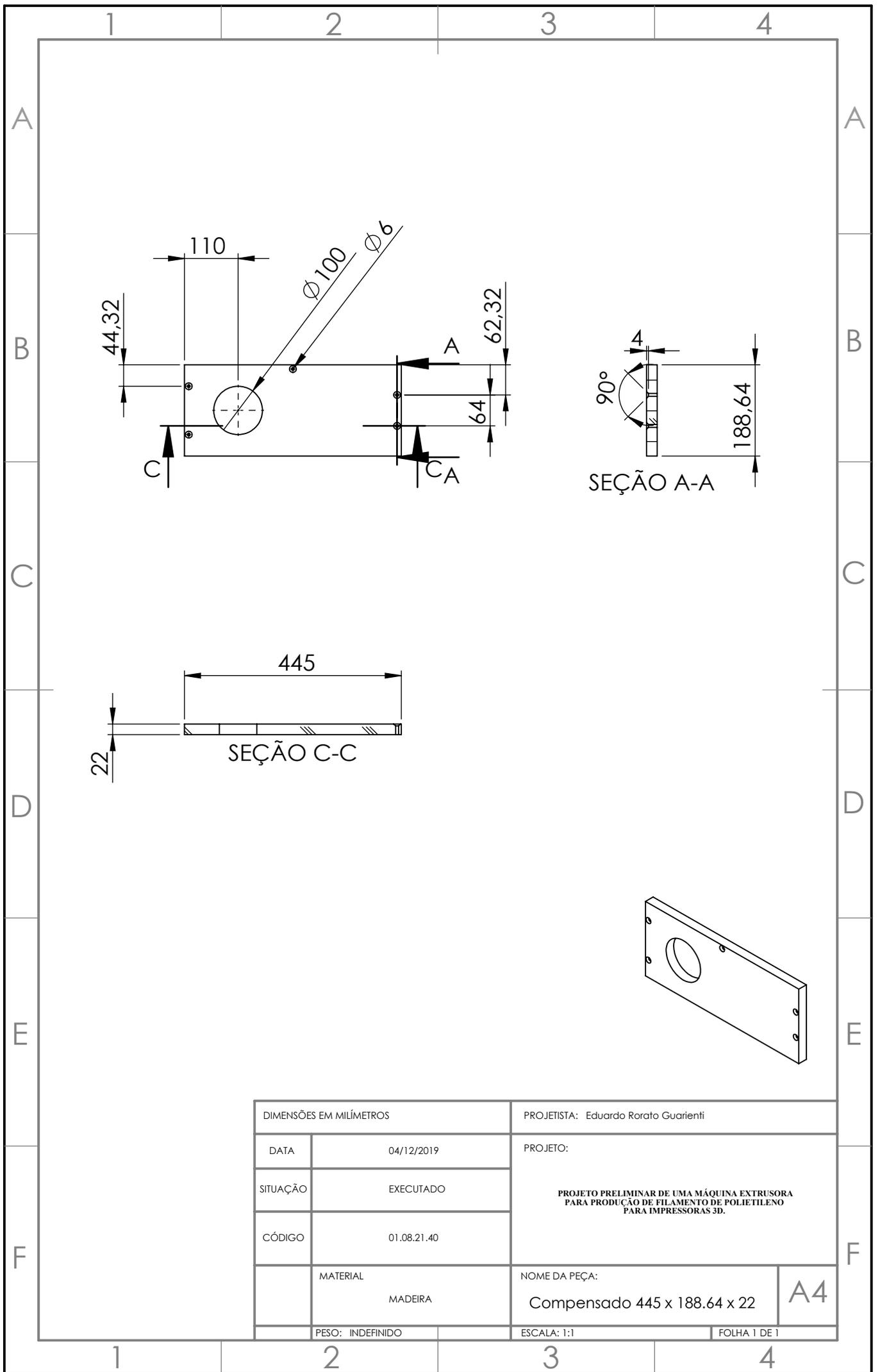
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.19.21		
MATERIAL	MADERA	NOME DA PEÇA: Compensado 713,82 x 188,64 x 22	A4
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA: 1 DE 1



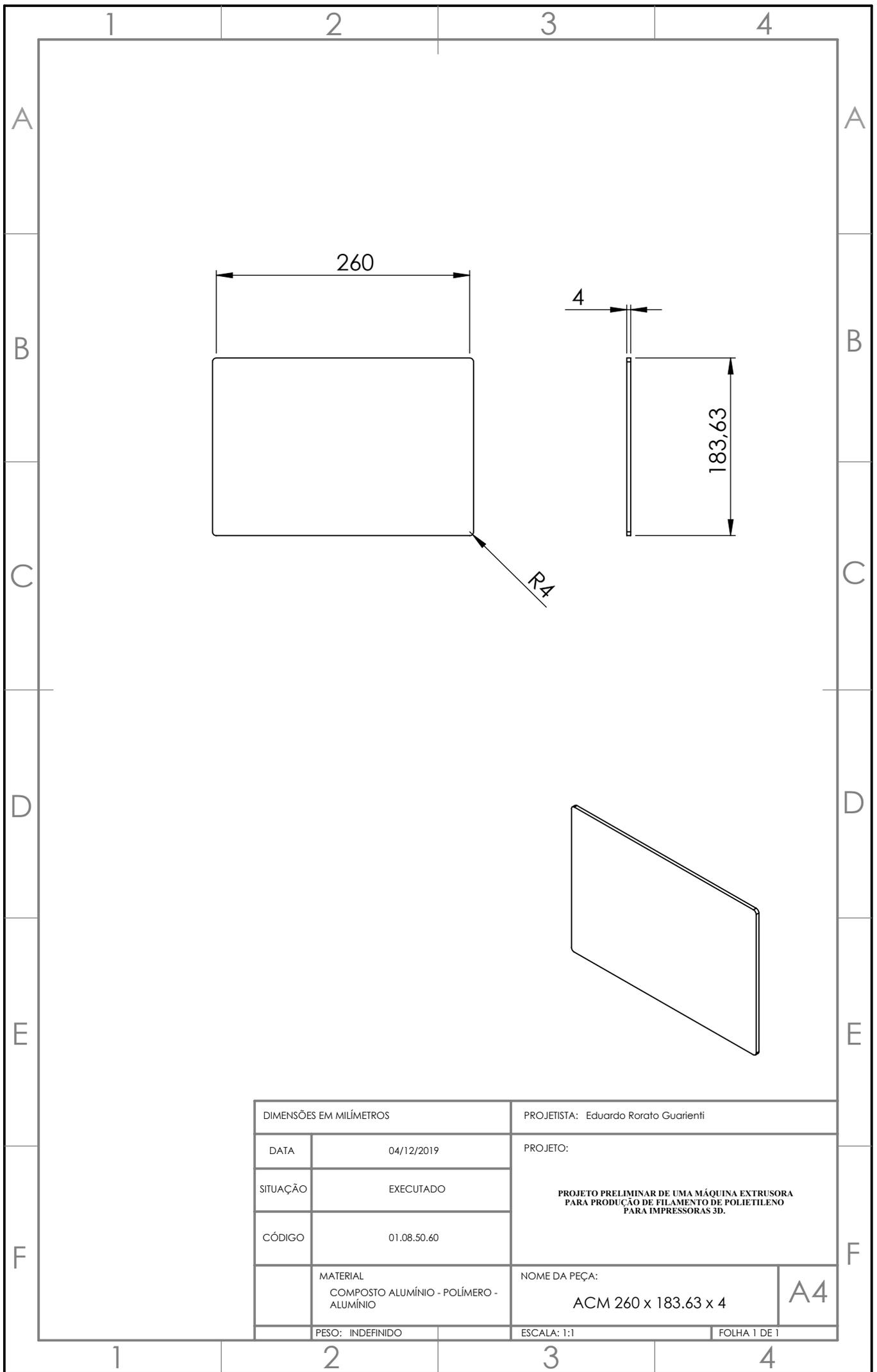
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.21.27		
MATERIAL	MADERA	NOME DA PEÇA:	A4
		Compensado 195 x 38.52 x 22	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



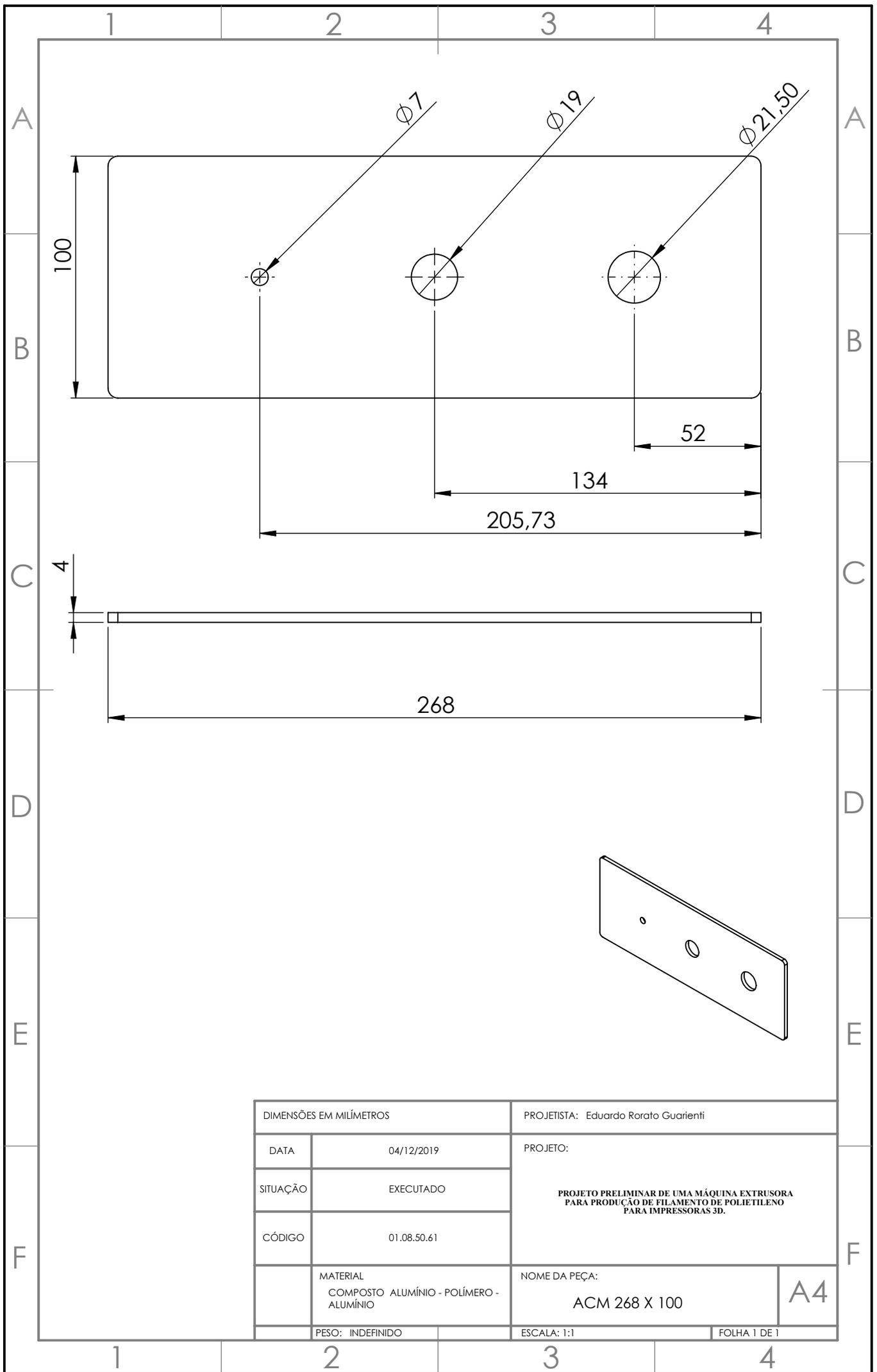
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.21.28		
MATERIAL	COMPOSTO ALUMÍNIO - POLÍMERO - ALUMÍNIO	NOME DA PEÇA:	A4
		ACM 189 x 163.82 x 4	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



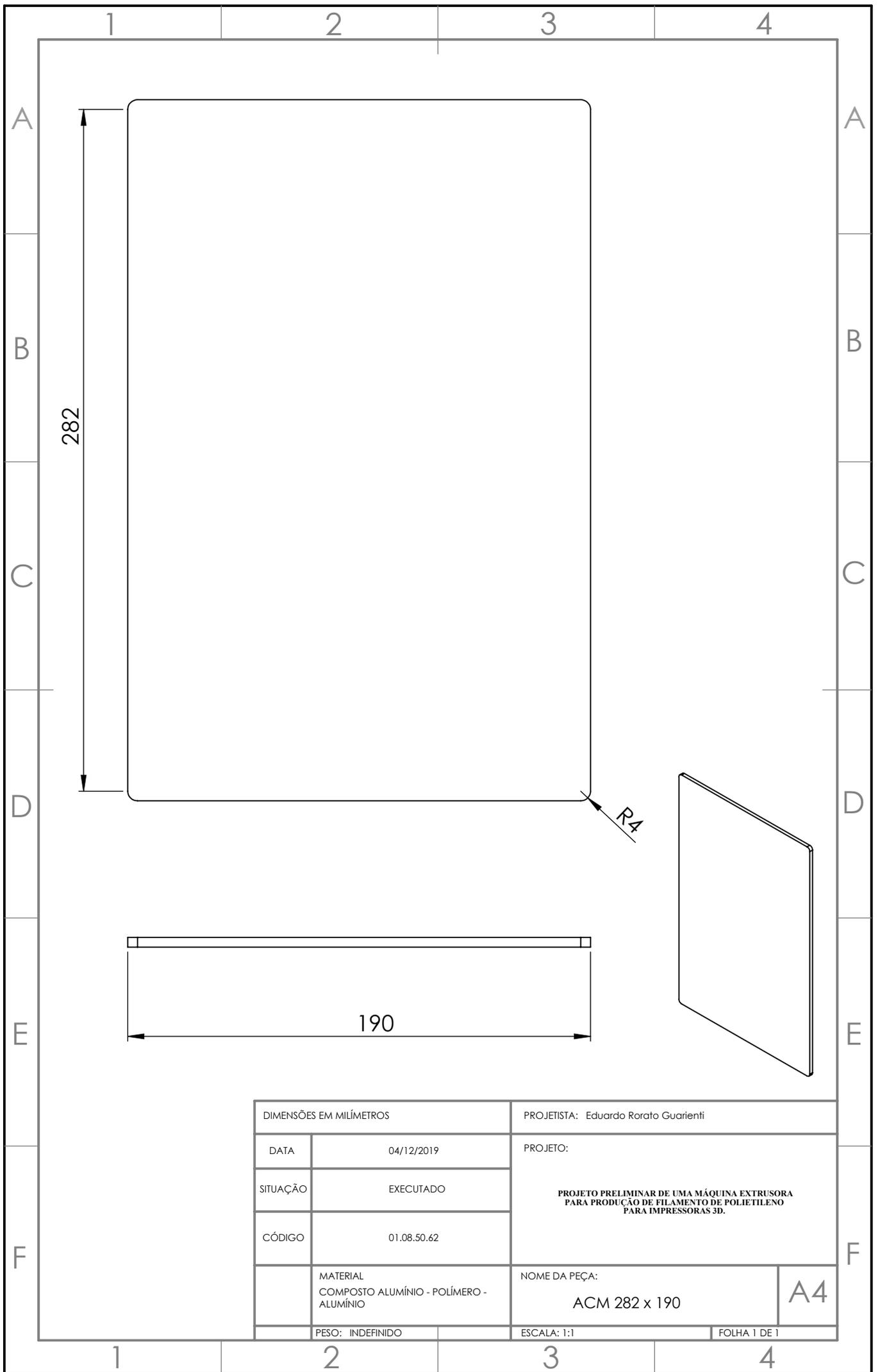
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.21.40		
MATERIAL	MADEIRA	NOME DA PEÇA:	A4
		Compensado 445 x 188.64 x 22	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.50.60		
MATERIAL	COMPOSTO ALUMÍNIO - POLÍMERO - ALUMÍNIO	NOME DA PEÇA:	A4
		ACM 260 x 183.63 x 4	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.50.61		
MATERIAL	COMPOSTO ALUMÍNIO - POLÍMERO - ALUMÍNIO	NOME DA PEÇA:	A4
		ACM 268 X 100	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

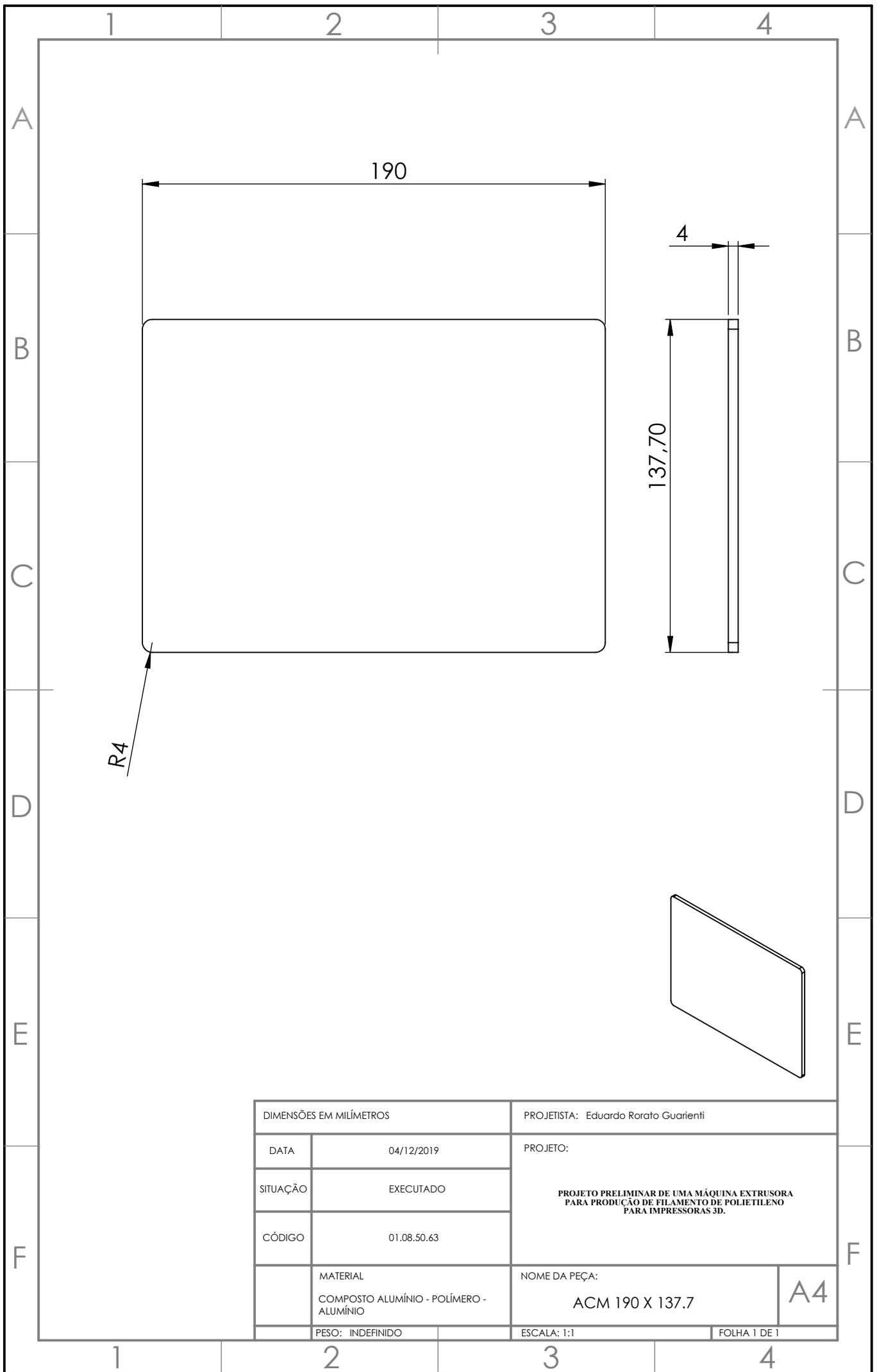


282

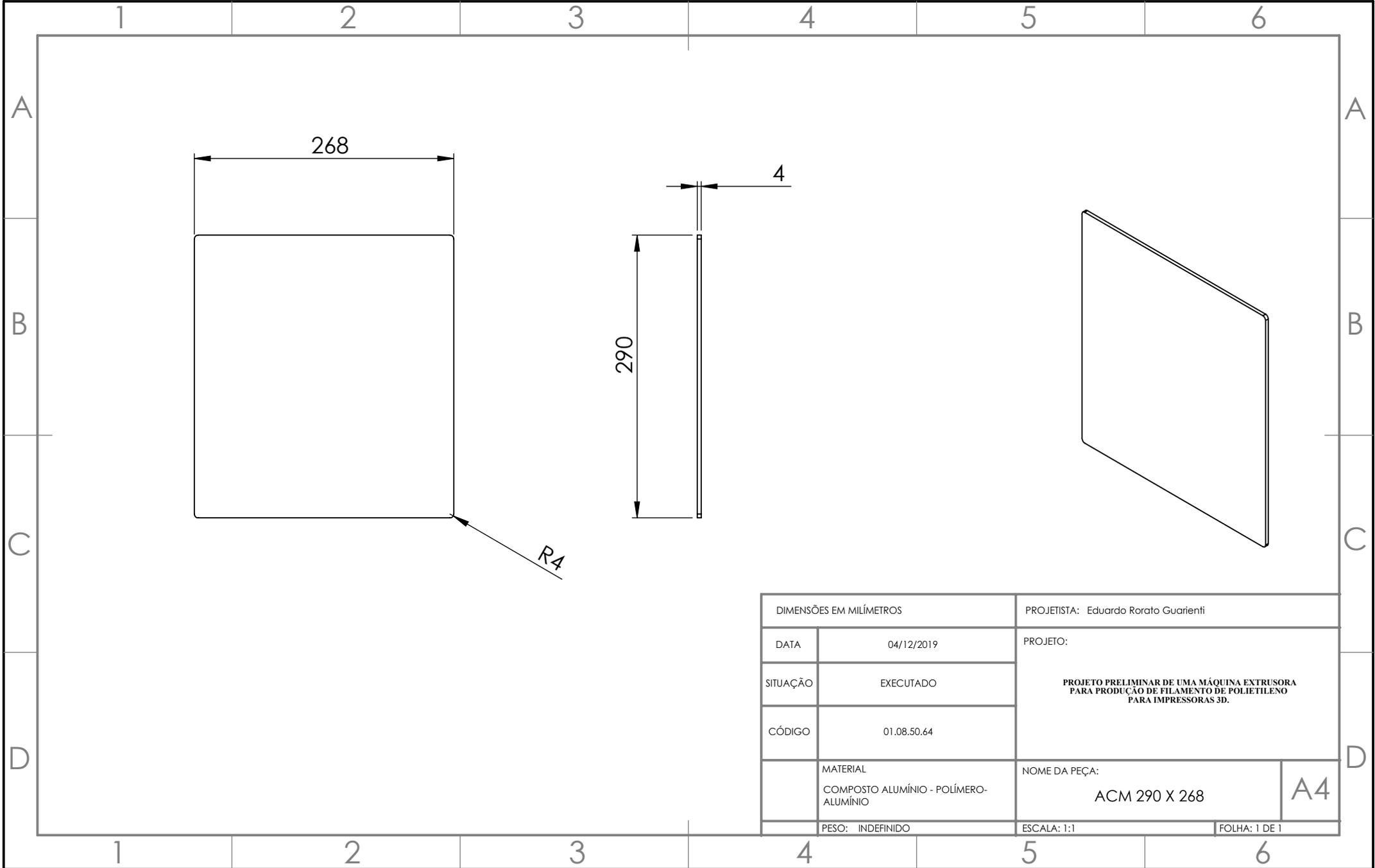
190

R4

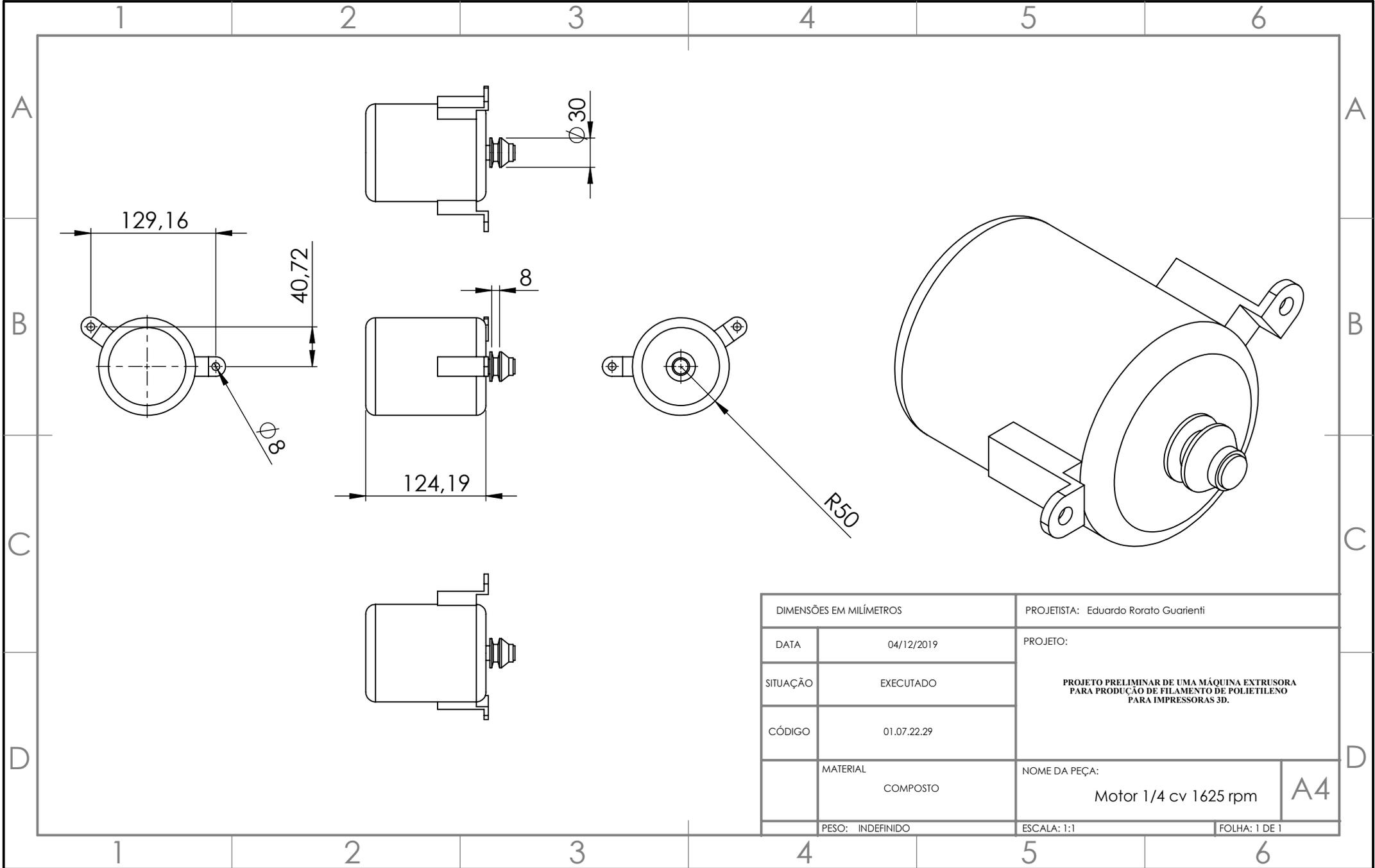
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.50.62		
	MATERIAL COMPOSTO ALUMÍNIO - POLÍMERO - ALUMÍNIO	NOME DA PEÇA: ACM 282 x 190	A4
	PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



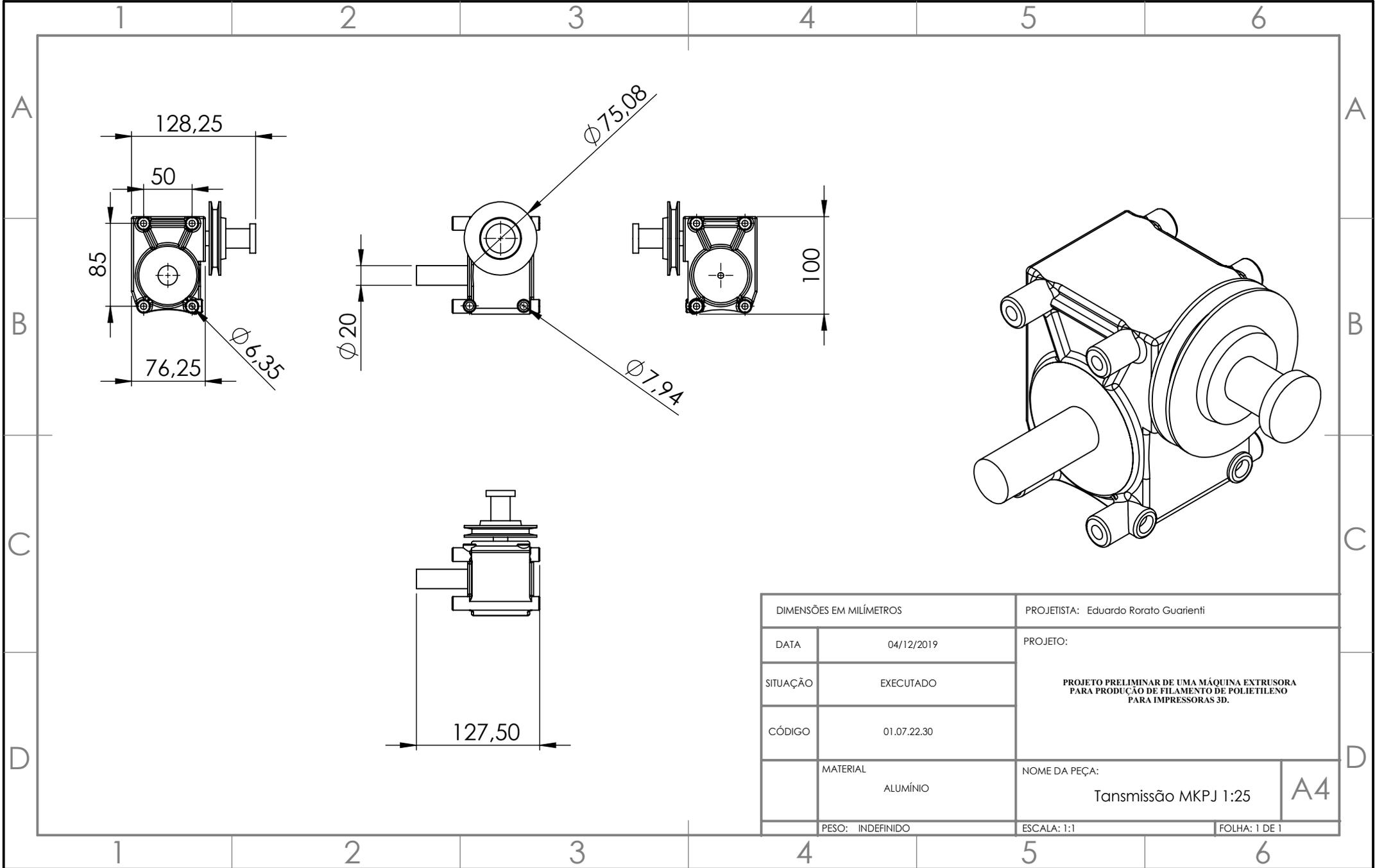
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.50.63		
MATERIAL	COMPOSTO ALUMÍNIO - POLÍMERO - ALUMÍNIO	NOME DA PEÇA:	A4
		ACM 190 X 137.7	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

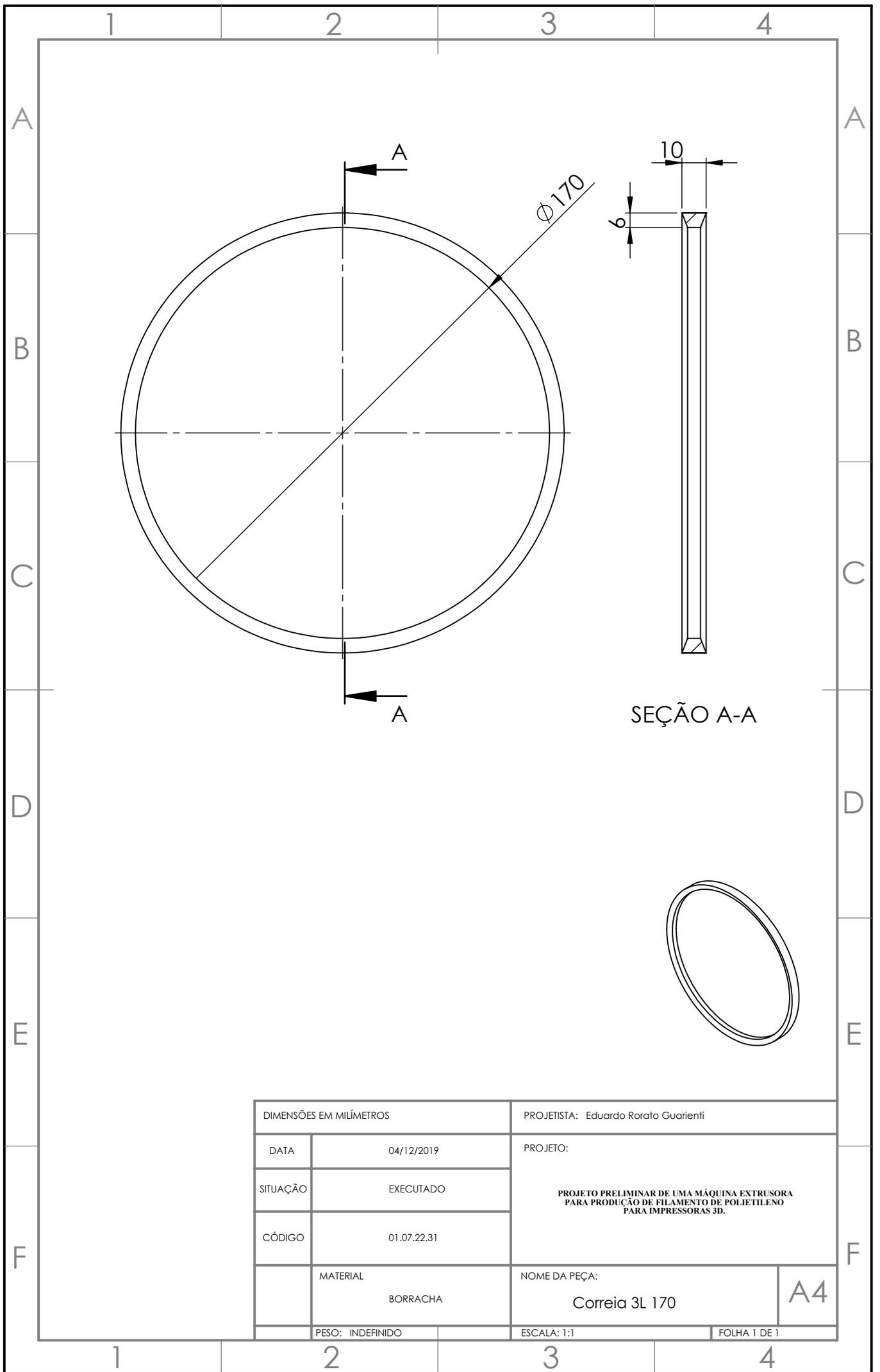


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.08.50.64		
MATERIAL COMPOSTO ALUMÍNIO - POLÍMERO- ALUMÍNIO		NOME DA PEÇA: ACM 290 X 268	A4
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA: 1 DE 1

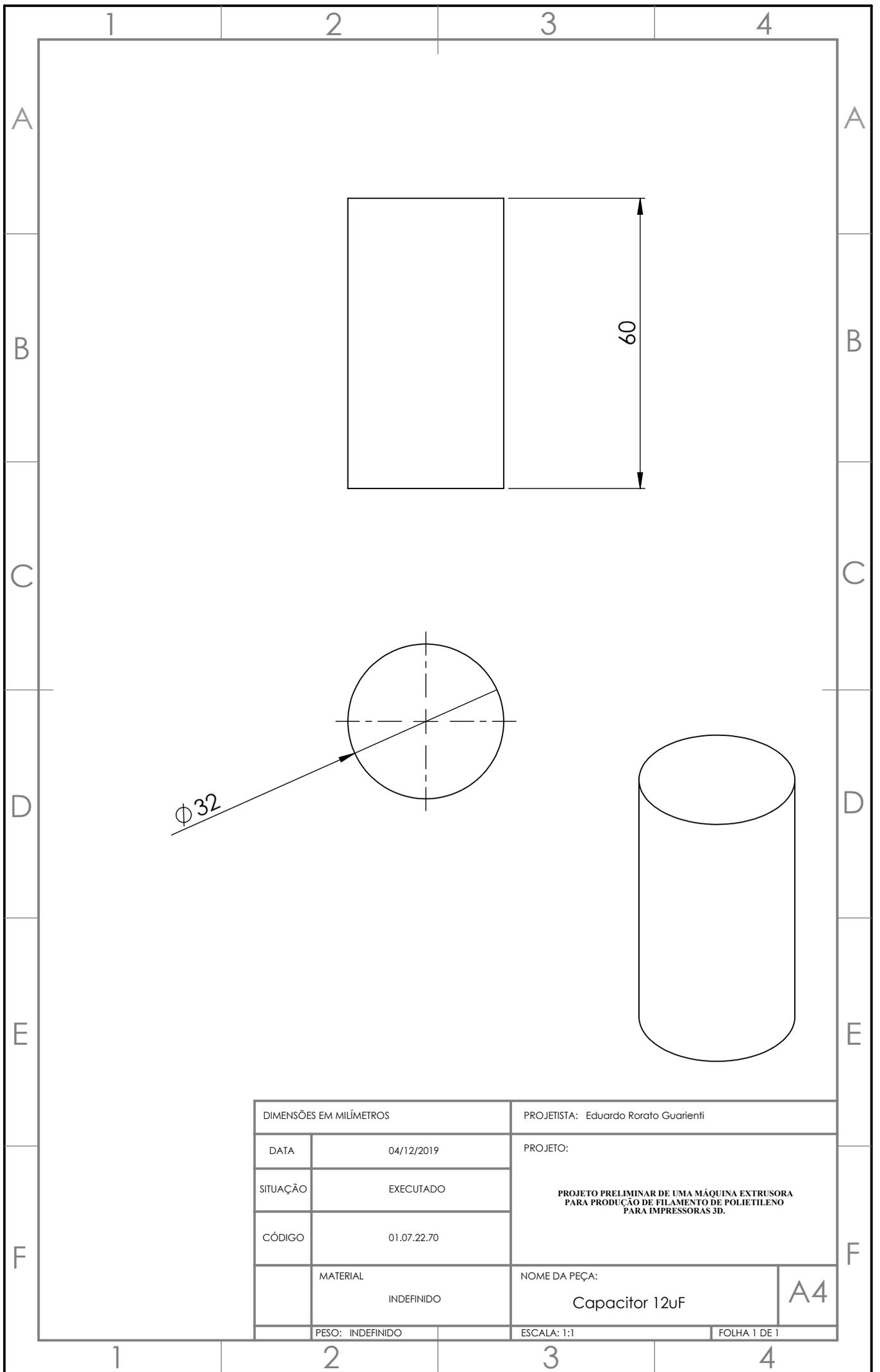


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.22.29		
MATERIAL	COMPOSTO	NOME DA PEÇA:	A4
PESO:	INDEFINIDO	Motor 1/4 cv 1625 rpm	
ESCALA: 1:1		FOLHA: 1 DE 1	



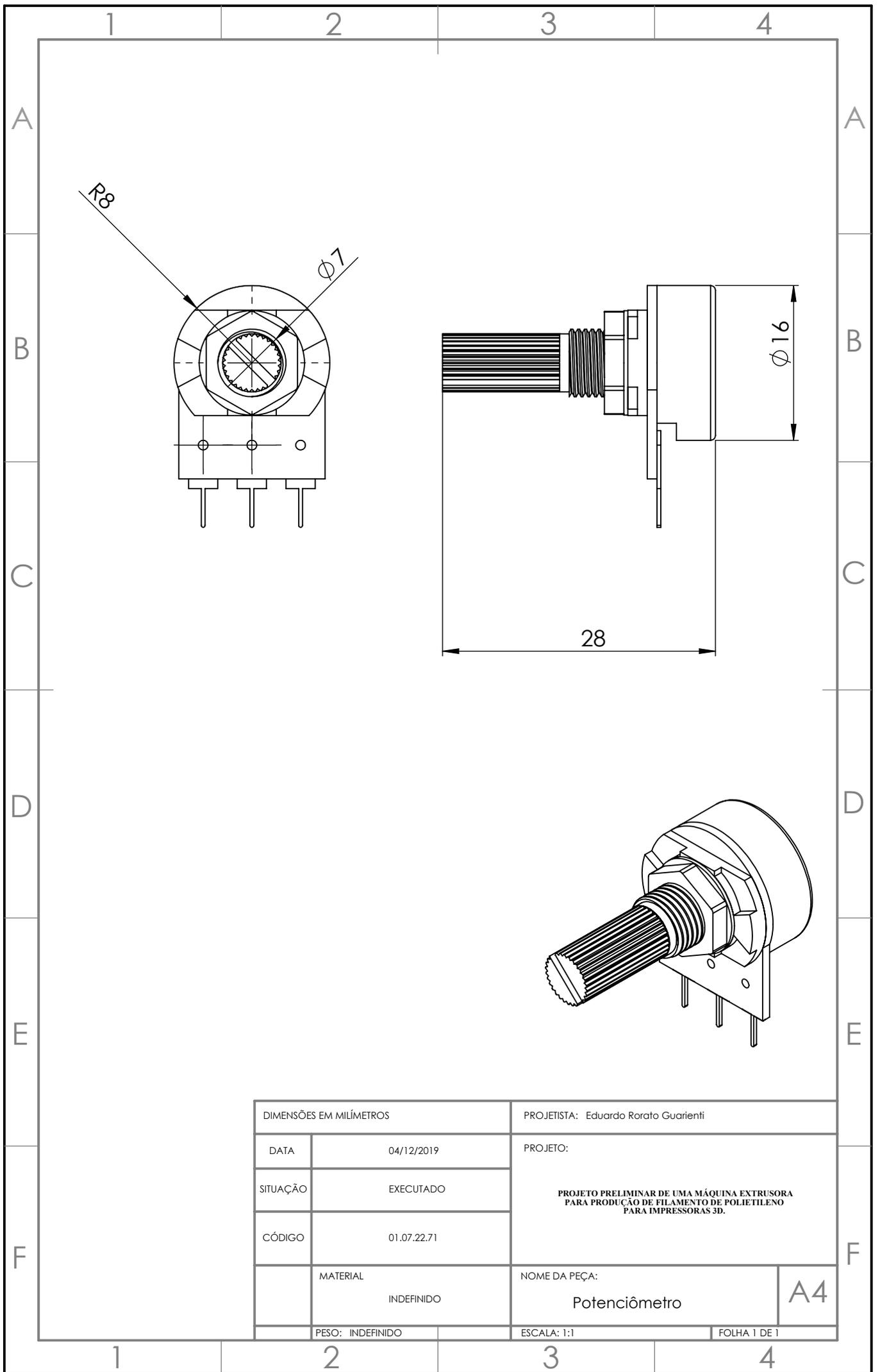


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.22.31		
MATERIAL	BORRACHA	NOME DA PEÇA:	A4
		Correia 3L 170	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



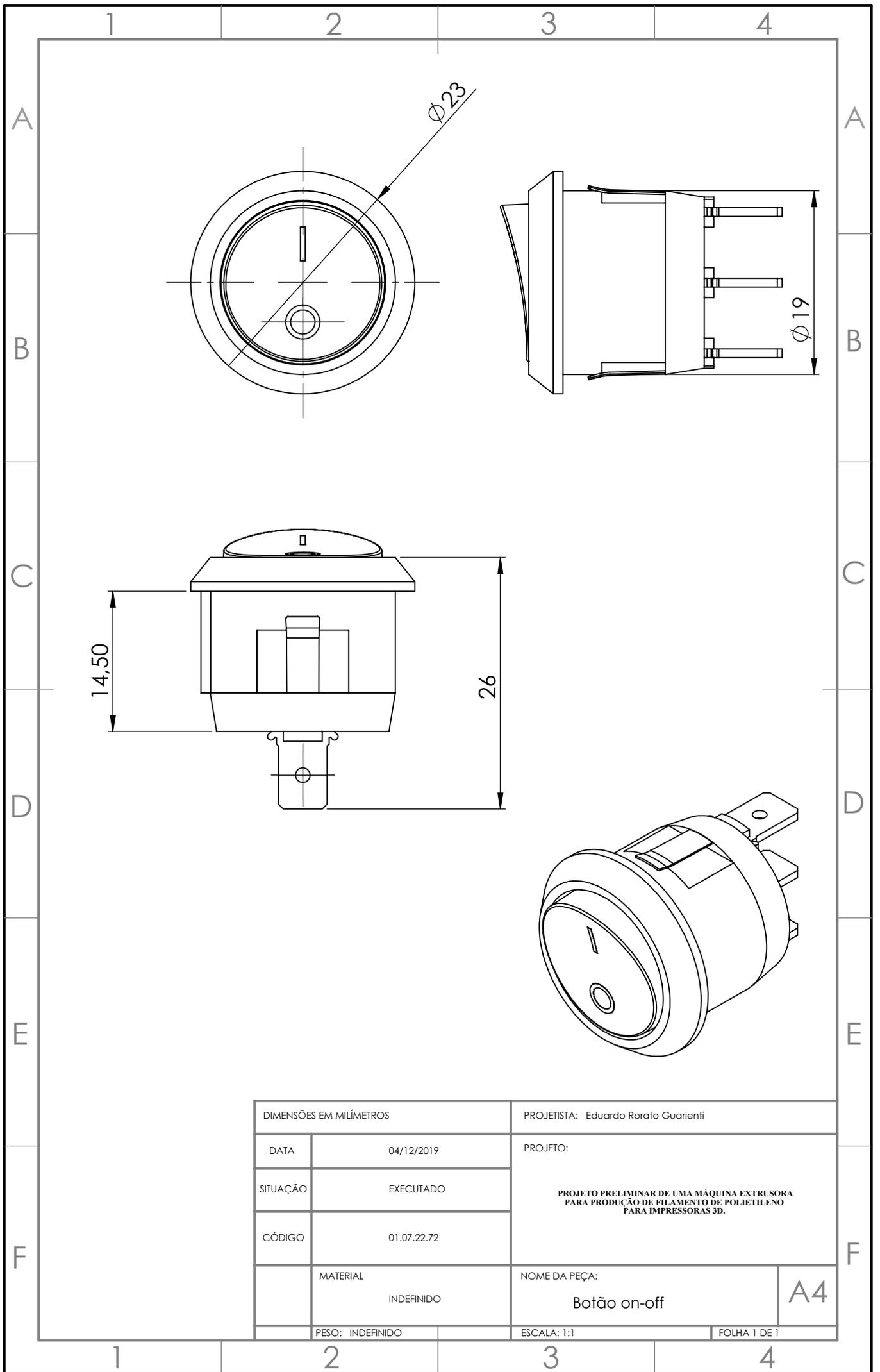
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.22.70		
	MATERIAL	NOME DA PEÇA:	
	INDEFINIDO	Capacitor 12uF	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

A4



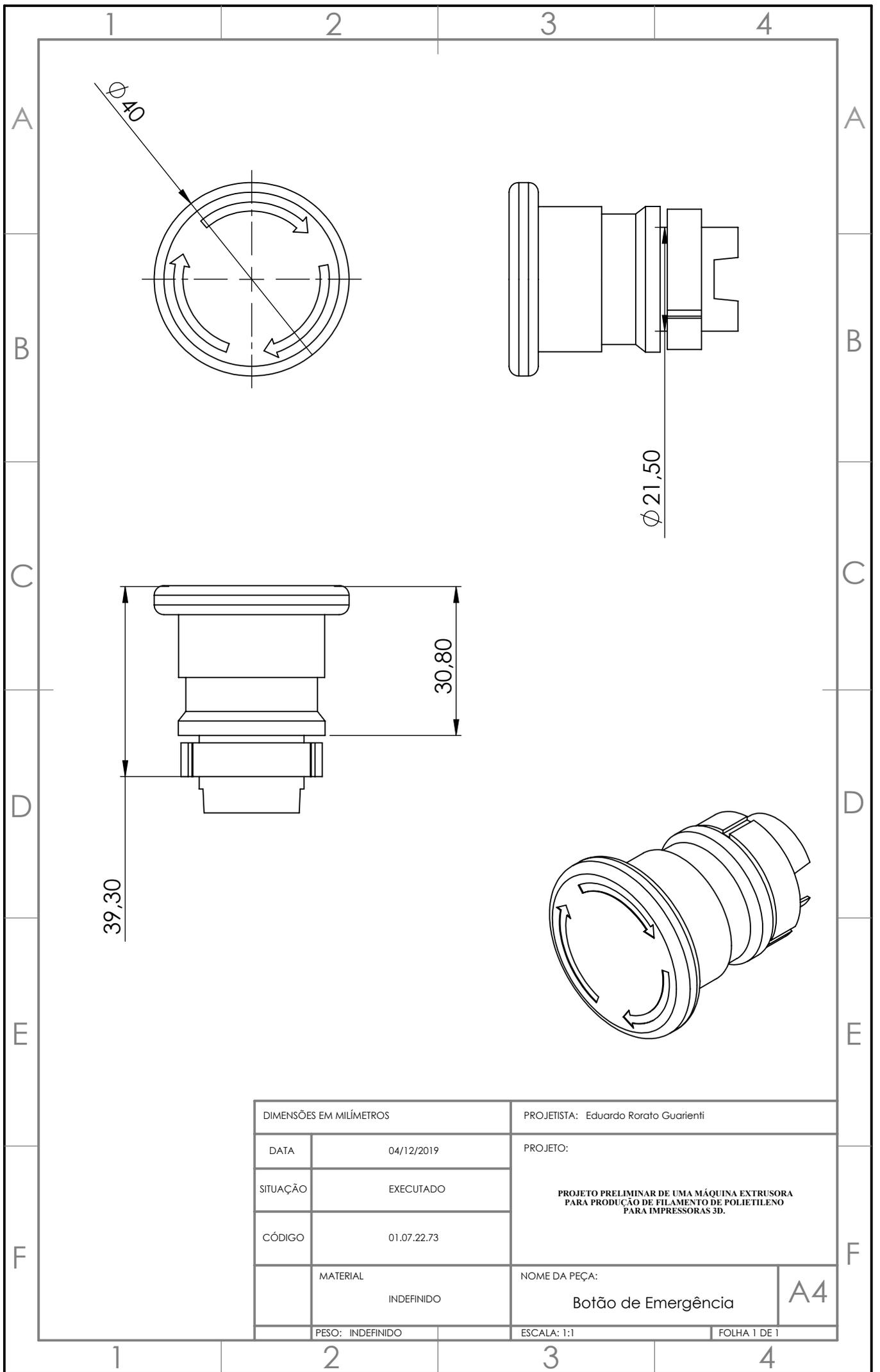
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.22.71		
	MATERIAL	NOME DA PEÇA:	
	INDEFINIDO	Potenciômetro	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

A4

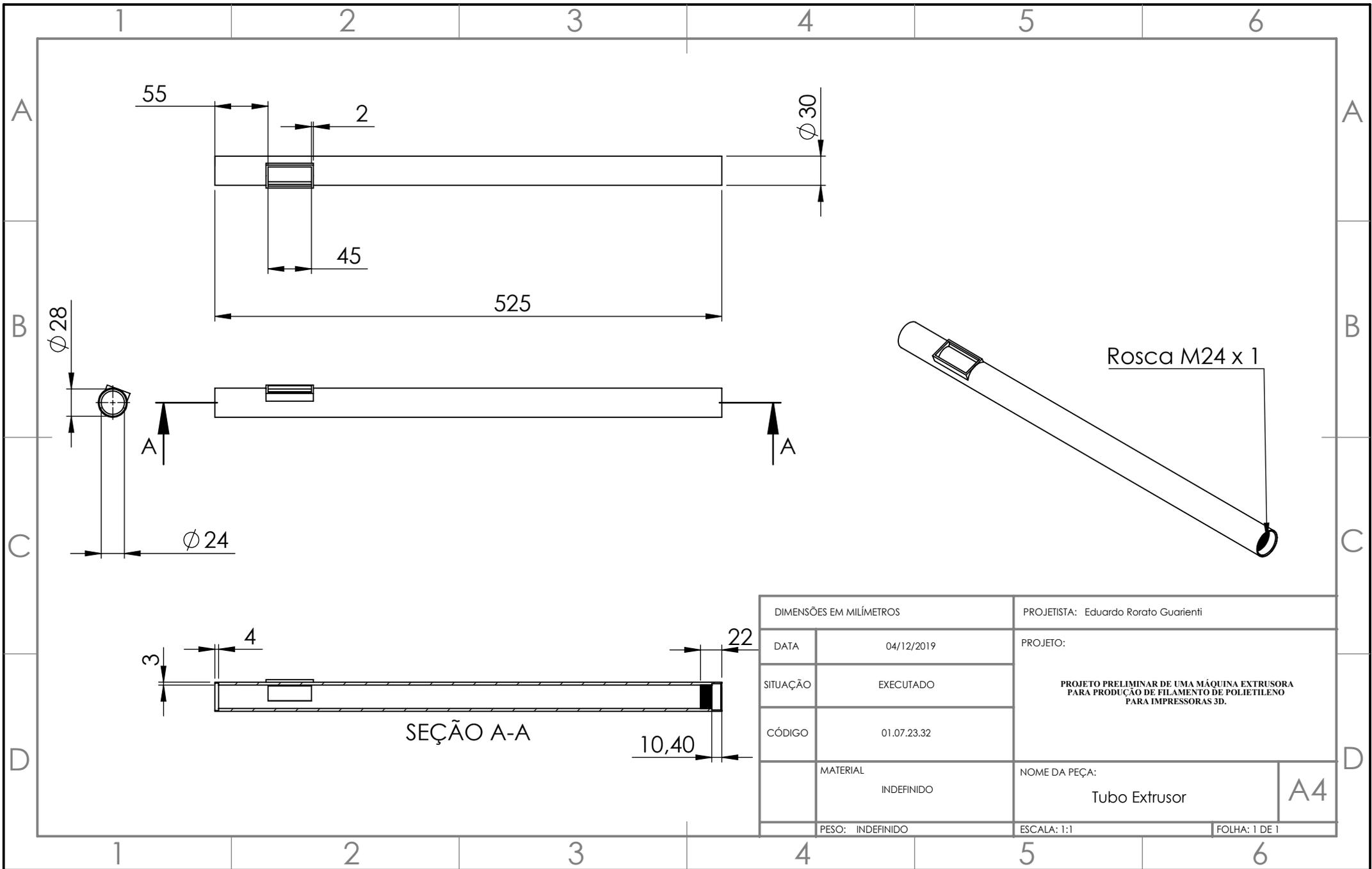


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.22.72		
	MATERIAL	NOME DA PEÇA:	
	INDEFINIDO	Botão on-off	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

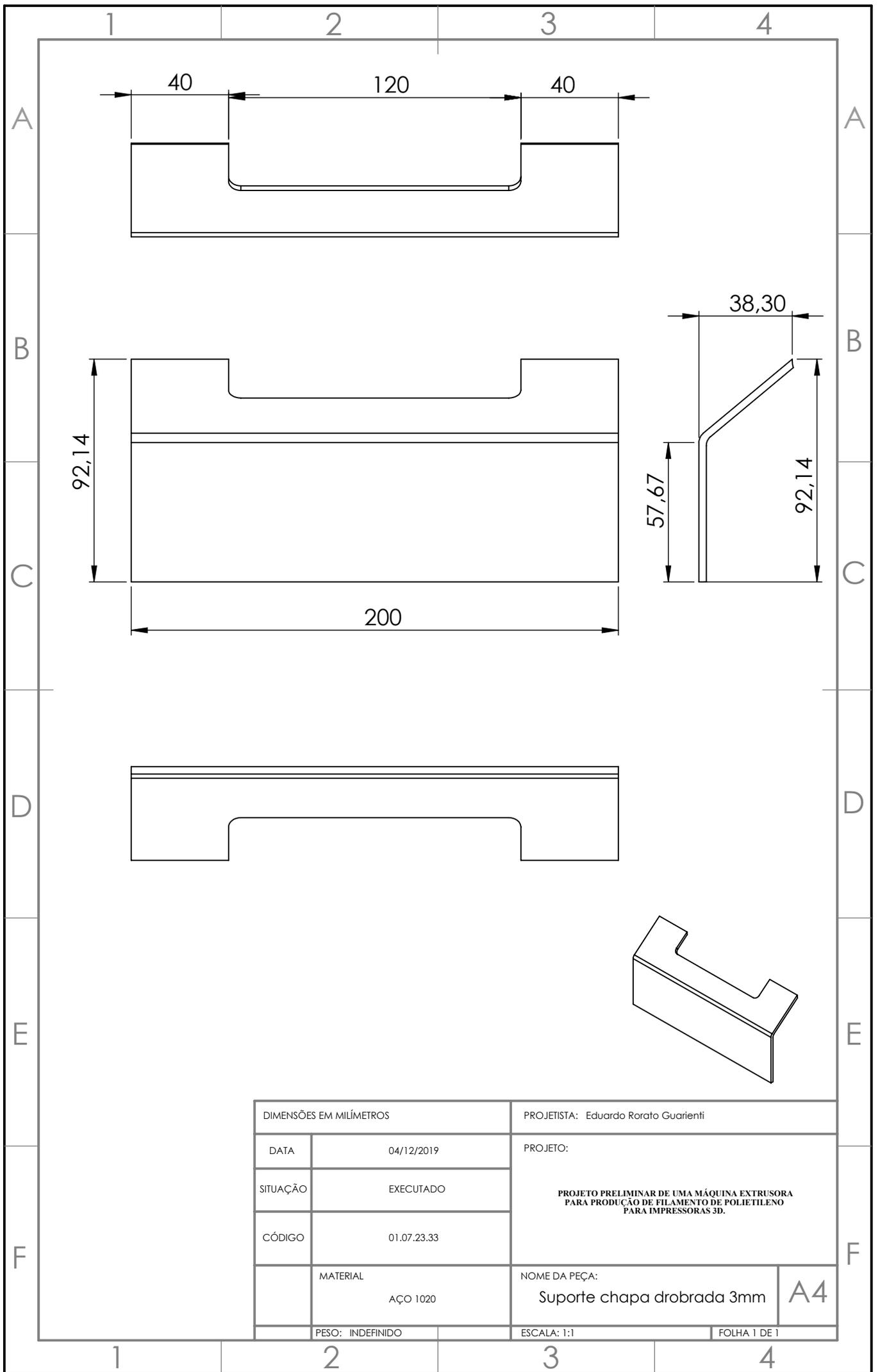
A4



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.22.73		
MATERIAL	INDEFINIDO	NOME DA PEÇA:	A4
		Botão de Emergência	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.32		
MATERIAL	INDEFINIDO	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Tubo Extrusor	
		FOLHA: 1 DE 1	



1 2 3 4

A

A

B

B

C

C

D

D

E

E

F

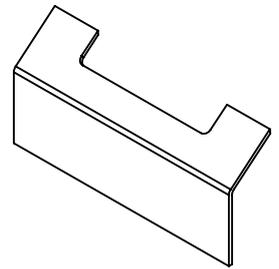
F

40 120 40

92,14

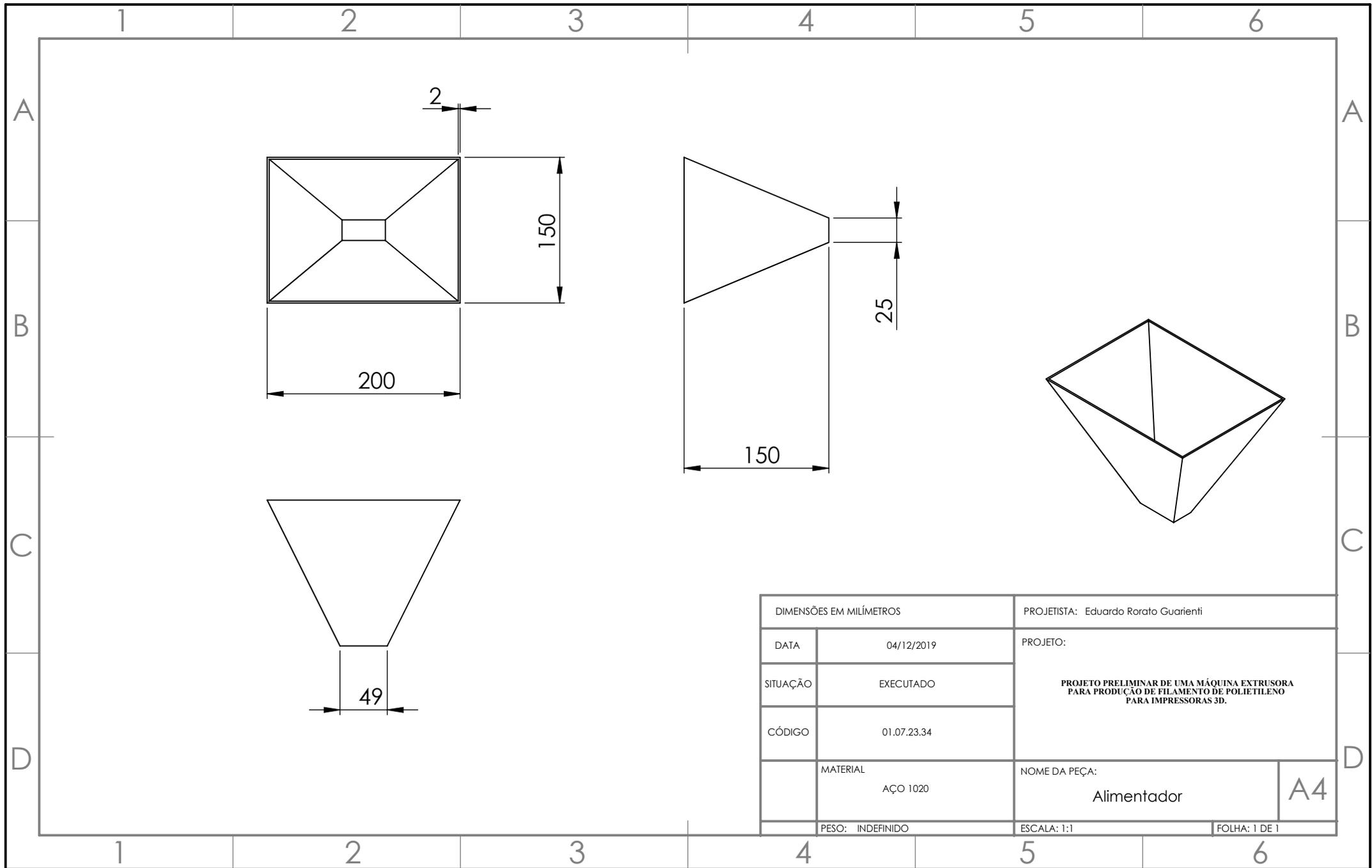
200

38,30
57,67
92,14

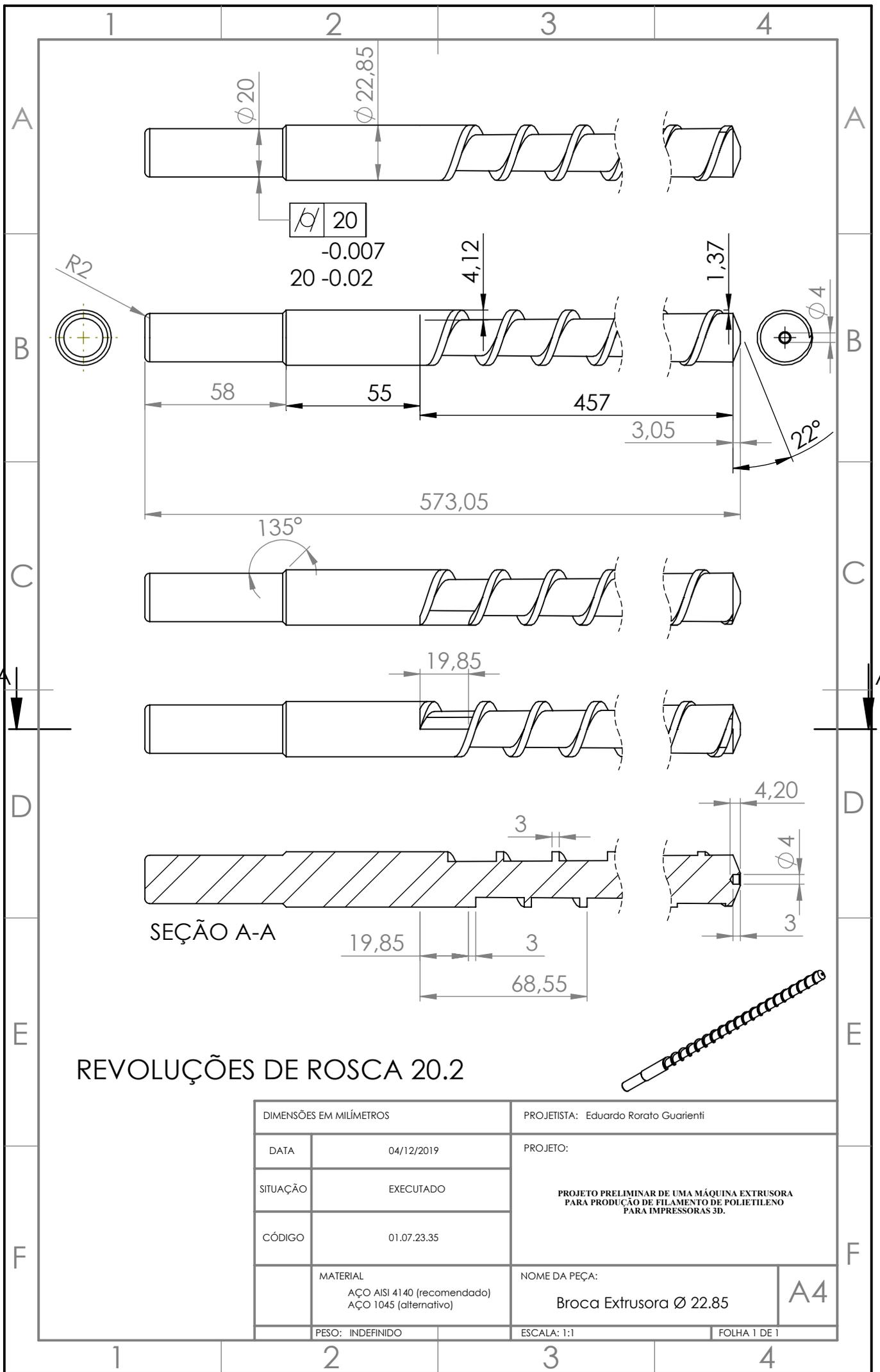


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.33		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
		Suporte chapa drobrada 3mm ESCALA: 1:1	
PESO: INDEFINIDO		FOLHA 1 DE 1	

1 2 3 4

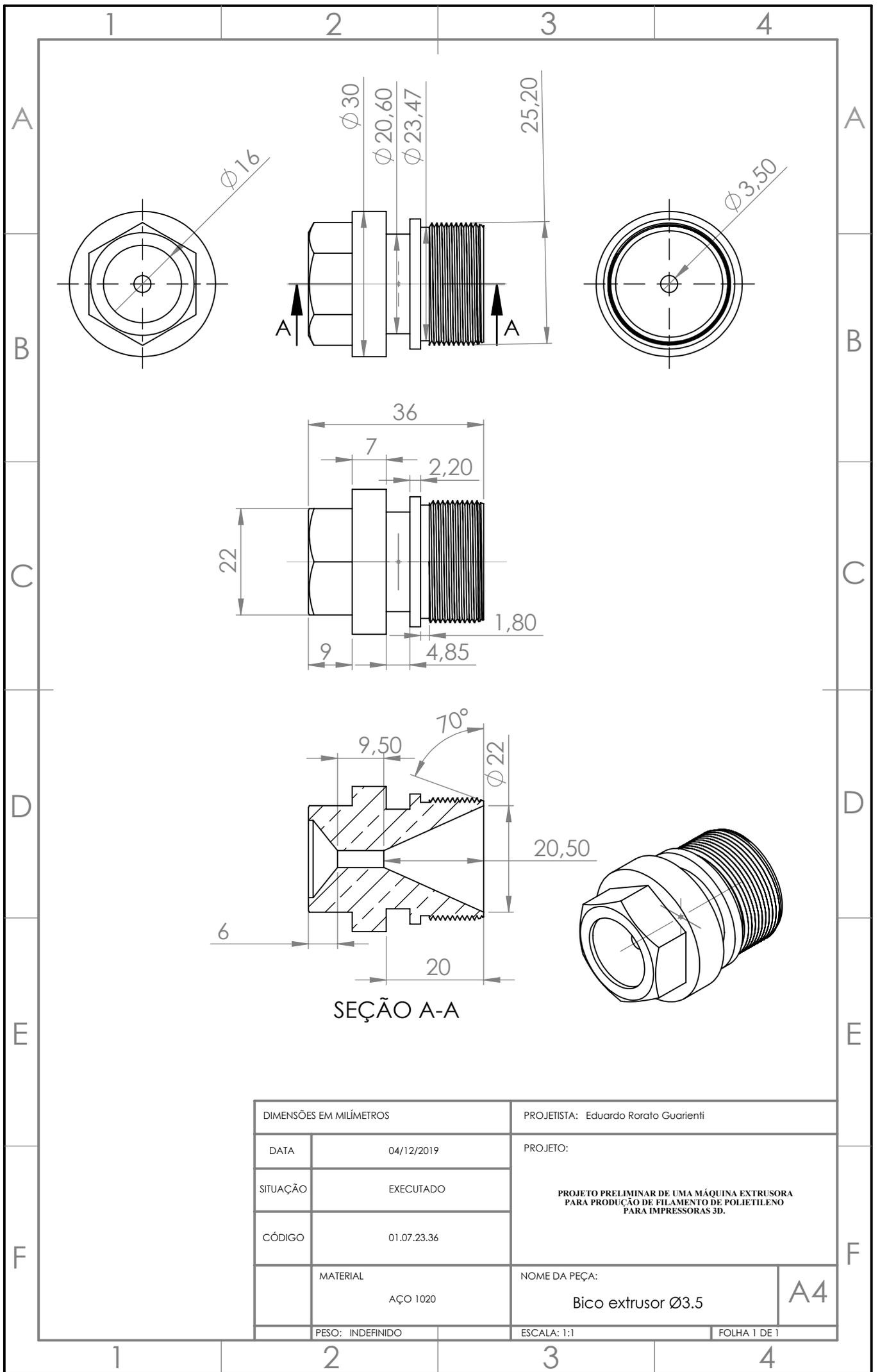


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.34		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO:	INDEFINIDO	Alimentador	
ESCALA: 1:1		FOLHA: 1 DE 1	



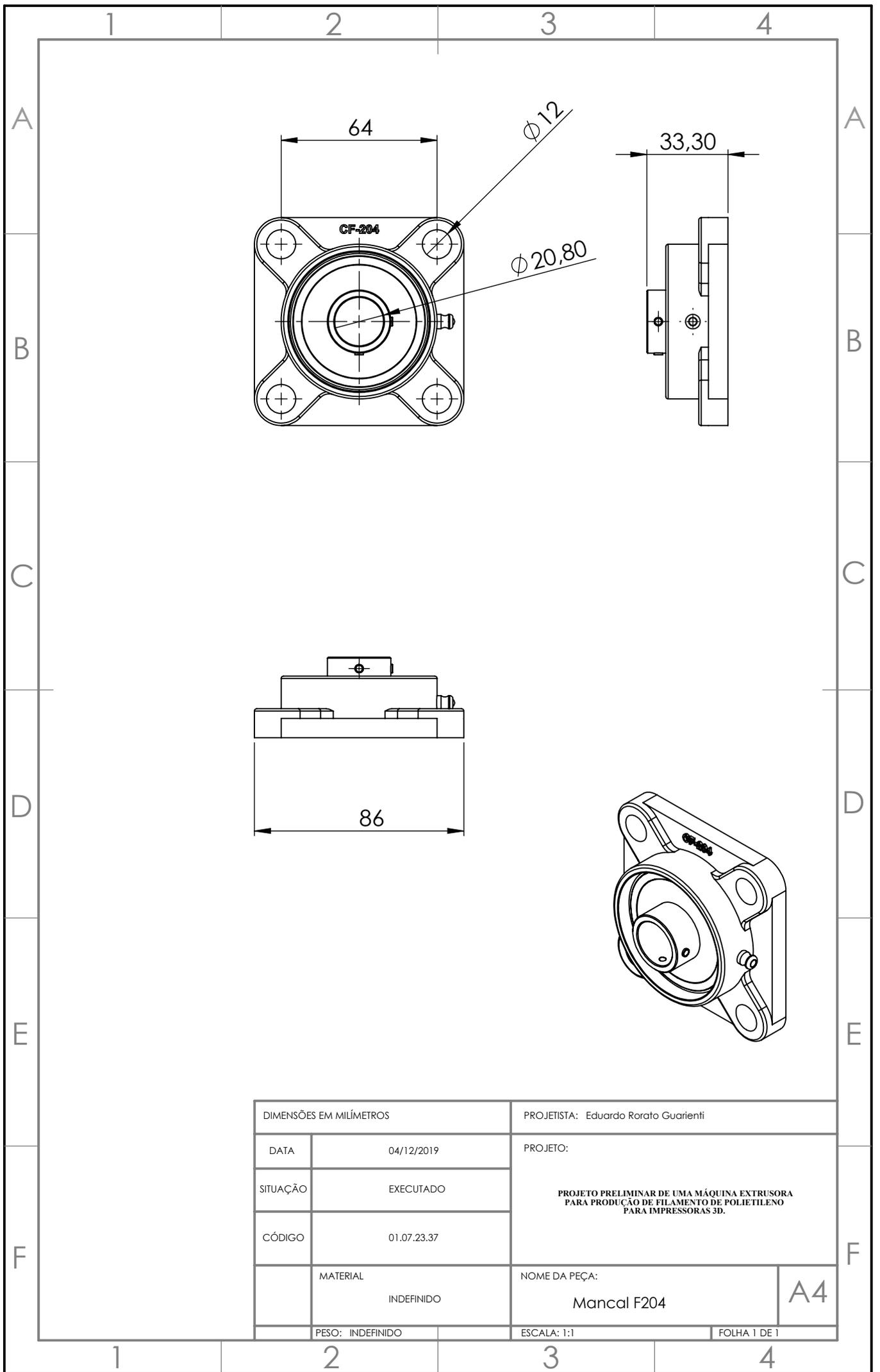
DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.35		
MATERIAL		NOME DA PEÇA:	
AÇO AISI 4140 (recomendado) AÇO 1045 (alternativo)		Broca Extrusora $\phi 22.85$	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	
		FOLHA 1 DE 1	

A4



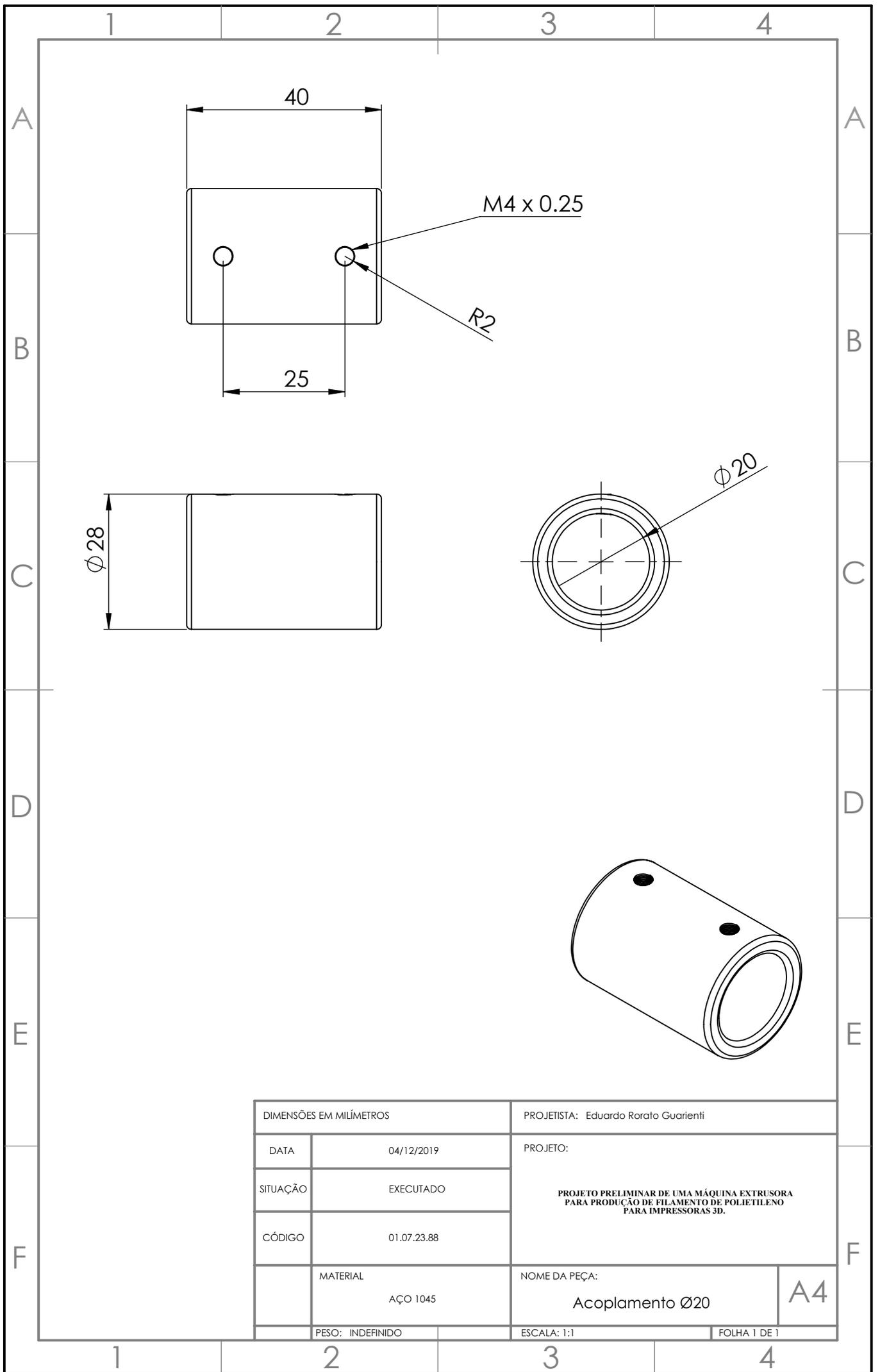
SEÇÃO A-A

DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.36		
MATERIAL	AÇO 1020	NOME DA PEÇA:	A4
PESO: INDEFINIDO	ESCALA: 1:1	Bico extrusor Ø3.5	
FOLHA 1 DE 1			

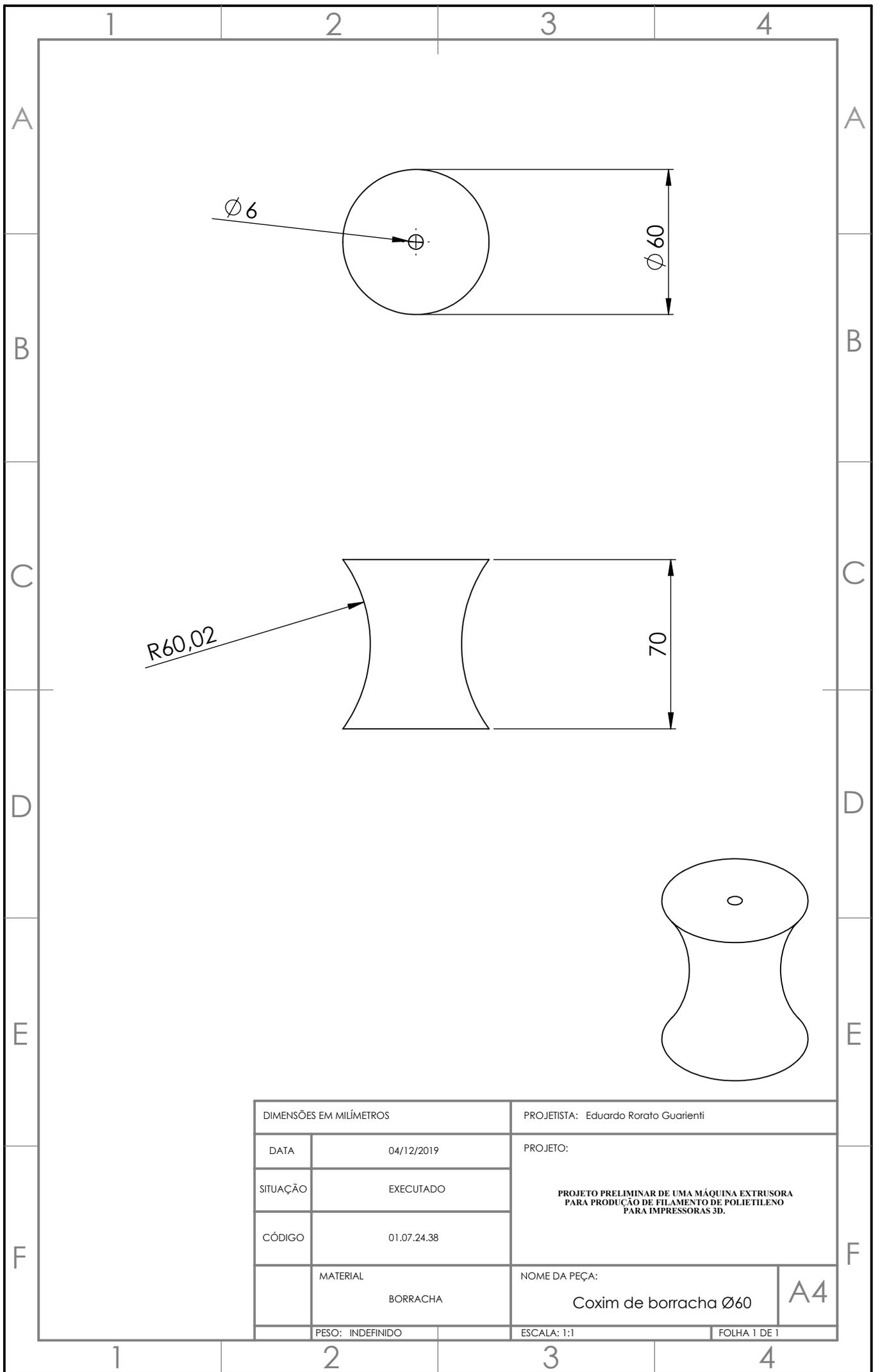


DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.37		
	MATERIAL	NOME DA PEÇA:	
	INDEFINIDO	Mancal F204	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

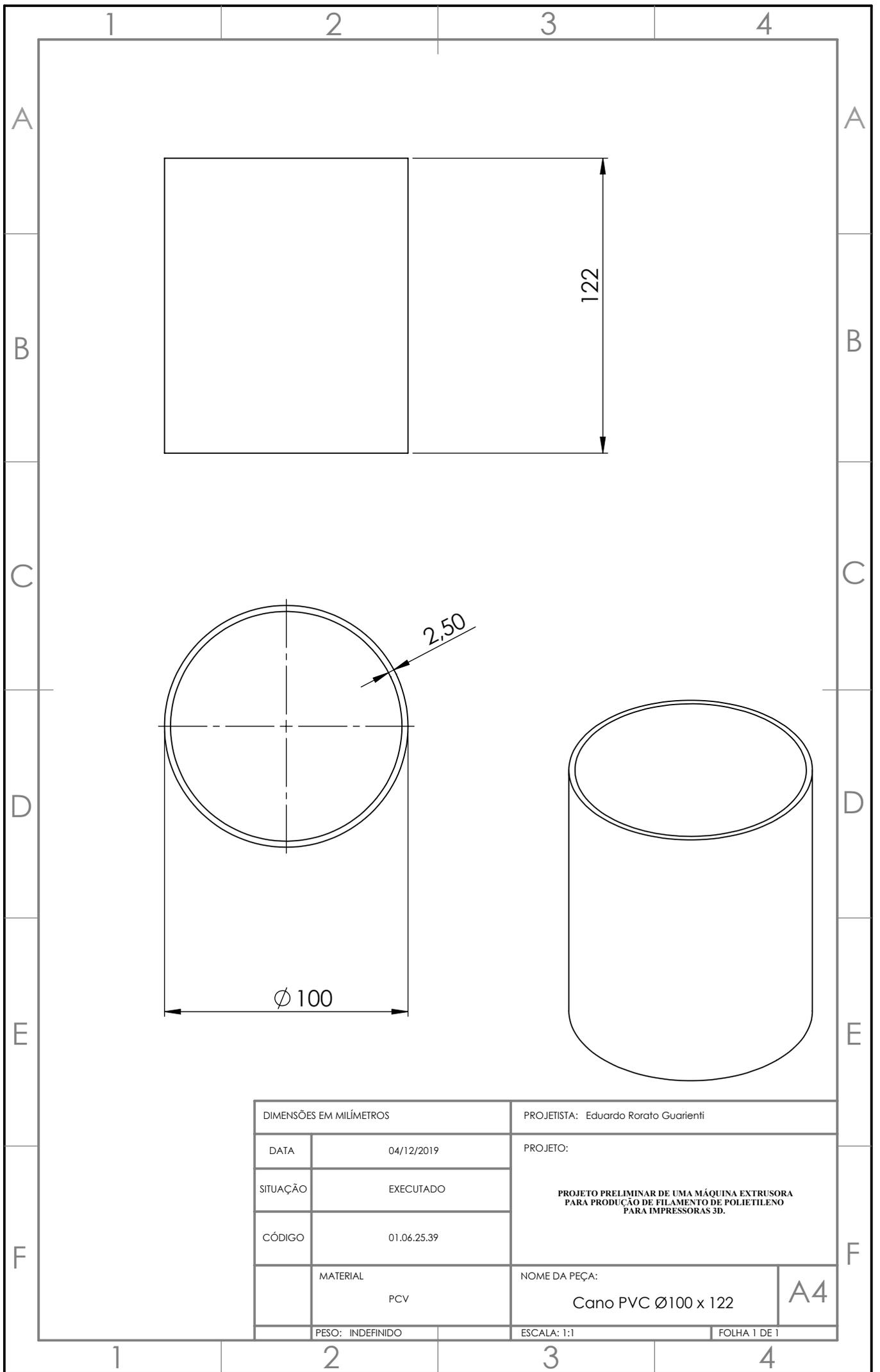
A4



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.23.88		
MATERIAL	AÇO 1045	NOME DA PEÇA:	A4
		Acoplamento Ø20	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.07.24.38		
MATERIAL	BORRACHA	NOME DA PEÇA:	A4
		Coxim de borracha Ø60	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1



DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PROJETISTA: Eduardo Rorato Guarienti	
DATA	04/12/2019	PROJETO: PROJETO PRELIMINAR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUÇÃO DE FILAMENTO DE POLIETILENO PARA IMPRESSORAS 3D.	
SITUAÇÃO	EXECUTADO		
CÓDIGO	01.06.25.39		
MATERIAL	PCV	NOME DA PEÇA:	A4
		Cano PVC Ø100 x 122	
PESO: INDEFINIDO		ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1